



EXPEDIENTE CIENTÍFICO SOBRE EL MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO Y SUS EFECTOS

Efectos del maíz GM sobre la salud humana, el ambiente y la diversidad biológica, incluida la riqueza biocultural de los maíces nativos en México

Contenido

Resumen ejecutivo	3
1. Aspectos técnicos y científicos indispensables para entender los efectos del maíz GM sobre la salud humana y el ambiente	4
1.1 Antecedentes conceptuales: organismos vivos y su material genético	4
1.2 La transgénesis y los cultivos GM en México y el mundo, con énfasis en los eventos transgénicos de maíz	6
La transgénesis y las evidencias científicas que descartan sus supuestas ventajas	6
Resistencia a insectos, por expresión de proteínas Cry, y tolerancia a glifosato y otros herbicidas: principales rasgos de los cultivos transgénicos en el mundo, especialmente del maíz GM	17
Eventos transgénicos permitidos y autorizados en México, con énfasis en los rasgos de los maíces GM	20
1.3 Evidencia científica y estadística sobre la innegable relación de los maíces transgénicos y otros cultivos GM con el glifosato (y otros agrotóxicos)	22
Antecedentes conceptuales relevantes sobre el glifosato, los herbicidas hechos a base de esta sustancia y su principal producto de degradación	22
Eventos transgénicos, con énfasis en los rasgos de maíz GM, tolerantes a glifosato; a nivel mundial, en Estados Unidos y en México	24
Uso del glifosato a nivel global	25
Residuos de glifosato en productos y alimentos con maíz transgénico y otros cultivos GM	25
Presencia de glifosato en fluidos, tejidos y excretas de animales alimentados con maíz transgénico y otros cultivos GM	28
Presencia de glifosato en fluidos y excretas humanas, en países con producción o consumo de OGM	28
Exposición al glifosato, ocupacional y no ocupacional por contextos ambientales, en campos de cultivos GM	35
2. Evidencia científica de los efectos sobre la salud humana	38
2.1 Los efectos en la salud humana por el consumo de los principales eventos de maíz transgénico	38
Aproximación cronológica de estudios científicos sobre los efectos negativos del consumo de maíz transgénico y su potencial impacto en la salud humana	38
Imprecisión de la transgénesis, a nivel genómico, se traducen en consecuencias inesperadas y no deseadas, a nivel epigenético: el mito de la equivalencia sustancial bajo la lupa de las ciencias ómicas	50
Estudios sobre transferencia horizontal de transgenes de resistencia a antibióticos, una preocupación de salud pública	54
Evidencia estadística robusta sobre la no inocuidad de los alimentos hechos a base de OGM	57
2.2 Otras consideraciones para la salud humana a partir del consumo de maíz transgénico	58
Estudios de las ventajas de los maíces mexicanos sobre los maíces transgénicos, para consumo humano en el contexto del país	58
2.3 Exposición al glifosato, plaguicida inmanente de los transgénicos de maíz y otros OGM; sus efectos en la salud humana, aún a dosis bajas	67
Sobre los efectos perniciosos del glifosato y los HBG	68
Evidencia sobre carcinogenicidad	69
Evidencia sobre disrupción endócrina y trastornos reproductivos	75
Evidencia sobre daños en órganos y sistemas, alteraciones metabólicas y enfermedades neurológicas	80
2.4 Evidencias sobre las malas prácticas corporativas de las empresas biotecnológicas de semillas transgénicas, ocultamiento de información y manipulación científica	88
Los <i>Monsanto papers</i> y los litigios en contra de Monsanto Company por daños a la salud humana	89
2.5 Ejemplos sobre regulaciones restrictivas o permisivas para los OGM, transparencia y opacidad bajo el escrutinio científico	97



3. Evidencia científica sobre los impactos en el ambiente y la diversidad biológica	103
3.1 Sobre el ambiente y la diversidad biológica que incluye la riqueza biocultural de los maíces nativos de México México como centro de origen, domesticación y diversificación del maíz: reservorio genético y legado biocultural que debe protegerse por el bien de la humanidad	103
3.2 Evidencia sobre los daños asociados al maíz transgénico, a otros cultivos GM y al glifosato para la riqueza biocultural de los maíces nativos de México, la diversidad biológica y el ambiente	109
Daños y riesgos para la riqueza biocultural de los maíces nativos y sus parientes silvestres por la liberación al ambiente de maíz GM y el uso del glifosato en México	109
Daños y riesgos para el ambiente y la diversidad biológica por la liberación al ambiente de maíz GM y el uso del glifosato	126
3.3 Evidencia sobre afectaciones agronómicas y otras consideraciones socioeconómicas relacionadas con los cultivos GM y el glifosato	146
Efectos económicos por el control de “súper malezas”	148
Afectaciones en cultivos no GM	149
Afectaciones económicas en pesquerías	149
Afectaciones económicas en apicultura	150
Impactos económicos por contaminación de agua potable	150
Fundamentación y motivación	152
Literatura citada	153





Resumen ejecutivo

Desde que comenzaron a circular los primeros OGM, en diferentes países del mundo, había poca o nula evidencia científica que demostrara que éstos carecieran de efectos negativos para la salud humana, para la integridad del ambiente y la diversidad biológica. Por el contrario, la comunidad científica ha alertado por décadas sobre los riesgos potenciales y, más recientemente, sobre los daños que el consumo y siembra de estos organismos conllevan.

Hoy en día, no existe consenso científico sobre la seguridad del consumo humano o animal y de la liberación al ambiente de los cultivos transgénicos. Lo que sí hay es un corpus científico que ha mostrado que la transgénesis es una tecnología imprecisa con efectos no esperados ni deseados; en especial, se han demostrado los riesgos y daños que implica.

Alrededor del mundo son pocos los países que han aceptado la siembra de maíz transgénico en su territorio y, unos pocos más, que han autorizado el ingreso de este grano a su país, para consumo humano o animal o para su procesamiento industrial. En México, la introducción del maíz GM ha implicado la contaminación transgénica de las variedades de maíz nativo, con consecuencias negativas en los ámbitos ambiental, biocultural, social, económico y político. Esto ha sido demostrado sistemáticamente por diversas investigaciones científicas.

Además, grupos de personas científicas, libres de conflicto de interés, han exhibido que el consumo de maíz GM provoca daños en la salud de animales de laboratorio y de granja, principalmente en los órganos de sus sistemas reproductivo y digestivo; así como reacciones inmunológicas y alérgicas exacerbadas, aumentos en las tasas de mortalidad y desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas, con énfasis en el desarrollo de cáncer. Además, toda vez que el maíz transgénico está indisolublemente asociado a plaguicidas altamente peligrosos, que forman parte del paquete tecnológico asociado a su cultivo, las personas y animales que consumen alimentos con ingredientes a base de este OGM, se encuentran expuestas a sus perniciosos efectos; en especial, los del glifosato que ha demostrado, aún a dosis bajas: tener efectos carcinogénicos, por diversas vías; actuar como disruptor endócrino y alterar los sistemas reproductivos; y provocar diversas enfermedades metabólicas y afectaciones en distintos órganos y sistemas.

Por el contrario, los maíces mexicanos tienen cualidades nutraceuticas y nutricionales excepcionales, además de una gran riqueza genética y biocultural, que les dotan de ventajas adaptativas, ante diversas condiciones climáticas y ecológicas; al tiempo que permiten la preparación de una enorme diversidad de platillos y alimentos, en favor de la salud y el bienestar humano.



1. Aspectos técnicos y científicos indispensables para entender los efectos del maíz GM sobre la salud humana y el ambiente

1.1 Antecedentes conceptuales: organismos vivos y su material genético

Cualquier organismo vivo contiene información genética que le permite autorreplicarse y llevar a cabo todas las funciones metabólicas para su desarrollo crecimiento y reproducción. Esa información hereditaria se almacena primariamente en una molécula en forma de secuencia a la que llamamos ácido desoxirribonucleico (ADN); y se traduce en determinadas funciones por medio de segmentos de esta secuencia, es decir, los genes. Al material genético, en conjunto con la información a partir de la que un ser vivo podrá formarse y desarrollarse, se le conoce como genoma.

La teoría más simple del funcionamiento del genoma para llevar a cabo sus funciones hereditarias marca una ruta en la que cada gen se transcribe en Ácido Ribonucleico (ARN) y este ARN se traduce en una proteína, la cual lleva a cabo la función contenida primariamente en el ADN.¹ A esto se le conoce como el “dogma central de la biología molecular”,² una teoría de gran relevancia, en el siglo XX, para los estudios moleculares de las secuencias genéticas; en nuestros días, ha quedado indiscutiblemente rebasada.³

Hoy sabemos que no todo el material genético sigue aquella ruta informativa simple, sino que hay una gran cantidad de secuencias que regulan las actividades de expresión de la información genética, así como moléculas funcionales-informativas de ARN.⁴ Más aún, la expresión de todos esos genes no está determinada únicamente por la información genética, sino que, de manera significativa, depende de las condiciones del ambiente donde habitan las especies.⁵ Todas estas vías y mediaciones, en conjunto, son conocidas como procesos epigenéticos.⁶

La expresión de la información genética es tan compleja que depende de los genes que se traducen en proteínas, de los genes reguladores que no se transcriben y no se traducen, y de los genes funcionales en forma de ARN; todo esto embebido en un sinfín de condiciones mediadas por el metabolismo celular y extracelular y el ambiente.⁷

En el caso particular de la especie *Zea mays*, es decir del maíz, se estima que tiene aproximadamente de 42,000 a 56,000 genes, con una cantidad de 2 mil millones de



pares de bases (pb) de ADN.⁸ Bastante extenso y complejo comparado con otros genomas, por ejemplo, el de la especie humana, *Homo sapiens*, con entre 20,000 y 25,000 genes y una cantidad de cerca de 3 mil millones de pb.⁹

En la mayoría de las especies de seres vivos, sobre todo los organismos pluricelulares diferenciados, la transferencia de la información genética se da sólo de manera vertical, es decir, de una generación a otra, del progenitor o progenitores a su descendencia. De manera excepcional, en especies unicelulares, específicamente bacterias y arqueas, el flujo de la información genética se puede dar de manera tanto vertical como horizontal, cuando un organismo adquiere material genético de otro que no es su progenitor.¹⁰ Para que un evento de transferencia horizontal pueda ocurrir es necesario contar con un individuo donador y uno receptor de la información genética.¹¹

A modo de ejemplo, las bacterias pueden transferir su material genético por distintos mecanismos de tal manera que el individuo receptor puede integrar fragmentos de ADN y, eventualmente, nuevos genes que se traducirán potencialmente en nuevos genes y, potencialmente, en nuevas funciones.¹² Cuando este material nuevo se mantiene estable en el genoma del donador, la dinámica evolutiva de ese gen particular cambia drásticamente, de tal manera que el efecto que puede tener esa nueva función en un genoma extraño puede ser impredecible.¹³

Tal material genético adquirido de manera horizontal o vertical está expuesto a diversos mecanismos que alteran la composición genética de los individuos dentro de una población. La principal fuente de alteración de la composición del material genético son las mutaciones, es decir, cambios al azar de la secuencia del material genético.¹⁴ Esencialmente, estos cambios pueden tener tres potenciales efectos en los organismos portadores: que esa mutación le confiera alguna ventaja al individuo portador y que aumente el número de individuos portadores del cambio; que ese cambio provoque un efecto negativo y que el individuo portador sea eliminado de la población o, en el mejor de los casos, que tenga menor probabilidad de dejar descendencia; o que ese cambio sea neutro dentro de la población, es decir, que no tenga una ventaja o desventaja aparente que se pueda manifestar en varias generaciones futuras.¹⁵ Este mecanismo que mantiene o elimina esas mutaciones es la selección natural de tipo darwiniana.¹⁶





Existen otros mecanismos que pueden modificar la estructura genética de una población, como el flujo génico que es la migración de genes de una población a otra.¹⁷

1.2 La transgénesis y los cultivos GM en México y el mundo, con énfasis en los eventos transgénicos de maíz

La transgénesis y las evidencias científicas que descartan sus supuestas ventajas

Desde principios de los años 80, con el surgimiento de técnicas de manipulación genética, se trató de replicar tanto el proceso de transferencia horizontal, como el mecanismo de transposición de la información genética, por medio de unidades genéticas móviles, también exclusivo de dichos grupos de seres vivos.¹⁸ Desde el punto de vista técnico, el objetivo de esto ha sido la introducción de nuevas funciones que permitan a los organismos tener características particulares. En el caso específico de las plantas de importancia agrícola esta manipulación ha estado orientada, teóricamente, a la obtención de mejores rendimientos, aunque en términos reales, tal como se mostrará más adelante, esta característica no se ha conseguido a cabalidad de manera que pueda ser eficiente y sostenible.

El surgimiento de los organismos genéticamente modificados (OGM) deviene del desarrollo de técnicas de ingeniería genética aplicadas en organismos vivos. Estas técnicas son diferentes de las modificaciones naturales que ocurren en las especies y de las convencionales o tradicionales mediadas por el ser humano.¹⁹ La teoría dicta que un organismo se puede modificar genéticamente simplemente cambiando, es decir, mutando un solo par de bases del ADN, si es que esto se hace de manera artificial. También, que se puede silenciar o en caso contrario, sobre expresar una determinada función, alterando la secuencia del material genético.²⁰ En términos de genética evolutiva, con este tipo de cambios estamos alterando el material genético y generando un “nuevo alelo” que, al estar embebido en una población natural, está sometido a los mismos procesos complejos antes descritos, así como a las mismas fuerzas evolutivas que las demás variantes ya existentes.²¹

Asimismo, existen técnicas de manipulación genética que, como en el caso de las bacterias y arqueas, insertan su material genético (una multiplicidad de genes) al genoma de un organismo receptor.²² Cuando hay una inserción de genes provenientes de la misma especie, el organismo receptor se llama organismo genéticamente modificado cisgénico, pero, cuando la inserción proviene de una



especie distinta se llama organismo genéticamente modificado transgénico. En el presente documento los términos OGM y transgénico se utilizarán de manera indistinta, lo mismo para cultivos genéticamente modificados (GM) y cultivos transgénicos.

En términos de genética evolutiva, con este tipo de inserción, específicamente, las de tipo transgénico, estamos alterando el material genético porque al insertar un nuevo gen o conjunto de genes se originan no solo nuevas funciones, sino, literalmente, se genera un nuevo espacio dentro del genoma bacteriano.²³ Esto es porque cada gen que forma parte de todo el genoma, de cualquier organismo, tiene un espacio y por tanto un orden que incluso ha sido mantenido por millones de años. Estos espacios genómicos se les conoce singularmente como locus, en plural se llaman loci.

Para el desarrollo de un OGM de tipo transgénico se tiene que aislar una determinada secuencia de ADN de un organismo (no únicamente un gen), con unas características conocidas y deseadas, e implantarla en el ADN de otro organismo que se desea modificar. Las técnicas de producción de transgénicos (transgénesis) en plantas fueron utilizadas por primera vez a principios de los años 80 del siglo pasado. Las primeras pruebas fueron en cultivos de tabaco, en Francia y en Estados Unidos (EE. UU.), en 1986.²⁴ El tomate Flavr-Savr o tomate MacGregor, de la empresa Calgene, hoy parte de Monsanto fue el primer alimento transgénico comercializado con autorización para el consumo humano, a partir de 1994; las características que se habían modificado eran su aspecto, sabor, tiempo de maduración y conservación.²⁵

A partir de los descubrimientos y de la comprensión de la dinámica de translocación de la información genética de especies filogenéticamente distantes, por parte de la comunidad científica, es que los ingenieros genéticos y biotecnólogos modernos señalaron un potencial para el “mejoramiento artificial” de plantas de interés en la agricultura, prometiendo mejores rendimientos, disminución en el uso de plaguicidas y acabar con el hambre en el mundo, lo cual no ha ocurrido.

Técnicas de transgénesis en plantas de interés agronómico, entre la imprecisión y la ineficiencia

Las técnicas de transgénesis empleadas para generar los principales cultivos GM comerciales, se basan en la inserción de secuencias de ADN provenientes de distintas especies dentro del genoma de otra especie distante filogenéticamente.



Esto se lleva a cabo, principalmente, a través de dos técnicas: la biolística o biobombardeo y la mediación de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*. Tal como veremos a continuación, se trata de técnicas imprecisas e ineficientes, lo que deriva en expresiones génicas y epigenéticas no deseadas.

A. tumefaciens es una especie de bacteria que interactúa como parásita con especies de plantas dicotiledóneas, específicamente, con el grupo de las leguminosas. Esta especie infecta las raíces introduciéndose al tejido de las plantas, ahí, la bacteria inyecta varios genes al núcleo de las células en un plásmido, es decir, en una unidad de material genético con capacidad de moverse fuera de la célula bacteriana. Estando este plásmido en el núcleo de la célula vegetal, los genes dispuestos en el plásmido se integran al genoma de la planta de tal manera que esos genes son, posteriormente, expresados por la otra especie, en este caso se producen ciertas proteínas y procesos metabólicos. Tales proteínas tienen la función de producir tumores a los que se les denomina agallas, además de inducir a la planta para que se produzcan grandes cantidades de opinas, las cuales son parte del alimento de la bacteria. Como es una interacción de depredación, la bacteria se beneficia a través de estos genes al obtener los recursos de la planta reduciendo el crecimiento y reproducción de la especie hospedera.²⁶

La idea básica que está detrás de la producción de organismos transgénicos es usar esta base científica, para ello, los plásmidos, es decir las unidades móviles de transferencia de la información, son modificados, de tal manera que sus genes son deshabilitados y, por tanto, se elimina la información para producir un daño a la planta.²⁷ Teniendo un plásmido atenuado se le insertan las secuencias de ADN de interés. Este plásmido se introduce a una bacteria transformante que, en la gran mayoría de las veces, es la especie *Escherichia coli*. Al entrar al interior de la célula bacteriana los genes introducidos comienzan a expresarse, aunque esto no ocurre de manera precisa y las frecuencias de transformaciones deseadas suelen ser bajas, debido a una gran cantidad de factores involucrados en dicha transformación.²⁸

La otra técnica más usada actualmente para insertar genes de una especie a otra es usando una “pistola de genes” para biolística.²⁹ Esta herramienta fue diseñada y producida inicialmente por ingenieros de la Universidad de Cornell en Ítaca en Nueva York, durante la mitad de la década de 1980. Se acuñó el término para referirse a una pistola que dispara micropartículas recubiertas de ADN a las células receptoras, tratando de que el material genético se aloje primero en la célula, después en el núcleo celular y, finalmente, pueda ser insertado en el genoma de las plantas o, en general, de los organismos a modificar. Estas pistolas de genes



disparan micro proyectiles cubiertos de ADN a las células vegetales.³⁰ La primera vez que se probó una pistola de este tipo fue en 1983 con células del epitelio de la cebolla. Después del disparo algunas células de la cebolla aún eran viables y alguna proporción menor se introducía y se expresaba en gen que se había traspasado. Estos ingenieros abrieron una patente y una empresa para vender este tipo de pistolas, pero, en 1989, vendieron el negocio a DuPont, quien comercializó la herramienta a mayor escala.³¹

La técnica de transferencia de genes de una especie a otra comienza cuando las partículas atraviesan las membranas y son atrapadas en el núcleo, en cualquier parte del ADN del organismo receptor; así, este material genético, en una frecuencia muy baja, se integra en regiones no conocidas de los cromosomas, mediante la recombinación, un proceso constitutivo de las células.³² Si esto ocurre se considera que la transformación es estable y el material genético puede expresarse en las células transgénicas. Es de recalcar que este tipo transformación es extremadamente inefectivo sobre todo porque, literalmente, se bombardea la célula y no es posible predecir en qué parte del genoma de la planta se insertarán los genes que se están bombardeando.³³ Esta transformación ocurre a una frecuencia muy baja, por lo que es necesario utilizar un sistema de selección *in vitro* que permita distinguir células transformadas y no transformadas.³⁴

Aunado a lo antes expuesto, es necesario señalar que la transgénesis en plantas de interés agronómico comercial no se logra con la inserción de un único gen. En realidad, una secuencia transgénica consta de varios elementos funcionales para que la expresión de los genes de interés se logre en las plantas GM. Y bien, esta expresión, tal como se mencionó antes, ocurre a través de la traducción y la transcripción, que son procesos complejos. Ahora, la explicación más simple del proceso de transcripción de la información genética indica que ésta inicia en sitios con secuencias particulares del ADN, ahí la ARN polimerasa se une al material genético para así poder iniciar el proceso; una vez que el gen ha sido totalmente transcrito, la síntesis se detiene por medio de una tercera secuencia que codifica para que el proceso se detenga.³⁵

Entonces, para que la transgénesis ocurra, de inicio se necesitan al menos tres tipos de secuencias funcionales: una secuencia que promueve el inicio de la transcripción, llamada región promotora; la secuencia del gen que se desea se exprese en el organismo transgénico; y una secuencia de terminación que codifica para que se detenga el proceso de síntesis de la transcripción.³⁶





Las construcciones transgénicas más sencillas tienen sólo un gen funcional acompañado de otros que permiten su expresión; por ejemplo, la construcción de una secuencia transgénica insertada en maíz (MON87427), mediada por el plásmido T de *A. tumefaciens* de la compañía Monsanto, tiene un tamaño de 3269 pb: un promotor de 620 pb; un intrón de 803 pb; un pequeño péptido de cloroplasto de 207 pb; el gen funcional de 1367pb y un terminador de 252pb.³⁷ En esta construcción, la combinación del promotor y el intrón se utiliza para impulsar la expresión tisular selectiva del gen constitutivo, lo que da como resultado la producción de la proteína en el tejido reproductivo y vegetativo femenino, proporcionando tolerancia al glifosato dentro de estos tejidos.

Un evento transgénico es la construcción transgénica que se inserta en las células de un organismo y que expresa una característica deseada. En el caso del maíz, los eventos transgénicos son cada una de las modificaciones genéticas, incluyendo las combinaciones de éstas, conferidas a distintas líneas parentales de híbridos convencionales que se registran con un nombre y código específicos, además se protegen bajo una patente o derechos de obtentor con un nombre comercial determinado. La expresión que se obtiene (como la tolerancia al glifosato o la resistencia a insectos) se conoce como rasgo transgénico.³⁸

Existen construcciones más complejas donde hay más de dos genes constitutivos; también, hay eventos que contienen dos o más construcciones de transgenes los cuales se insertan en mismo segmento de secuencia, a estos se les conoce como eventos apilados.³⁹ Por ejemplo, el evento DAS-Ø15Ø7-1 × MON-ØØ81Ø-6 × SYN-IR6Ø4-5 × MON-ØØ6Ø3-6, de la compañía Syngenta, Monsanto y Dow AgroSciences LLC tiene un tamaño de más de 10,000pb, con 7 transgenes funcionales constitutivos; cada uno con su promotor, su terminador y en alguno de los genes hay secuencias que fomentan la expresión en algunos tejidos específicos de la planta.

En un evento transgénico, la construcción del segmento a insertar proviene de más de una especie, ya sea bacteriana, viral o de alguna otra especie de planta. Por ejemplo, el promotor que más se utiliza para hacer la construcción proviene del virus del mosaico de la coliflor (Cauliflower Mosaic Virus =CaMV), mientras que el terminador proviene de *A. tumefaciens* (del gen de la nopalina sintasa, T-NOS. Por otro lado, los genes constitutivos insertados provienen de diversas especies de bacterias.^{40,41} Así, un evento sencillo con el rasgo de tolerancia al glifosato, que se va a transferir a la planta donadora está constituido por el material genético de tres especies distintas, de tal manera que la planta transgénica contará con el material



transgénico de tres especies, una viral y dos bacterianas, más aparte el genoma propio de la especie.

Se ha demostrado que el sólo promotor (CaMV) p35, en sus variantes largas, contiene un marco de lectura abierto que, cuando se expresa, puede dar lugar a cambios fenotípicos no deseados.⁴² En las construcciones transgénicas completas, los efectos pleiotrópicos (donde un mismo gen incide en características fenotípicas distintas y no relacionadas) pueden ocasionar cambios en el nivel de componentes que entonces no serían detectados pero que sí afectarían a la inocuidad del alimento.⁴³

Como hemos visto en este acápite, las dos principales técnicas de transgénesis son imprecisas (no se pueden controlar ni predecir los loci en los que serán insertadas las secuencias transgénicas, tampoco se pueden predecir todos los efectos a nivel genético y epigenético), sin dejar de mencionar que, en ambos casos, se insertan varios genes.

Tal como se explicó antes, aquel funcionamiento simple expresado por el dogma central de la biología molecular ha quedado rebasado, la inserción imprecisa de secuencias transgénicas trae como consecuencia expresiones no deseadas. Los efectos no deseados son parte de la tecnología de ADN recombinante, es decir la transgénesis y, desde el año 2000, un grupo de expertos convocados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ya recomendaba realizar evaluaciones adecuadas para poder identificar los riesgos asociados a dichos efectos.⁴⁴

Más de treinta años de cultivos GM en el mundo, una historia de beneficios no cumplidos a la luz de la evidencia científica

Los principales argumentos para promover la biotecnología para la producción de cultivos transgénicos han sido dos: aumentar el rendimiento de los cultivos y con ello obtener una mayor producción en los granos básicos, sobre todo en maíz; y, disminuir la cantidad de agroquímicos, sobre todo de insecticidas y herbicidas.

A más de 30 años de la primera liberación al ambiente de cultivos GM, los datos estadísticos obtenidos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)⁴⁵ revelan que ha aumentado la producción de maíz, sin embargo, esta tendencia se observa desde los años 50 con el uso de semillas híbridas. En la figura 1 se observa, sin necesidad de hacer alguna prueba de



hipótesis, que la mayor producción en realidad no está asociada a un mayor rendimiento, sino a un aumento del área cultivable, es decir, se produce más porque hay más superficie para estos cultivos.

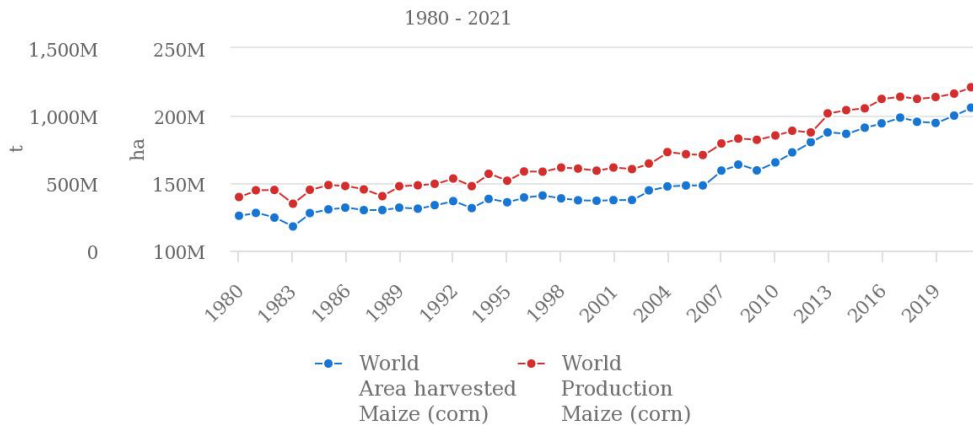


Figura 1. Producción de maíz y cantidad de área cultivada a nivel mundial durante los últimos 40 años. Se observa que la producción ha ido en aumento a razón de un aumento de las áreas cultivables.

Si la promesa de obtener una mayor producción en maíz se hubiese cumplido, observaríamos una tendencia de la superficie cultivable con una pendiente cercana a cero. En el caso de Estados Unidos, el país con la mayor área de cultivo de maíz transgénico existe un panorama similar al que sucede en el mundo. En la Figura 2 observamos que, incluso en algunos años, la relación entre la producción y el área cultivable tiene una tendencia inversa, tendencia que no concuerda con el argumento impuesto por las compañías que ofrecen estos productos.

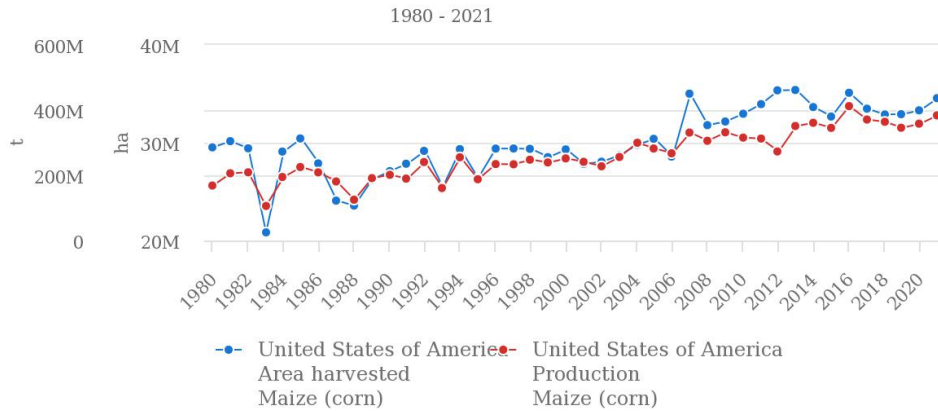


Figura 2. Producción de maíz y cantidad de área cultivada en Estados Unidos durante los últimos 40 años. Se observa que la producción ha ido en aumento a razón de un aumento de las áreas cultivables.

Un estudio comparativo entre los sistemas productivos de EE. UU. (con OGM a partir de los años 90) y Europa del Este (sin OGM), caracterizados como altamente productivos con condiciones similares en cuanto a costos de producción y subsidios para la agricultura, permite corroborar que los OGM no han implicado un aumento en el rendimiento, en comparación con los cultivos no GM. En la comparación que se hace sobre el rendimiento del maíz en ambos sistemas de producción, que abarca de 1961 a 2009, se advierte que no existe diferencia significativa, aún con la introducción de semillas de maíz GM, en los años 90, no se muestra un mayor rendimiento en el sistema estadounidense.⁴⁶

Las Academias Nacionales de Ciencia, Ingeniería y Medicina han analizado el tema del rendimiento potencial y real de los cultivos GM, a partir de datos a nivel nacional sobre el maíz, el algodón o la soja GM en los Estados Unidos; reportando como hallazgo que no se muestra una un aumento significativo en la tasa de rendimiento, a partir de la tecnología de ingeniería genética.⁴⁷ La tendencia de rendimiento del maíz en este país, en el período de 1940 a 1995, comparado con el periodo de 1996 a 2011 cuando se empezó a cultivar maíz transgénico, aumentó sólo un 1%.⁴⁸ La introducción del maíz transgénico no ha resultado en un aumento significativo en la tendencia de rendimiento comparado con los maíces híbridos producidos en México.^{49, 50, 51, 52}

Los promotores de OGM llegan a hacer afirmaciones exageradas sobre los beneficios de estos cultivos, particularmente, sobre el rendimiento. Haciendo un





análisis detallado de las publicaciones que muestran incrementos exacerbados de los rendimientos alcanzados por esta tecnología, es posible advertir que éstos sólo se han obtenido bajo condiciones controladas (invernaderos) o con experimentos con pocos individuos (ensayos de campo a pequeña escala), sin que ello haya sido posible bajo las condiciones reales en los agrosistemas.⁵³

Incluso, reportes de campo del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) han señalado textualmente que “Durante los primeros 15 años de uso comercial, no se ha demostrado que las semillas transgénicas aumenten el potencial de rendimiento de las variedades. De hecho, los rendimientos de las semillas tolerantes a herbicidas o resistentes a insectos pueden ser ocasionalmente menores que los rendimientos de las variedades convencionales si las variedades utilizadas para portar los genes HT o Bt no son los cultivares de mayor rendimiento, como en los primeros años de adopción”.⁵⁴

Por su parte, respecto a la segunda promesa de esta biotecnología agrícola, usando la información estadística de la FAO, también es posible advertir (figura 3) que la cantidad de herbicidas aplicados en los cultivos durante estos 27 años, no sólo no ha disminuido, sino que la pendiente es mayor de finales de los años 90, del siglo pasado, a la fecha, tiempo en el que se ha incrementado el uso de OGM a nivel internacional (por países que han apostado al modelo transgénico Estados Unidos y Argentina).

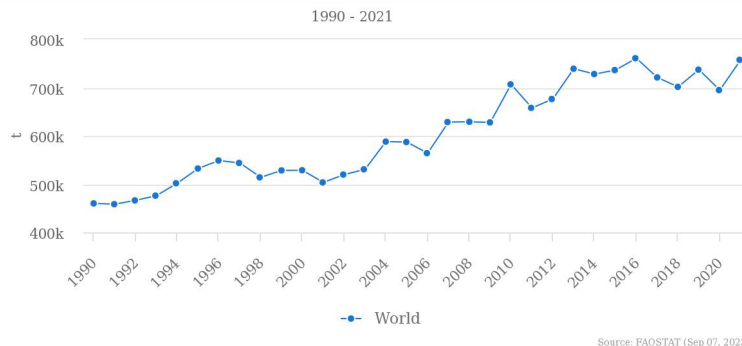


Figura 3. Producción de herbicidas a nivel mundial durante los últimos 30 años. Se observa que la producción ha ido en aumento, incluso a partir de 2010 la pendiente es más grande en relación con los años anteriores.

Los OGM tampoco han logrado disminuir la cantidad de insecticidas, aún con la tecnología Bt (*Bacillus thuringiensis*). De hecho, las toxinas de acción insecticida





producidas por las plantas GM han llevado al desarrollo de resistencia en los insectos plaga, esto se profundizará más adelante. En los hechos, ello apunta a que la tecnología Bt es insostenible ambiental y agronómicamente. Para el caso de los herbicidas, en la línea de tiempo podemos observar que hay incluso un aumento en su uso posterior a la implementación de los cultivos GM tolerantes a herbicidas (glifosato y glufosinato de amonio, principalmente) (figura 4).

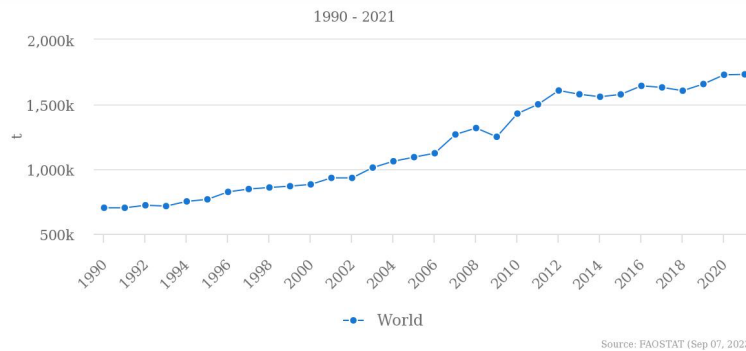


Figura 4. Producción de insecticidas a nivel mundial durante los últimos 40 años. Se observa que la producción ha ido en aumento a y a partir de 2005 hay una pendiente mayor en relación con los años anteriores.

Como veremos más adelante, la siembra de OGM tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos, han provocado el desarrollo de “super malezas” y “super plagas”, respectivamente, lo que se traduce en un alza en la cantidad y tipos de plaguicidas que se aplican en los terrenos agrícolas.

El aumento en la producción, a través de sistemas agrícolas intensivos de cultivos GM, está relacionada con la generación de materia prima para producir grandes cantidades de alimentos ultra procesados, altos en calorías, pero deficientes nutrimentalmente, más que con el combate al hambre. Lo que, a su vez se corresponde con un cambio en los hábitos alimenticios de los pobladores de los países llamados “desarrollados”.

Las personas que viven en EE. UU., por ejemplo, han aumentado la cantidad de calorías per cápita en más de un 200%, en tan solo 10 años. En los países llamados “en vías de desarrollo” y “subdesarrollados” comenzamos a observar estas tendencias, donde la población está adoptando una dieta de tipo occidental, que se caracteriza por el alto contenido calórico, baja calidad nutrimental, exceso de





azúcares refinados, alimentos altamente procesados y una gran cantidad de aditivos.⁶³

Lejos de pretender abastecer a la población de alimentos saludables, uno de los propósitos principales de la agricultura industrializada, dentro de la que se incluyen los cultivos de OGM, es generar insumos para la industria alimenticia con el fin de producir jarabes fructosados y aceites comestibles para ser empleados como ingredientes en la producción de alimentos de muy baja calidad nutrimental.⁶⁴ Este tipo de alimentos guardan una relación estrecha con los OGM, que se destinan primordialmente a la producción de alimento para ganado, etanol y alimentos ultraprocesados de baja calidad nutricional.⁶⁵ Esto se desarrolla con mayor abundamiento en secciones posteriores.

La mayor parte de los países y de las personas agricultoras, alrededor del mundo, no siembran ni importan OGM

De los 195 países reconocidos internacionalmente, el 85% no siembran OGM. Por región, los únicos 29 que tienen cultivos GM en sus territorios están distribuidos de la siguiente manera: 10 en América Latina, los 2 de América del Norte, 9 en Asia y el Pacífico, 6 en África, y 2 en la Unión Europea. Mientras que cerca del 80% de los países del mundo no importan OGM para ningún uso, sólo 43 (22%) les importa para alimentos humanos, animales o usos industriales.⁶⁶ De 165 países en el mundo que, en 2019, sembraron y cosecharon maíz,⁶⁷ más los de la Unión Europea, únicamente 14 países (8.5%) sembraron maíz GM: EE. UU., Brasil, Argentina, Sudáfrica, Canadá, Filipinas, Paraguay, Uruguay, España, Vietnam, Colombia, Honduras, Chile y Portugal.⁶⁸

Estos datos indican que no hay una preferencia generalizada o mundial hacia los cultivos transgénicos, particularmente, para el maíz GM, o para aprobar su importación con fines de alimentación humana, animal o procesamiento industrial.

De acuerdo con datos de la industria biotecnológica, en 2019, 17 millones de agricultores sembraron OGM, en un total de 190.4 millones de hectáreas, y más de 65 millones de personas se “beneficiaron” de los cultivos transgénicos.⁶⁹ Cifras ínfimas, al considerar que, en 2019, alrededor del mundo, aproximadamente 1,230 millones de personas estaban empleadas en los sistemas agroalimentarios del mundo y que más de tres veces esa cifra, o casi la mitad de la población mundial, viven en hogares vinculados a los sistemas agroalimentarios, según la FAO. De estos 1.23 mil millones de personas, 857 millones trabajaban en la producción agrícola



primaria, mientras que 375 millones trabajaban en los segmentos fuera de la granja de los sistemas agroalimentarios.⁷⁰

Resistencia a insectos, por expresión de proteínas Cry, y tolerancia a glifosato y otros herbicidas: principales rasgos de los cultivos transgénicos en el mundo, especialmente del maíz GM

De los 472 eventos transgénicos con aprobaciones de países, los rasgos más representativos son la tolerancia a herbicidas (HT, dependen de la aplicación de herbicidas para que el rasgo expresado sea aprovechado) y la resistencia a insectos (Bt, por la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que es el organismo “donador” de los genes, para expresar la producción de toxinas insecticidas de la familia Cry).

Los cultivos HT tienen modificaciones genéticas para que la planta GM sobreviva a la aplicación de cierto herbicida (p. e., el glifosato, el glufosinato de amonio, el ácido 3,6-dicloro-2-metoxibenzoico o dicamba y el ácido 2,4-dicloro-fenoxiacético o 2,4-D), de modo que éste se aplique como parte de las labores agrícolas para eliminar las arvenses. Hay cientos de registros de eventos transgénicos tolerantes al glifosato en diversos cultivos como el maíz, el algodón, la soya, la canola, la papa, la alfalfa y el trigo.⁷¹ De los cultivos GM tolerantes a herbicidas, a nivel internacional, el 63% son tolerantes al glifosato.⁷²

Ahora bien, por área de cultivo, los cinco principales cultivos GM, en el mundo, son: soya (91.9 millones de hectáreas), maíz (60,9 millones de hectáreas), algodón (25,7 millones de hectáreas), canola (10,1 millones de hectáreas) y alfalfa (1,28 millones de hectáreas). En conjunto, estas cinco plantas, ocupan el 99% de la superficie mundial de cultivos transgénicos. El cultivo con mayor número de aprobaciones es el maíz GM, con 172 eventos (36.5%). Los eventos de maíz NK603 (HT) y MON810 (Bt) tienen la mayor cantidad de aprobaciones, a nivel internacional.⁷³

En EE. UU., de acuerdo con datos obtenidos del Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas (NASS, por sus siglas en inglés), del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), a partir de la Encuesta agrícola de junio 2020-2022, el 93 % de los cultivos de maíz de ese país son transgénicos. El 65% de los eventos de maíz GM aprobados en ese país, son tolerantes a herbicidas, y el 42% son tolerantes al glifosato.⁷⁴



Es por ello que, dentro de los impactos a considerar para la salud humana y el ambiente, por el consumo de maíz GM o su siembra, es indispensable tener presente, entre otros:

1. Los posibles efectos asociados a las proteínas de la familia Cry, que se expresan en los maíces Bt y que, de manera inherente, forman parte de la constitución química de sus mazorcas que luego pueden llegar hasta los alimentos hechos a base de esos maíces, y
2. Los daños asociados a los herbicidas que forman parte del paquete tecnológico que se aplica en los maíces HT, pues estos pueden quedar como residuo en las mazorcas y terminar también en los alimentos hechos a base de esos maíces; principalmente, el herbicida que debe considerarse es el glifosato.

Estos mismos aspectos deben considerarse como parte de los impactos para el ambiente y la diversidad biológica, incluida la diversidad biocultural de los maíces nativos, a partir de la liberación al ambiente de maíces GM. Sin dejar de tomar en cuenta los efectos imprevistos derivados de la imprecisión inherente a la transgénesis; y otras características como la calidad nutricional y nutrimental inferior que los maíces GM y los alimentos hechos a base de éstos tienen, en comparación con los maíces mexicanos.

Y bien, la bacteria *Bacillus thuringiensis* se ha utilizado desde la década de 1920, como un insecticida. Es una especie que forma estructuras de resistencia llamadas endosporas; durante este proceso se forman proteínas en forma de cristales que tienen acción insecticida (protoxinas), al ser ingeridas por los insectos.⁷⁵ En los años 70 del siglo pasado, se aislaron los genes que expresan dichas proteínas, genéricamente se conocen como Cry. Estas proteínas actúan en el tracto digestivo de los insectos provocando muerte celular.⁷⁶ Al final, estas mismas toxinas permiten que las endosporas de la bacteria germinen en el insecto. El tipo y la cantidad de diferentes protoxinas en las inclusiones cristalinas de *B. thuringiensis* determinan el perfil de toxicidad de una cepa particular.³⁷

Las proteínas Cry son muy diversas y algunas son específicas para determinado grupo de insectos, con resultados que pueden ser letales. Tienen una mayor letalidad en insectos de los órdenes Lepidóptera (mariposas y polillas), Díptera (moscas y mosquitos) y Coleóptera (escarabajos y gorgojos);⁷⁷ se ha documentado que otras son muy virulentas en himenópteros (avispas y abejas)⁷⁸ y nematodos.⁷⁹





En su paso por el tracto digestivo, las proteínas Cry ingresan primariamente como una protoxina, relativamente, inerte para luego formar una citotoxina:⁸⁰ en primer lugar, las proteínas deben ser ingeridas por una larva susceptible; el entorno del intestino medio promueve la solubilización de los cristales y la consiguiente liberación de protoxinas; los sitios de escisión o de corte de la protoxina son reconocidos y cortados por las proteasas del huésped para producir una toxina activa que, posteriormente, se une a receptores específicos en el epitelio del intestino medio; las subunidades de la toxina se oligomerizan para formar estructuras de poros capaces de insertarse en la membrana; estos poros permiten que los iones y el agua pasen libremente al interior de las células, lo que provoca hinchazón, lisis y, finalmente, la muerte.⁸¹

En 1996 se sembraron las primeras plantas transgénicas con expresión de proteínas Cry, desde ese momento se conocía que estas proteínas encargadas de producir insecticidas no son específicas para las especies de insectos plaga, sino que pueden eliminar diversos insectos que se alimenten con ellas.⁸²

Tal como se ha mencionado antes, otras de las construcciones transgénicas de mayor producción, a nivel mundial, son las que expresan rasgos de tolerancia a herbicidas (HT), particularmente, al herbicida glifosato. El glifosato o ácido fosfometilglicina es un herbicida sistémico del grupo químico de la glicina sustituida, de aplicación pre y post-emergente (se refiere a si la aplicación del glifosato es en los primeros estados del ciclo de vida de las plantas, durante la germinación por ejemplo, o en etapas posteriores), de amplio espectro y no selectivo (es capaz de ejercer daño sobre la mayor parte de plantas conocidas y, eventualmente, provocar su muerte, incluidas diferentes especies de herbáceas, arbustos y árboles).⁸³ En la agricultura, el glifosato se aplica para la eliminación de poblaciones de plantas que crecen, sin haber sido sembradas, al interior y en los alrededores de la parcela agrícola.

Dicha capacidad herbicida se da a través de la afectación de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) que se encuentra dentro de la ruta bioquímica del ácido shikímico y es la responsable de la producción de tres aminoácidos aromáticos esenciales: fenilalanina, tirosina y triptófano, que son necesarios para la construcción de las proteínas vegetales y realizan funciones vitales en las plantas.⁸⁴ La enzima EPSPS no sólo se encuentra en plantas sino también en bacterias, incluyendo aquellas que componen la microbiota intestinal en humanos, y algunos hongos benéficos para el suelo.



La tolerancia al glifosato en los cultivos GM se obtiene mediante la inserción, en el genoma del híbrido parental, del gen cp4 epsps, proveniente de la bacteria *A. tumefaciens*.⁸⁵ En este caso, las plantas transgénicas expresan una enzima modificada, llamada S-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS, por sus siglas en inglés), la cual es tolerante al efecto de la N-fosfonometilglicina.⁸⁶ Según la patente emitida por Monsanto (MXPA05008725A), la construcción de una enzima EPSPS modificada se describe de esta manera "La tolerancia a glifosato en plantas se puede lograr mediante la expresión de una EPSPS clase I modificada que tiene menor afinidad para glifosato, aunque retiene aún su actividad catalítica en presencia de glifosato (patentes de E.U.A. 4,535,060 y 6,040,497).

"Tolerante" o "tolerancia" se refiere a un efecto reducido de un agente en el crecimiento y desarrollo de una planta, en particular tolerancia a los efectos fitotóxicos de un herbicida, especialmente glifosato. Las enzimas tales como EPSPS clase II han sido aisladas de bacterias que naturalmente son resistentes al glifosato y cuando la enzima es expresada como un transgén en plantas, esta provee de la misma tolerancia al glifosato (patentes de E.U.A. 5,633,435 y 5,094,945). Las enzimas que degradan el glifosato en tejidos vegetales (patente de E.U.A. 5,463,175) también son capaces de conferir a la planta tolerancia al glifosato.

Las construcciones de ADN que contienen los elementos genéticos necesarios para expresar las enzimas para tolerar el glifosato crean transgenes quiméricos en las plantas, esto es utilizado para la producción de OGM tolerantes al glifosato que permite al usuario aplicar en sus parcelas de cultivo algún herbicida a base de glifosato (HBG), eliminando cualquier planta excepto las modificadas genéticamente. Ejemplo de ello es la tolerancia al glifosato en maíz (patente de E.U.A. 5,554,798).

Eventos transgénicos permitidos y autorizados en México, con énfasis en los rasgos de los maíces GM

La liberación al ambiente de OGM comenzó en México en 1988, con una autorización de ensayo de siembra de tomate transgénico, emitida por la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) para la empresa Sinalopasta (en aquel entonces propiedad de la estadounidense Campbell's). Con ello, la SARH creó un grupo de trabajo *ad hoc* para elaborar la regulación sobre la introducción de cultivos transgénicos al ambiente, además de monitorear y evaluar los ensayos de siembra en campo; ese grupo se convirtió, al año siguiente, en el Comité de Bioseguridad



Agrícola, compuesto por personas expertas altamente calificadas, tanto científicos como funcionarios.⁸⁷

Entre 1988 y 2004 se otorgaron cerca de 350 autorizaciones a 38 empresas, 3 institutos de investigación y universidades, para 26 cultivos experimentales de OGM, en 48 sitios, de 17 estados de la república; 14% de los ensayos autorizados fueron para maíz transgénico.^{88,89} En 1993, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), del Instituto Politécnico Nacional (IPN), solicitó la primera prueba de campo para maíz GM, a la que le siguieron otras solicitudes de ensayos por parte de distintas instituciones, todos ellos en superficies no mayores a una hectárea y con medidas estrictas de control.⁹⁰

De acuerdo con datos de la Comisión Intersecretarial para la Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem), también en 1993, la multinacional Pioneer Hi-Bred International Inc. solicitó la autorización para la siembra experimental de maíz tolerante a herbicidas y resistente a virus. En 1995, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) se unió a las solicitudes de liberación experimental de maíz resistente a insectos, seguida de Asgrow Mexicana, en 1996, al solicitar permisos para liberar maíz tolerante a herbicidas. En 1997, la multinacional Monsanto comenzó a solicitar permisos para liberar diversos eventos de maíz transgénico resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas. En total, se registraron 73 solicitudes de liberación al ambiente de maíz transgénico, en el período comprendido entre 1993 y 2003.⁹¹

Debido a que, entre 1996 y 1998, habían aumentado las solicitudes para la autorización de ensayos para la siembra de maíz GM, que, desde entonces, fue considerado por la comunidad científica y campesina del país como un riesgo para la riqueza genética del maíz en su Centro de Origen y de Diversidad Genética (CODG), la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR, hoy SADER), impuso una moratoria *de facto*, que se mantuvo vigente de 1999 a 2005, a partir de la recomendación del Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA).⁹² Tal como mostraremos más adelante, la moratoria no impidió que los transgenes llegaran a las poblaciones de maíz nativo.

En 2005, se publicó la Ley de Bioseguridad de los OGM (LBOGM), que estableció tres tipos de licencias para realizar actividades con OGM:



1. Autorizaciones para la importación para uso o comercialización, cuyo fin sea el consumo humano (directo, como granos, o en alimentos procesados) o animal, u otros fines como la salud pública o la biorremediación.
2. Permisos para la liberación al ambiente (p.ej. siembra).
3. Avisos de utilización confinada (investigación y usos industriales).

De 2005 a 2013, se otorgaron 651 permisos para la siembra de cultivos GM, en etapas experimental, piloto y comercial, el 53.6% corresponde a cultivos de algodón transgénico y el 30.1% a cultivos de maíz transgénico. El 76% de los permisos son para cultivos tolerantes al herbicida glifosato.⁹³ El otorgamiento de permisos de liberación al ambiente se detuvo por orden judicial desde septiembre de 2013.

Los principales promoventes de estas solicitudes de permiso han sido las multinacionales Monsanto (31.4%), Pioneer junto con Dow AgroSciences (26.6%), Pioneer (24.8%) y Syngenta (13.0%), teniendo como objetivo la siembra en los estados de Sinaloa, Sonora, Chihuahua, Tamaulipas, Coahuila, Durango, Nayarit y Baja California Sur.⁹⁴ Las modificaciones genéticas en las solicitudes de permiso aprobadas incluyeron resistencia a insectos lepidópteros (54.5%), resistencia a coleópteros (24.1%) y tolerancia a los herbicidas glifosato (56.3%) y glufosinato de amonio (33.0%).⁹⁵ La mitad de estas solicitudes de permiso fueron hechas para eventos con características apiladas.⁹⁶

En cuanto a las autorizaciones de eventos transgénicos para su importación, de 1995 a 2018, se otorgaron 181 con vigencia indeterminada. Cerca de la mitad (49.7%) son para transgénicos de maíz, el 67% son para transgénicos tolerantes al glifosato (83.4% son tolerantes a varios herbicidas, incluyendo dicamba y 2,4- D); de los cultivos transgénicos de maíz, 90% son eventos de tolerancia a glifosato.⁹⁷

1.3 Evidencia científica y estadística sobre la innegable relación de los maíces transgénicos y otros cultivos GM con el glifosato (y otros agrotóxicos)

Antecedentes conceptuales relevantes sobre el glifosato, los herbicidas hechos a base de esta sustancia y su principal producto de degradación

El glifosato fue creado en 1950 en una empresa farmacéutica suiza que buscó su aplicación en ésta área sin éxito, luego de 14 años se concedió la primera patente (número 3.160.632) para el empleo del glifosato como agente quelante y desincrustante de metales, destinado a la eliminación de depósitos minerales en tuberías y calderas.⁹⁸ Debido a posteriores investigaciones sobre algunas de sus



propiedades biológicas, conducidas por distintas empresas, la multinacional Monsanto lo patentó como herbicida, tras descubrir sus propiedades herbicidas y lo introdujo al mercado en 1974 con su fórmula comercial más conocida, el *Roundup*®.⁹⁹

Actualmente, el glifosato es la sustancia más usada como herbicida en todo el mundo, englobando más de 750 formulaciones a base de este compuesto.^{100,101} Químicamente, es una molécula formada por una fracción de glicina y un radical aminofosfato unido como sustituyente de uno de los hidrógenos del grupo α -amino. Es el ingrediente activo principal de varios herbicidas comerciales que se utilizan en la agricultura, la jardinería y otros usos domésticos, tanto en entornos rurales como urbanos, además del mantenimiento en carreteras y otras vías de comunicación.

Los herbicidas hechos a base de glifosato (HBG) son mezclas de varias sustancias que, además de glifosato, contienen otros ingredientes; la mayoría de las veces estos ingredientes son excluidos de los ensayos de toxicidad que presentan las empresas al solicitar la autorización para comercializar sus productos, considerando únicamente el ingrediente activo,^{102, 103} mientras que el resto de la formulación que representa, en general, más del 50% del herbicida, permanece desconocido bajo alguna figura para la protección de secreto industrial.¹⁰⁴ Como se verá más adelante, esta es una falla que comparten los sistemas de regulación de plaguicidas que se basan en el estándar internacional para realizar sus evaluaciones de riesgo. Se ha identificado que las diferentes formulaciones disponibles de *Roundup*® pueden variar en su toxicidad hasta 100 veces debido a los diferentes ingredientes que contienen.^{105,106,107}

Estos ingredientes de las formulaciones comerciales completas se clasifican en dos grupos: 1) los ingredientes “activos”, que son los que se añaden intencionalmente para ser tóxicos en contra de las especies blanco, es decir, las especies de plantas que el herbicida promete eliminar; y, 2) ingredientes “inertes”,¹⁰⁸ también llamados formulantes, que se añaden a la formulación para potenciar el efecto del ingrediente activo; además de los coadyuvantes.

En el caso de los HBG, los principales coadyuvantes son surfactantes, es decir, moléculas que ayudan al glifosato a atravesar las membranas de las plantas. Los compuestos que más se utilizan como surfactantes en los HBG son moléculas del grupo de las aminas etoxiladas, también conocidas como POEAs sintetizadas químicamente a partir de aminas a las que se añaden unidades de óxido de etileno.



El principal producto de degradación del glifosato es el ácido aminometilfosfónico (AMPA), que tiene una mayor persistencia y movilidad en los cuerpos de agua y en suelos, en comparación con el glifosato^{109,110,111} y también se ha demostrado que tiene efectos perniciosos sobre la salud y el ambiente, como se describe a continuación.

Actualmente, el micrositio de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (Cibiogem) cuenta con el “compilado de información científica sobre los efectos nocivos del herbicida glifosato”, como parte del Sistema Nacional de Información de Bioseguridad de los OGM (SNIB), mandado por la Ley de Bioseguridad de los OGM (LBOGM), en el que se encuentran contenidos más de 350 registros de artículos científicos que refieren evidencia contundente acerca de los daños que el glifosato causa a la salud humana, el ambiente y la diversidad biológica.¹¹²

Por si fuera poco, en 2020 se publicó la 5ta edición de la “Antología Toxicológica del glifosato”, que refiere 1108 investigaciones científicas, libres de conflicto de interés, sobre los efectos del glifosato, su dinámica y los impactos provocados por el uso de herbicidas hechos a base de este, así como de su principal producto de degradación, el AMPA (ácido aminometilfosfónico).¹¹³

Eventos transgénicos, con énfasis en los rasgos de maíz GM, tolerantes a glifosato; a nivel mundial, en Estados Unidos y en México

Podemos afirmar que la tendencia general de manejo de cultivos GM y, particularmente del maíz GM involucra la utilización del glifosato como herbicida principal, esto al observar que:

- De los cultivos GM tolerantes a herbicidas, a nivel internacional, el 63% son tolerantes al glifosato.¹¹⁴
- El maíz NK603, tolerante al herbicida glifosato, es uno de los dos eventos transgénicos con la mayor cantidad de aprobaciones, a nivel internacional. Además, este evento se encuentra apilado en más del 20% de los eventos aprobados.¹¹⁵
- El 65% de los eventos de maíz GM aprobados en EE. UU., son tolerantes a herbicidas, el 42% son tolerantes al glifosato.¹¹⁶
- En México, cerca de la mitad de las autorizaciones otorgadas para la importación de eventos transgénicos, corresponden a maíz GM, 90% de éstos son eventos de tolerancia a glifosato.¹¹⁷



Uso del glifosato a nivel global

Con la expansión de los cultivos GM en los países que los han aprobado, la aplicación de HBG ha aumentado 113 veces en volumen, de 1996 a 2018,¹¹⁸ un incremento de 1500%; y más del 55% del glifosato usado en la agricultura (90% del uso global del glifosato) se destina a los cultivos GM.^{119,120} Autores con experiencia en arvenses que han desarrollado resistencia al herbicida glifosato, han expresado que el aspecto más importante del éxito comercial del glifosato ha sido la introducción de cultivos transgénicos tolerantes a este herbicida.¹²¹

Residuos de glifosato en productos y alimentos con maíz transgénico y otros cultivos GM

Desde 2012, se reportaba que los residuos de HBG estaban presentes en las plantas comestibles transgénicas tolerantes al glifosato, especialmente en el maíz transgénico.¹²² En el año 2017, se publicó un estudio que reveló la presencia de secuencias transgénicas y del herbicida glifosato en diversos alimentos elaborados a partir de maíz, los cuales son ampliamente consumidos y de fácil acceso en México. Las muestras incluyeron productos de consumo básico (tortillas, tostadas y totopos) y procesados (harinas, botanas y cereales para el desayuno). El estudio encontró que un 82% de todos los alimentos analizados contenían secuencias de eventos transgénicos, de éstas un 30% reportó la presencia de residuos de glifosato y AMPA. Además, se observó que el 60% de las muestras con transgénicos, presentaban el evento de maíz GM, tolerante al glifosato, conocido como NK603.¹²³

En otros estudios también se ha detectado la presencia de residuos de glifosato y AMPA en agua, además de alimentos como: granos (cebada, avena, centeno y trigo); productos procesados (pan, cereales para el desayuno, jarabe de maíz, harina y mezclas para hornear, pasteles y botanas de trigo, harina de salvado y productos que tienen como base soya); otros productos (legumbres y alimentos a base de legumbres, guisantes y soya GM).¹²⁴ Se ha detectado la presencia de trazas de glifosato y sus derivados en una gran cantidad de alimentos, particularmente, aquellos que contienen cereales producidos de manera tecnificada, como la avena, canola, trigo y soya. En estos casos, el glifosato se asperja previo al periodo de cosecha para acelerar la desecación de los granos, así como en los cultivos de maíz y soya genéticamente modificados.¹²⁵

Los residuos de glifosato en cultivos de granos pequeños están aumentando debido a esta creciente práctica de desecación previa a la cosecha.^{126,127,128} Según una guía



de preparación previa a la cosecha de la compañía Monsanto, esto es considerado como una estrategia de manejo no sólo para controlar las malezas perennes, sino también para facilitar el manejo de la cosecha y obtener una ventaja en la cosecha del próximo año.¹²⁹

Otro estudio que comparó la composición nutricional y elemental de soya GM, soya convencional y soya orgánica, en EE. UU., mostró que las muestras de la soya GM contenían alta presencia de residuos de glifosato (3.3 mg/K), mientras que las otras dos no presentaron residuos de este agrotóxico. Además, los resultados revelan que la soya orgánica mostró el perfil nutricional más saludable con, significativamente más proteínas totales, zinc y menos fibra, además de menos grasas saturadas totales.¹³⁰

También, se han hecho análisis en mieles provenientes de diversos países, comparando la presencia de residuos de glifosato en cada una de ellas y clasificando las muestras por países: que usan ampliamente OGM, que permiten el uso de algunas características de OGM y aquellos que no permiten OGM. Los resultados indican que, en general, los niveles de glifosato son más bajos en muestras de países que no permiten o permiten el uso limitado de algunas características de OGM, en comparación con aquellos países que permiten la plantación de características de OGM. Además, se detectó la presencia de glifosato en productos con ingredientes de maíz (panqueques y jarabe de maíz) y hechos a base de soya (salsa de soya, leche de soya y tofu), los autores señalan que el glifosato ha aumentado con la introducción de soya y maíz GM y no descartaron la posibilidad de que los productos analizados, estuvieran hechos a base de estos insumos.¹³¹

En Suiza, se analizaron muestras de diferentes alimentos, detectando residuos de glifosato en pasta (identificada como un alimento muy importante para la ingesta de residuos de glifosato en ese país), vino, jugo de frutas y casi todas las muestras de miel. De acuerdo con los autores, en ese país no se registra el uso de glifosato en cereales o semillas oleaginosas, ni aplicaciones en cultivos GM o uso como desecante, sin embargo, varios de los productos provienen de países en los que sí se reportan aplicaciones como desecante antes de la cosecha.¹³² En Estados Unidos también se ha detectado glifosato en vino y cerveza,¹³³ además de agua potable.¹³⁴

Otra investigación menciona que las pruebas de residuos de la Agencia de Normas Alimentarias (FSA, por sus siglas en inglés) del Reino Unido, realizadas en 2012 encontraron residuos de glifosato en una tercera parte de las muestras de pan analizadas. En este artículo se añade que, en EE. UU., pruebas realizadas por el



Departamento de Agricultura (USDA), en 2011, revelaron la presencia de glifosato y AMPA en el 90,3% y 95.7%, respectivamente, de las muestras de soya analizadas; considerando que en ese país la mayoría de la soya es transgénica, no se puede descartar la relación que esto supone.¹³⁵ En Argentina, hay reportes sobre la presencia de glifosato en productos hechos a base de algodón. Estos productos son: materiales de curación (gasas y algodón) y productos de higiene personal (tampones).¹³⁶

En Canadá, un grupo científico analizó 7955 alimentos, encontrando residuos de glifosato en 42.3% de las muestras. Las muestras de alimentos incluyeron una amplia variedad de frutas y verduras frescas y procesadas, cereales (por ejemplo, trigo, maíz, avena, cebada, trigo sarraceno y quinua), bebidas, legumbres (frijoles, guisantes, lentejas, garbanzos), productos de soya y productos infantiles, además de alimentos y comidas listas para comer/congeladas. El estudio no especifica si dichos productos contenían o están hechos a base de OGM, sin embargo, en el caso de los alimentos procesados o a base de soya y maíz, esta posibilidad no puede descartarse.¹³⁷ De hecho, otra investigación científica habla de la introducción de miles de toneladas de glifosato en la cadena alimenticia, a partir de alimentos hechos a base de OGM, como la soya, tolerantes a este herbicida.¹³⁸

Finalmente, en diciembre de 2023, la Academia Americana de Pediatría de EE. UU. publicó un reporte clínico, elaborado por médicos especialistas que forman parte del Comité de Nutrición, en el que indican la relación estrecha del glifosato con los OGM y alertan sobre las cantidades medibles de este herbicida en una gran variedad de alimentos hechos a base de OGM, accesibles para niñas, niños y adolescentes. Al mismo tiempo, de manera contundente, se pone de manifiesto que la tecnología de los cultivos GM ha estado enfocada en aspectos agronómicos relativos al rendimiento, dejando de lado la calidad nutricional de los productos que, principalmente, se destinan a la fabricación de alimentos ultraprocesados. De este modo, se alude al papel relevante de las personas que ejercen pediatría, para informar a las familias sobre los potenciales riesgos de la ingesta de OGM y glifosato, así como la recomendación de consumo de alimentos orgánicos.¹³⁹

Tales resultados demuestran que la exposición humana al glifosato es generalizada y constante, además de que está relacionada con productos que contienen o que están hechos a base de OGM, lo cual es alarmante por los posibles efectos negativos sobre la salud humana de este plaguicida.



Presencia de glifosato en fluidos, tejidos y excretas de animales alimentados con maíz transgénico y otros cultivos GM

Una gran proporción de la producción de cultivos transgénicos son utilizados por la industria cárnica para alimentar al ganado ovino, bovino y porcino, de tal manera que el ganado es el principal consumidor de productos hechos a base de cultivos transgénicos en el mundo. Por esta razón, en los últimos años se han desarrollado investigaciones para detectar la presencia de glifosato en fluidos animales y conocer los efectos del herbicida en la salud animal. En EE. UU., el 95% del alimento del ganado esta hecho a base de insumos de cultivos GM, mientras que, a nivel mundial, se considera que estos alimentos representan del 70 al 90%.¹⁴⁰

Algunas de estas investigaciones han reportado presencia de glifosato en la orina de vacas lecheras y conejos de engorda alimentados con piensos hechos a base de OGM de maíz y soya; también en órganos y tejidos de vacas alimentadas con OGM, como intestino, hígado, bazo, riñón y músculos.^{141,142,143} En otra investigación, donde se evaluaron las características micológicas de las vacas lecheras, se examinó a un total de 258 vacas lecheras de 14 granjas y se detectó glifosato en orina, sugiriendo que el herbicida glifosato parece modular la comunidad micológica de estos rumiantes.¹⁴⁴

Otros estudios en vacas lecheras, en las que se detectó también glifosato, han señalado que la principal vía de excreción del agrotóxico son las heces fecales, además de que se debe tener en cuenta la degradación de glifosato y AMPA por parte de los microbios del rumen, así como una posible retención en el cuerpo de los animales.¹⁴⁵

Presencia de glifosato en fluidos y excretas humanas, en países con producción o consumo de OGM

En este punto es muy evidente que la exposición humana al glifosato es generalizada y constante, ocurre no sólo en entornos agrícolas, sino también en centros urbanos y periurbanos, de modo que este agrotóxico ingresa en nuestros cuerpos de manera ocupacional y no ocupacional.^{146,147}

Se tiene conocimiento de que la presencia de glifosato es detectable en la población general de países industrializados, con mayor prevalencia en niñas y niños, así como en las personas de zonas agrícolas.¹⁴⁸ Varios de los estudios en los que se ha detectado glifosato en fluidos y excretas humanas han sido conducidos en tres de



los países en los que los cultivos GM se han expandido exponencialmente y que están identificados en el grupo de los principales exportadores de transgénicos, a nivel mundial: Estados Unidos, Argentina y Brasil.

Sin embargo, la presencia de glifosato en el cuerpo humano no es exclusivo de estos lugares, estudios reportan ocurrencia de glifosato en países con menor expansión de cultivos GM, pero, que los importan (México, España y Portugal, además de China) o en los que no se siembran OGM, pero importan estos productos (países de la Unión Europea y Tailandia); importante señalar que, en ambos casos, el glifosato está permitido y se utiliza en cultivos no GM y otros usos no agrícolas.

Estados Unidos

La mayor parte de la población de ese país tiene glifosato en la orina. Esto es lo que reporta la Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición de Estados Unidos (*NHANES*, por sus siglas en inglés) realizada por los centros de Control y Prevención de Enfermedades. En su informe del 2022 se reveló que el 80% de las muestras de orina tomadas en la población infantil y adulta de ese país durante el periodo 2013-2014 contenían glifosato. Los datos de esta Encuesta Nacional son robustos y confiables, el tamaño de la muestra es representativo del total de la población, por lo que es posible asumir que en ese país hay una exposición generalizada al compuesto.¹⁴⁹

En otro estudio, realizado por personas investigadoras de los Institutos Nacionales de Salud de EE. UU., se encontró una asociación entre la presencia de glifosato con la de biomarcadores moleculares de estrés oxidativo en muestras de orina del estudio de salud agrícola.¹⁵⁰

En 2018, en otro estudio se midieron los niveles de glifosato en la orina, en una muestra de 71 mujeres embarazadas del estado de Indiana, EE. UU., y se encontró que el 93% de ellas tenía niveles de glifosato por encima del límite de detección (0.1 ng/mL), con una media de 3.4 ng/mL; los niveles eran más altos en las mujeres que viven en zonas rurales con una media de 4.19 ng/mL.¹⁵¹ También, a partir de muestras tomadas de mujeres embarazadas, en California, se detectó la presencia de glifosato; además, se realizaron estudios en los infantes, en los que se descubrió que el glifosato estuvo relacionado con alteraciones en el desarrollo de los órganos reproductivos de las niñas, lo que sugiere que el glifosato actuó como disruptor endócrino.¹⁵²



También, hay estudios dirigidos a la detección de glifosato en los fluidos de las personas que aplican glifosato, por ejemplo, en Carolina del Sur, se evaluaron las concentraciones de glifosato en la orina de varios agricultores y sus familias, 24 horas antes y 24 horas después de la exposición a este glifosato; se encontró que el 60% del total de las muestras tomadas luego de la exposición, contenían al herbicida.¹⁵³

En 2017, se midieron niveles de excreción de glifosato y su metabolito AMPA en personas de un centro de Envejecimiento Saludable. Se encontró que los niveles medios de glifosato y AMPA y la proporción de muestras con niveles detectables aumentaron con el tiempo.¹⁵⁴ Un estudio de cohorte, publicado del 2021, señaló la presencia en orina de altos niveles de AMPA y le asoció con un incremento de 4.5 veces en el riesgo de desarrollar cáncer de mama en mujeres de distintos grupos étnicos en Hawái.¹⁵⁵

Argentina y Brasil

Desde hace casi treinta años se ha cultivado soya transgénica resistente a glifosato en Argentina, con lo cual las fumigaciones con este agrotóxico se volvieron algo cotidiano en aquel país. Esto ha significado un daño irreparable en la salud de los pobladores, donde se ha reportado un aumento de casos de cáncer, de malformaciones congénitas, de trastornos endocrinos y reproductivos. En ese país, se encendieron las alarmas cuando se detectó la presencia de agroquímicos en la sangre del 80% de los niños y niñas analizadas que habitan un barrio periférico de la ciudad de Córdoba, rodeado de campos cultivados con soya transgénica y fumigados con distintos agroquímicos. Las madres llevaban años denunciando la ocurrencia alta de distintas enfermedades.¹⁵⁶

Ello concuerda con otro estudio realizado en ese país, donde se examinó a personas de ocho comunidades rurales que estaban expuestas a pesticidas agrícolas. Los resultados revelaron que la incidencia de cáncer en estas áreas era significativamente mayor en comparación con la población en general, especialmente, entre las personas de 15 a 44 años. Además, las tasas de mortalidad por cáncer también fueron más altas en estas localidades rurales en comparación con el promedio nacional.¹⁵⁷

En el caso de Brasil, en 2022, con el propósito de verificar la presencia de glifosato en la leche materna y caracterizar la exposición ambiental, se recolectaron muestras de leche de mujeres lactantes de la ciudad de Francisco Beltrão, Paraná, tanto de



áreas urbanas como rurales, durante el periodo de mayor aplicación de glifosato en cultivos de maíz y soya en la región, que se caracteriza por la presencia de cultivos GM. Se detectó glifosato en el 100% de las muestras analizadas; además, se detectó glifosato en muestras de agua potable del área urbana y en agua de pozo del área rural de la región donde vivía la población estudiada. Se considera que los bebés lactantes ingirieron cantidades de glifosato en el periodo de 6 meses.¹⁵⁸

México

Por varios años, comunidades mayas y organizaciones civiles han denunciado, ante autoridades federales de México, el cultivo clandestino de semillas transgénicas de soya y maíz, en el municipio de Hopelchén, Campeche.¹⁵⁹

En 2017, se publicaron los resultados de una investigación sobre la presencia de glifosato en siete comunidades agrícolas del municipio de Hopelchén, Campeche, que es el principal productor de soya del estado. En el caso de la orina humana, se tomaron muestras de personas campesinas y pescadoras. Todas las pruebas revelaron la presencia de glifosato, pero la concentración de glifosato en los campesinos fue más del doble de la de los pescadores. Además, se encontraron trazas de esta sustancia en botellas de agua potable y en pozos del municipio. Los niveles excedieron los máximos permitidos internacionalmente.¹⁶⁰

En la comunidad de Muna, Yucatán, otro estado que se caracteriza por la siembra de soya, se han reportado daños en la salud reproductiva de las familias de los agricultores, tanto en lo que respecta al embarazo de las parejas de los agricultores expuestos a plaguicidas, especialmente organofosforados, como en lo que concierne a la calidad del semen. Esto se debe a cambios en los espermatozoides y su material genético durante el proceso de formación de esperma, su movilidad, concentración y daño al ADN espermático, así como efectos neurológicos y genotóxicos.^{161,162,163,164,165}

En otro estudio realizado en comunidades de Agua Caliente, cerca del lago de Chapala, el lago más grande de México y Ahuacapán, comunidad de la región de la costa sur del estado de Jalisco; ante las alertas sobre padecimientos renales, se analizó la orina de niñas, niños y adolescentes, encontrando residuos de glifosato en el 70% de las muestras. Al investigar más sobre las vías de exposición, encontraron que las aguas de la laguna cercana a las comunidades, donde en muchas ocasiones se lava la ropa de los infantes, contienen trazas de glifosato, por lo que los niños están expuestos constantemente al herbicida.¹⁶⁶



En esa misma zona, se realizó un estudio donde se determinó que el glifosato se encuentra en la orina de niñas y niños de todas las edades que residen en la comunidad rural en el Lago de Chapala en Jalisco, independientemente, de si tuvieron contacto directo con esta sustancia o no. Se identificó que los niveles de glifosato en la orina son más altos en mayo, que es la temporada de preparación del suelo utilizando pesticidas, y el glifosato se utiliza ampliamente para eliminar las malezas. En esta zona los niños y las mujeres tienen un papel particular en este tipo de actividades.¹⁶⁷

Además, se condujo otro estudio en la zona respecto a la alta prevalencia de enfermedad renal crónica que aparece desde etapas tempranas, en la que se determinó que este padecimiento está asociado a determinantes sociales y ambientales, que incluyen la exposición a plaguicidas.¹⁶⁸ El mismo grupo de investigación realizó otro trabajo en la zona, identificada como una región endémica de enfermedad renal crónica y desnutrición, con el propósito de medir los niveles de glifosato en la orina de niños y niñas de una comunidad rural, el estudio incluyó a infantes de entre 6 y 16 años. De manera alarmante, todas las muestras dieron positivo en niveles de glifosato, estando presente incluso en individuos que no estuvieron en contacto directo con él.¹⁶⁹

China

Un estudio reciente, el primero en su tipo en China, concluyó que hay una alta prevalencia de presencia de glifosato en la orina de niños (92.05% de las muestras) que viven cerca de las regiones de mayor producción de vegetales de ese país. Además, se halló una correlación positiva entre la exposición continua al glifosato y la presencia de biomarcadores de daño renal.¹⁷⁰

Países de la Unión Europea

España y Portugal son los únicos países de la UE donde se permite la siembra de OGM. Particularmente, España es uno de los Estados miembro que más agroquímicos usa, no sólo en las zonas agrícolas, sino también en las ciudades y pueblos, particularmente, se ha reportado que su legislación es muy flexible en cuanto al uso de glifosato. Es por ello que, en el 2013, se realizó un estudio en el que se reportó la presencia de glifosato en el 40% de las muestras de orina del Estado español.¹⁷¹



En el caso de Portugal, se llevó a cabo un estudio con el objeto de determinar glifosato en la orina de infantes portugueses (de 2 a 13 años) e identificar posibles determinantes de la exposición. Se detectó glifosato en el 95.1% de las muestras, las concentraciones de glifosato fueron mayores en la orina de niños de 7 a 9 años que vivían cerca de áreas agrícolas, con un mayor porcentaje de consumo de alimentos de producción casera y cuyos padres aplicaban herbicidas en el patio trasero.¹⁷²

Francia es el principal usuario de plaguicidas en Europa, por ello, un equipo científico se propuso determinar los niveles de glifosato en la población general francesa y buscar una asociación con las estaciones, las características biológicas, el estilo de vida, los hábitos alimentarios y la exposición ocupacional. Sus resultados respaldan que existe una contaminación general en la población francesa, con glifosato cuantificable en el 99,8% de las muestras de orina; los niveles más altos se encontraron en hombres y niños. Se expuso que el contacto ocurre a través de la ingesta de alimentos y agua, ya que los niveles más bajos de glifosato están asociados con la ingesta dominante de alimentos orgánicos y agua filtrada. También, se confirmó que hay una mayor exposición ocupacional en personas agricultoras que trabajan en entornos vitivinícolas.¹⁷³

En un estudio realizado con niños y adolescentes que viven en áreas rurales con agricultura intensiva, en la parte noreste de Eslovenia, se analizó la presencia de glifosato y AMPA. El muestreo se llevó a cabo en dos períodos separados, en función del presunto uso estacional de plaguicidas. El primer periodo fue invierno (enero-marzo), cuando el uso de pesticidas no es común, y el segundo fue a finales de primavera-principios de verano (mayo-junio), en donde se tiene un uso más intensivo de pesticidas. Se detectaron glifosato y AMPA en 27% y 50% de las muestras de orina del primer período, respectivamente; y en 22% y 56% del segundo período. Las muestras de orina de los niños mostraron una tendencia de mayor exposición que no difirió significativamente entre ambos períodos de muestreo, sin embargo, la frecuencia de consumo extensivo de alimentos reveló una mayor exposición a glifosato y AMPA sólo entre las personas con un mayor consumo de nueces y arroz integral.¹⁷⁴

Reino Unido

En el 2022, en el Reino Unido, se investigó la exposición de 186 residuos comunes de insecticidas, herbicidas, fungicidas, donde se realizaron análisis de la orina. Se encontró glifosato en el 53% de las muestras de orina, sólo en 10 casos (8%) se registró la presencia de glifosato por debajo del límite de cuantificación. Los niveles



de residuos de glifosato, piretroides y otros organofosforados fueron comparables a los de estudios previos realizados con otras poblaciones europeas. En el estudio, los autores resaltan que el consumo de frutas y verduras tiene beneficios para la salud, pero, si éstos se cultivaron de manera convencional, puede conducir a una mayor ingesta de pesticidas. Además, señalan que las personas que consumen regularmente productos orgánicos presentan valores de índice de alimentación saludable más altos, aunque otras opciones de estilo de vida son factores contribuyentes.¹⁷⁵

Tailandia

Un estudio longitudinal, de 2017, midió las concentraciones de glifosato y paraquat en el suero materno y del cordón umbilical, en mujeres embarazadas que dieron a luz en tres provincias de Tailandia. Las concentraciones de glifosato en el suero de las mujeres embarazadas, al momento del parto, fueron significativamente mayores que las del suero del cordón umbilical. Las mujeres con niveles de glifosato mayor al límite de detección, en suero, tenían 11.9 veces más probabilidades de reportar trabajo como agricultoras, 3.7 veces más probabilidades de vivir cerca de áreas agrícolas y 5.9 veces más probabilidades de tener un familiar que trabajaba en la agricultura. Estos resultados confirman que las mujeres embarazadas que trabajan en la agricultura o viven en familias que trabajan en la agricultura tienen mayores exposiciones a los herbicidas estudiados.¹⁷⁶

Estos estudios adquieren gran relevancia a partir de la gran acumulación de investigaciones científicas que se han publicado sobre los riesgos y daños para la salud asociados al glifosato, los herbicidas hechos a base de esa sustancia y su metabolito de degradación, estos riesgos y daños serán presentados con detalle en una sección posterior. Para tener el conocimiento de los riesgos a la salud por la exposición al herbicida glifosato, sus formulaciones o su metabolito de degradación (AMPA), es necesaria la evaluación en la población general expuesta al herbicida, y se requieren datos sobre los niveles de glifosato y AMPA en orina y/o sangre, ya que estos son los principales biomarcadores de exposición, pero, actualmente estos datos son escasos.¹⁷⁷

Por ejemplo, la evaluación de la presencia de glifosato en orina pueden proporcionar estimaciones fiables de la exposición humana interna real que pueden compararse con valores de referencia apropiados, como la ingesta diaria aceptable (IDA) o el nivel de exposición aceptable del operador (AOEL).¹⁷⁸



Al haber reportes que señalan que la población infantil presenta niveles más altos de glifosato, resulta indispensable realizar análisis dirigidos a estas poblaciones que son más susceptibles al efecto de la contaminación ambiental debido a sus mayores necesidades alimentarias, su desarrollo fisiológico y sus intensas actividades al aire libre.¹⁷⁹

En una revisión de alcance de la literatura científica internacional sobre la evidencia internacional de la presencia de pesticidas en muestras de orina de niños y niñas y sus efectos en la salud, se encontraron varios estudios de pesticidas en orina, en la población de diversas partes del globo, localizando diversas investigaciones que demuestran que los infantes están expuestos a residuos de plaguicidas por ingesta de alimentos y uso de estas sustancias tóxicas. Los efectos reportados indicaron daño neuronal, diabetes, obesidad y afectaciones en la función pulmonar. En la misma investigación se reporta que la evidencia internacional respalda que las dietas orgánicas en niños son intervenciones exitosas que disminuyen los niveles urinarios de pesticidas.¹⁸⁰

Exposición al glifosato, ocupacional y no ocupacional por contextos ambientales, en campos de cultivos GM

En diversos países, se ha detectado glifosato y/o AMPA en el suelo, en la atmósfera y en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, incluso en agua potable, en entornos urbanos, periurbanos y agrícolas, así como también en ambientes marinos. Se han reportado varias investigaciones de este tipo en los países con alta prevalencia de cultivos GM, así como afectaciones de personas expuestas ocupacionalmente al herbicida, y no ocupacionalmente por estar en ambientes contaminados. Unos cuantos ejemplos se presentan a continuación.

Estados Unidos

Se ha detectado glifosato y AMPA en suelo, agua superficial y subterránea, así como en la atmósfera; a partir de la Encuesta Geológica de EE. UU., que analizó la presencia de plaguicidas en el río Mississippi, se descubrió que un 77% de las muestras de agua de lluvia contenían glifosato.^{181,182} Asimismo, otro estudio reveló la volatilización extensa de aminas, que se incluyen con frecuencia en las formulaciones de glifosato, 2,4-D y dicamba para aumentar la solubilidad de los herbicidas y reducir la volatilización del propio herbicida. Las aminas podrían afectar la química atmosférica, la salud humana y el clima. La liberación de herbicidas con



sales de aminas es responsable de la liberación de 4,000 toneladas métricas de aminas por año en Estados Unidos.¹⁸³

Argentina y Brasil

Desde hace casi treinta años se ha cultivado soya transgénica tolerante a glifosato en Argentina, con lo cual las fumigaciones con este agrotóxico se volvieron algo cotidiano en aquel país. Dando como resultado un daño irreparable en la salud de los pobladores, donde se ha reportado un aumento de casos de cáncer, de malformaciones congénitas, de trastornos endocrinos y reproductivos.¹⁸⁴

En un estudio se examinaron ocho pequeñas comunidades rurales que estaban expuestas a pesticidas agrícolas. Los resultados revelaron que la incidencia de cáncer en estas áreas era significativamente mayor en comparación con la población en general, especialmente entre las personas de 15 a 44 años. Además, las tasas de mortalidad por cáncer también fueron más altas en estas localidades rurales en comparación con el promedio nacional. Estos resultados respaldan la necesidad de implementar estrategias de reducción de pesticidas, especialmente en áreas con poblaciones rurales dispersas.¹⁸⁵

En este país, el glifosato representa el 76% del paquete total de los productos químicos utilizados en la agricultura y hay varios ejemplos de investigaciones que abordan el problema de la acumulación de HBG en suelos y en cuerpos de agua, sus nocivos impactos y su relación con el cultivo de soya GM.^{186,187} Se ha detectado glifosato en suelo, áreas hortícolas periurbanas, además, especialistas argentinos de la Universidad Nacional de La Plata, tras analizar el agua de lluvia en zonas urbanas y periurbanas de la región pampeana, entre 2012 y 2014, detectaron que el glifosato estaba presente en el 90% de las tomas.^{188, 189}

También, hay estudios en Brasil, que abordan el problema del uso excesivo del herbicida en sistemas urbanos, sobre todo con fines de control de las llamadas “malezas” en caminos, parques y jardines.¹⁹⁰

México

Se ha señalado la presencia de glifosato en aguas costeras de la Península de Yucatán, especialmente en áreas cercanas a las zonas con una mayor concentración de actividades agrícolas.¹⁹¹ En 2017, se encontraron niveles significativos de glifosato en el agua subterránea, agua embotellada de Campeche, México; indicando el uso



excesivo del herbicida en áreas agrícolas donde, como se ha menciona, hay denuncias de la presencia de siembra ilegal de soya y maíz transgénicos.¹⁹² Un estudio piloto proporciona datos importantes sobre la exposición al glifosato en la región y plantea preocupaciones sobre posibles impactos en la salud humana y el medio ambiente.¹⁹³

En el norte del país, en el estado de Sinaloa, donde la agricultura es la actividad principal y hay cultivos de algodón transgénico (la mayoría de tipo HT), se detectaron concentraciones de glifosato en los principales ríos de la región, lo cual es un riesgo para la salud de la población humana y vida silvestre.¹⁹⁴

Ya se ha mencionado que grupos científicos han evidenciado la presencia de glifosato en fluidos humanos de agricultores, y de niños y adolescentes de comunidades agrícolas de la región del Bajío, estas detecciones se dan en contextos rurales, urbanos y periurbanos en los que existe exposición ocupacional y no ocupacional.¹⁹⁵

Colombia

En la Sierra Nevada de Santa Marta habitan los pueblos kogi, sanha, kakuama e ika, que padecen distintas problemáticas, entre ellas la violencia provocada por la plantación de cultivos ilícitos y las fumigaciones que, para esos cultivos, se hacen con glifosato. Esto ha ocasionado la intoxicación de algunas personas a la ingesta del glifosato al consumir los vegetales endémicos de la región, que comúnmente han venido recolectando estos pueblos como parte de su sistema alimenticio, contaminados con el herbicida.¹⁹⁶

La erradicación del cultivo ilícito de coca con glifosato fue suspendida por la Corte Constitucional a través de la Sentencia T-236-2017 para garantizar los derechos de las comunidades étnicas del departamento de Chocó; en especial, al ambiente sano y la salud, derivado de las afectaciones que las aspersiones con glifosato causaron a la integridad física, cultural, social y económica de dichas comunidades. En el caso se analizó el importante efecto en la relación vital de las comunidades étnicas con la tierra, las fuentes de agua y el entorno de sus territorios. En la decisión se menciona que el “principio de precaución exige que el Estado controle los riesgos contra la salud humana por medio de una regulación constitucionalmente razonable, cuando hay evidencia objetiva de dichos riesgos, aunque la evidencia no sea concluyente”.¹⁹⁷



2. Evidencia científica de los efectos sobre la salud humana

2.1 Los efectos en la salud humana por el consumo de los principales eventos de maíz transgénico

Aproximación cronológica de estudios científicos sobre los efectos negativos del consumo de maíz transgénico y su potencial impacto en la salud humana

En el año 2000, cuando los cultivos GM de maíz Bt y soya HT ya habían dado el salto exponencial de tendencia de adopción, con la siembra para uso comercial en EE. UU. (porcentaje de acres de cultivos plantados para cada cultivo)¹⁹⁸, no era posible encontrar en la literatura científica estudios realizados por empresas de biotecnología que mostraran la seguridad o ausencia de toxicidad de los transgénicos, accesible a los ojos y escrutinio de la comunidad científica internacional.¹⁹⁹

Tampoco se tenía información sobre los efectos a largo plazo, pero, según un grupo de expertos convocados por la OMS y la FAO “la evaluación de seguridad previa a la comercialización ya garantiza que el alimento (GM) es tan seguro como su homólogo convencional”.²⁰⁰ Desde entonces se reportó una falta de transparencia por parte de las autoridades regulatorias en EE. UU. respecto a las evaluaciones de riesgo y las pruebas científicas de inocuidad y seguridad de los OGM.²⁰¹

Desde aquel inicio del siglo XXI, había algunos estudios sobre los riesgos para los pacientes alérgicos y la posible alergenicidad de los nuevos alimentos GM.²⁰² Aparte, sólo era posible encontrar otros dos estudios:^{203,204,205}

- Uno efectuado en ratas, sobre la toxicidad de papas transgénicas, con el inserto del gen Cry1 BtK cepa HD1, que encontró el posible desarrollo de alteraciones estructurales en las células intestinales de los individuos. Aparecieron varias vellosidades con un número anormalmente grande de enterocitos; el cincuenta por ciento de estas células estaban hipertrofiadas y multinucleadas; el área media de enterocitos aumentó significativamente; en estas células se reconocieron varias formas de lisosomas secundarios o vacuolas autófagas; la lámina basal a lo largo de la base de los enterocitos resultó dañada en varios focos; aparecieron varias microvellosidades rotas asociadas con fragmentos citoplasmáticos de forma variable y algunos de estos fragmentos contenían retículo endoplasmático, así como laminillas anuladas en forma de anillo; además, las células de Paneth estaban muy



activadas y contenían una gran cantidad de gránulos secretores. Los autores sugirieron realizar pruebas exhaustivas de todos los OGM para evitar los riesgos antes de su comercialización.

- Otro que evaluó si las dietas estándar para pollos de engorde, preparadas con maíz Bt transgénico (Evento Bt176, que expresa tolerancia al herbicida glufosinato, resistencia a insectos y resistencia a antibióticos), tuvieron algún efecto adverso en los pollos de engorde, que, en este caso, no encontró diferencias significativas entre individuos alimentados con y sin OGM, sin embargo, en este estudio sólo se compararon medidas corporales y supervivencia, sin evaluar efectos fisiológicos o toxicológicos.

En el 2000, el grupo de expertos convocados por la FAO y la OMS acordaron que si un alimento GM contenía un gen procedente de una fuente con efectos alérgicos conocidos, se debía suponer que el producto genético era alérgico, a menos que se demostrara lo contrario.²⁰⁶ Desde 1999, se había demostrado que la exposición a la aplicación de *Bacillus thuringiensis* desencadena respuestas del sistema inmune, asociadas a alergias, en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas Bt, tanto a esporas como a extractos vegetativos de la bacteria, concluyendo que la exposición a aerosoles Bt puede provocar sensibilidad alérgica de la piel y la inducción de anticuerpos (inmunoglobulinas), o ambos.²⁰⁷

Las proteínas Cry actúan como agujas microscópicas que perforan las membranas celulares del intestino del insecto. Esto provoca la ruptura de las células intestinales y la liberación de su contenido, incluyendo bacterias y toxinas que causan sepsis. La perforación de las membranas celulares y la consiguiente sepsis llevan a la muerte del insecto plaga. Esto ocurre generalmente dentro de unos pocos días después de la ingestión de la proteína Cry.²⁰⁸ Los transgenes Bt, que expresan las protoxinas de acción insecticida pueden ser tóxicos o alérgicos para humanos.²⁰⁹

Además de alergenidad e inmunogenicidad, otros efectos de *B. thuringiensis* se han descrito en años posteriores, entre los que se encuentran la inducción de estrés oxidativo en el hígado de ratones;²¹⁰ hematotoxicidad selectiva y una reducción significativa en la proliferación de células de la médula ósea que demostró efectos citotóxicos;²¹¹ además, CryIAc es capaz de inducir anafilaxia.²¹²

En 2001, saltó a la luz pública el famoso caso del maíz GM conocido comercialmente como StarLink, un evento que expresaba rasgos HT y Bt que había sido aprobado en EE. UU. para consumo animal, pero, fue también comercializado en ese país, además de México y otros países de América Latina para consumo humano.²¹³ El



evento expresa la proteína insecticida Cry9c; a pesar de haberse reconocido como una proteína alergénica, el uso de StarLink fue permitido en alimentos para animales y, posteriormente, fue detectado como ingrediente en alimentos para consumo humano.²¹⁴

Nunca se demostró que hubiese seguridad en el consumo de ese maíz transgénico pues las proteínas Cry que expresaba permanecían en el intestino. Su licencia fue definitivamente retirada sólo a partir de la presión ejercida por la sociedad, mediante una campaña emprendida por organizaciones. Varias personas reportaron efectos adversos por el consumo de alimentos que contenían este maíz, los casos fueron revisados por los Centros para el Control de Enfermedades de EE. UU. que concluyeron que era posible que las afectaciones estuvieran relacionadas con StarLink.²¹⁵ La historia de StarLink es paradigmática porque permite ilustrar diversas fallas en los sistemas regulatorios que han sido permisivos con el uso de esta biotecnología de ADN recombinante. Las experiencias con ese maíz GM han sugerido que se fortalezcan los enfoques regulatorios.²¹⁶

Los maíces Bt han seguido comercializándose, a pesar de que la evidencia científica ha seguido señalando efectos adversos asociados a las proteínas Cry. Por ejemplo, en 1999, se demostró que la protoxina Cry1Ac recombinante de *Bacillus thuringiensis* es altamente inmunogénica, lo que ha seguido afirmándose por diversos estudios de años posteriores.^{217,218,219,220}

En 2007, la tendencia de adopción de cultivos GM en EE. UU. siguió en aumento, para ese entonces los transgénicos de maíz HT y Bt ya habían alcanzado el 50% del área destinada a ese cultivo en territorio estadounidense, mientras que la de soya HT estaba ya cerca del 90% y los algodones HT y Bt rondaban el 60%.²²¹ En ese tiempo, los órganos reguladores internacionales afirmaban que todos los productos GM que se encontraban en el mercado habían pasado por evaluaciones de riesgo realizadas por las autoridades nacionales, sin que se indicara riesgo alguno para la salud humana.²²²

No obstante, en una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre la toxicidad potencial de plantas GM, realizada en 2007, se halló un número “sorprendentemente limitado” de estudios, además de que casi ninguno de estos había sido publicado por la industria biotecnológica, lo que serviría para el conocimiento y revisión de la comunidad científica. El objetivo de la investigación fue revisar críticamente la literatura científica publicada sobre los posibles efectos tóxicos de las plantas transgénicas y los riesgos para la salud humana. Lo que se



observó fue escasez en datos experimentales; estudios de corta duración; principalmente, estudios nutricionales con información toxicológica muy limitada, nada que garantizara la seguridad, a largo plazo, del consumo de alimentos GM.²²³

Entre todas las publicaciones estudiadas, se encontraron tres artículos de revisión (los únicos que había, uno de 2001 y dos de 2003) que concluían que: 1) la evaluación de la concordancia de la composición química de los cultivos transgénicos y convencionales (“equivalencia sustancial”) no era suficiente; 2) es necesario realizar estudios subcrónicos *in vivo*; debido a la insipiencia de la ingeniería genética de cultivos; 3) no había una comprensión completa de la fisiología, la genética y el valor nutricional de los cultivos GM, desde entonces se hablaba del desconocimiento sobre sustancias tóxicas en los cultivos GM, que podrían no ser “sustancialmente equivalentes” en genoma, proteoma y metaboloma en comparación con los cultivos no GM. Ante la poca cantidad de estudios (sólo 10 en 2003) sobre los efectos en la salud de los alimentos y piensos transgénicos, serían necesarios muchos más esfuerzos e investigaciones científicas, antes de garantizar que su consumo, a largo plazo, era seguro; además, hablaron de la falta de transparencia al probar cada producto GM, antes de su introducción en el mercado.²²⁴

En esa misma revisión, particularmente, para el caso del maíz GM no fue posible localizar estudios que incluyeran análisis específicos de toxicología. Aunque, se reporta la existencia de un estudio elaborado por la industria, realizado en ratas alimentadas con el maíz transgénico NK603 que concluyó que las dietas a base de maíz transgénico HT eran tan seguras y nutritivas como las hechas a base de los maíces híbridos disponibles; esto, a pesar de que la investigación se condujo por un tiempo relativamente corto de administración del maíz transgénico²²⁵ y que el nivel total de proteína de maíz en la dieta suministrada llegaba sólo al 3,3%, y la presencia de proteína transgénica (varias veces menor), podría no ser suficiente para inducir ninguna reacción adversa.²²⁶

En este punto es indispensable decir que no es posible conducir estudios experimentales en humanos para demostrar el efecto de la alimentación a base de OGM. Los efectos potencialmente negativos para la salud humana parten de los estudios realizados con modelos animales experimentales, estos son una fuente científica indispensable para el diseño de medidas y regulaciones de bioseguridad de OGM. Estos son los estudios que se abordan en la presente sección. Otra fuente relevante son los estudios realizados con base en modelos estadísticos, ello se presenta en otra sección de este mismo documento.



En 2008, se evaluó la respuesta inmune intestinal y periférica a partir de dietas con al maíz GM Bt (MON810), en ratones en condiciones vulnerables (recién destetados o viejos). El maíz MON810 indujo respuesta inmune intestinal y periférica (alteraciones en el porcentaje de células T y B y de las subpoblaciones CD4+, CD8+, $\gamma\delta$ T y R T, en el intestino y sitios de la zona periférica; además de aumento de IL-6, IL-13, IL-12p70 y MIP-1 en suero).²²⁷

Para 2009, continúa la tendencia ascendente de la adopción de cultivos GM en los países que aprueban esta tecnología, mientras que investigaciones científicas mostraban que: las evaluaciones de riesgos de los cultivos GM, para la nutrición y la salud humana, no eran sistemáticas y no tenían metodologías detalladas, ni directrices exhaustivas para probar su seguridad; en los análisis había diferentes períodos de alimentación, modelos animales y parámetros; se recomendaba que las agencias reguladoras adoptasen los desarrollos y recomendaciones que habían sido hechos por comités asesores y organizaciones científicas, presentados en publicaciones científicas.²²⁸

Al mismo tiempo, se informaba sobre efectos microscópicos y moleculares adversos de algunos alimentos GM en diferentes órganos o tejidos, sobre todo en eventos transgénicos de maíces resistentes a insectos y de soya tolerante a herbicidas, no se puede descartar que el alimento dado a los animales experimentales tuviese residuos de glifosato. Los descubrimientos más relevantes sobre los efectos del maíz GM se resumen a continuación:²²⁹

- Dietas con eventos de maíz transgénico Bt:^{230,231,232} Cambios dentro de la variabilidad de la población de referencia en ratas macho hubo un recuento de glóbulos blancos, un recuento de linfocitos, un número de basófilos absolutos ligeramente elevados y una disminución del cloruro; y, en ratas hembra, se observó un ligero aumento de la glucosa. Incidencia, estadísticamente significativa de mineralización de los túbulos renales (ratas hembra) y una incidencia alta de inflamación focal y cambios regenerativos tubulares en los riñones (ratas macho) en ratas alimentadas con maíz transgénico Bt. Bajo análisis estadísticos más específicos para hacer las correlaciones, se observaron variaciones en el crecimiento, ligeras pero significativas, relacionadas con la dosis; las mediciones químicas revelaron signos de toxicidad hepatorenal, los triglicéridos aumentaron, en las hembras, y las excreciones urinarias de fósforo y sodio disminuyeron, en los machos; esto significa que los dos principales órganos de desintoxicación (hígado y riñones) estaban alterados, todo esto con dietas a base de un nivel



muy bajo de proteína transgénica. En salmón, pequeños cambios en los niveles y actividades de las proteínas del estrés, cambios significativos en la cantidad de glóbulos blancos, asociados con una respuesta inmune.

Otro estudio conducido en ratas alimentadas por tres generaciones con maíz transgénico Bt, mostró diferentes niveles de degeneración granular mínima en hígado, aumentos en la capa parietal de la cápsula de Bowman y degeneraciones tubulares mínimas en riñón, alteraciones en las cantidades de creatinina, globulina y proteína total. Estos efectos histopatológicos y bioquímicos fueron señalados por los autores como cambios menores.²³³

Mientras que, en otra investigación sobre la evaluación reproductiva mediante crianza continua (*RACB*, en inglés), se detectó que el maíz GM con el evento apilado NK603 x MON810 afectó la reproducción de ratones, mostrando diferencias en el número de crías, tamaño, peso y que la variabilidad interindividual fue mayor en el grupo alimentado con el maíz GM. En cuanto al peso de los órganos, los riñones indicaron efectos dietéticos dirigidos y el estudio histológico electrónico de los núcleos celulares reveló diferencias en cuanto a los centros fibrilares, los componentes fibrilares densos y la densidad de los poros en los hepatocitos, pudiendo indicar efectos sobre los parámetros metabólicos; los análisis de las vías metabólicas indicaron que los grupos diferían con respecto a algunas vías importantes, incluida la vía de señalización de interleucina, la biosíntesis del colesterol y el metabolismo de las proteínas.²³⁴

Un análisis comparativo de datos de sangre y sistemas de órganos de ensayos con ratas alimentadas con los tres principales eventos de maíz GM comercializados (NK603, MON810, MON863), presentes en alimentos y piensos en el mundo, donde se clasificaron aproximadamente 60 parámetros bioquímicos diferentes por órgano y se midieron en suero y orina; reveló, en forma clara para los tres maíces GM, efectos que dependen del sexo y, a menudo, de la dosis. Primordialmente, los efectos se asociaron con el riñón y el hígado, aunque fueron diferentes entre los tres OGM, también, se observaron otros efectos dañinos en el corazón, las glándulas suprarrenales, el bazo y el sistema hematopoyético.²³⁵

En una nueva revisión de la literatura científica, realizada en 2011, se reportó un considerable aumento en las publicaciones disponibles sobre los potenciales efectos tóxicos y riesgos para la salud por consumo de OGM. En la revisión se reportan investigaciones que plantean serias preocupaciones sobre la falta de seguridad de los alimentos a base de OGM. Además, se señala a que hay grupos de



investigación que sugieren que los productos GM (principalmente maíz y soya) son tan “seguros y nutritivos” como las respectivas plantas convencionales no GM, especificando que la mayoría de esos estudios han sido realizados por empresas biotecnológicas o asociadas que comercializan las plantas transgénicas.²³⁶ Esto abre paso a una nueva controversia sobre la ciencia del riesgo de los OGM: el conflicto de interés y la participación de empresas de la industria biotecnológica en malas prácticas científicas y manipulación de información; temas en los que profundizaremos más adelante.

Posteriormente, un estudio comparativo de corto plazo, realizado en cerdos macho destetados, estuvo concentrado en investigar los efectos de la alimentación con maíz transgénico Bt (MON810). Entre los hallazgos de daños potenciales a la salud de los animales se reportó que los cerdos alimentados con maíz transgénico consumieron más alimento que los cerdos de control y fueron menos eficientes en convertir el alimento en ganancia; sus riñones tendían a ser más pesados que los de los cerdos de control; aunque la morfología de su intestino delgado no fue diferente, las vellosidades duodenales tendieron a tener menos células caliciformes,²³⁷ encargadas de segregar la mucosidad que protege y lubrica la superficie interna de ese órgano. En otra investigación del mismo grupo científico, se detectaron alteraciones en las respuestas inmunes en cerdos destetados alimentados también con maíz transgénico Bt (MON810), aunque los investigadores no tienen opiniones concluyentes sobre la relevancia biológica de estos hallazgos.²³⁸

Otra investigación conducida en cerdos, pero, en este caso en un estudio a largo plazo para evaluar comparativamente los efectos toxicológicos de una dieta a base de la combinación de soya y maíz (con eventos apilados) transgénicos; expuso que la dieta transgénica se asoció con diferencias gástricas y uterinas (las hembras alimentadas con transgénicos tenían úteros que eran un 25% más pesados), una tasa más alta de inflamación estomacal severa (con una tasa del 32%) en los machos y en las hembras. En este diseño los maíces GM utilizados fueron: un apilado triple de Bt y HT (NK603, MON863 y MON810), un apilado doble de Bt y HT (NK603 y MON810), más eventos simples HT; además se usó soya tolerante al herbicida glifosato (*Roundup Ready*).²³⁹

En 2012, se hizo un análisis sobre las variables de respuesta toxicológica en ratas que consumían dietas que contenían un maíz GM, resistente a insectos (Ajeeb YG, con el rasgo de MON810), en comparación con su par isogénico: las ratas alimentadas con maíz transgénico mostraron cambios histopatológicos; el hígado mostró vacuolación citoplasmática de hepatocitos centrolobulares y degeneración grasa



de hepatocitos; los riñones mostraron congestión de los vasos sanguíneos renales y dilatación quística de los túbulos renales; los testículos presentaron necrosis y descamación de las células germinales espermatogonias que recubren los túbulos seminíferos; el bazo mostró una ligera depleción linfocítica y congestión esplénica; y el intestino delgado mostró hiperplasia, se detectó hiperactivación de las glándulas secretoras mucosas y necrosis de las vellosidades intestinales.²⁴⁰ El grupo de investigación, por otra parte, midió algunos órganos viscerales (corazón, hígado, riñones, testículos y bazo) y la bioquímica sérica: la muestra de ratas alimentadas con maíz transgénico causó varios cambios por aumento o disminución del peso de los órganos y cuerpo o de los valores bioquímicos del suero.²⁴¹

Un trabajo en el que se estudiaron los efectos citotóxicos de eventos Bt y HT apilados, en los que había presencia de residuos de glifosato, se analizaron los efectos sinérgicos en células humanas. Se probó: que CryIAb (presente en diversos eventos transgénicos de maíz y otras plantas GM) provocó la muerte celular a partir de 100 partes por millón; que el HBG, de la marca *Roundup*®, desencadena necrosis y apoptosis, a dosis muy por debajo de las diluciones agrícolas; que CryIAb y CryIAC redujeron las activaciones de caspasas, inducidas por el HBG, lo que podría retrasar la activación de la apoptosis. Con estos resultados, se sostiene que las toxinas Bt modificadas no son inertes en células humanas y que pueden presentar efectos secundarios combinados con residuos de plaguicidas hechos a base de glifosato.²⁴²

En la década precedente al momento actual, más hallazgos sobre la relación del consumo de maíz GM con impactos negativos en los modelos animales experimentales fueron presentados. Como es el caso del desarrollo de estrés oxidativo, que muestra una comparación publicada en 2013, en la que se usó maíz transgénico Bt (MON810) y su par casi isogénico en la alimentación de salmón. Los peces bajo ingesta del maíz Bt utilizaron el alimento de manera menos eficiente (menor digestibilidad de proteínas y minerales y una menor eficiencia de retención de lípidos y energía); mayor peso intestinal; aumento de interferón-g y disminución de la expresión de ARNm del cotransportador de sodio-glucosa; incremento transitorio en la presencia de células T colaboradoras. Además, el maíz Bt pareció potenciar el estrés celular oxidativo en el intestino distal, en peces inmunosensibilizados.²⁴³ Posteriormente, a través de análisis de ciencias ómicas, sería descubierto que el maíz transgénico HT (NK603), genera compuestos (putrescina y cadaverina) que pueden desencadenar reacciones alérgicas y la formación de radicales libres, promoviendo también el estrés oxidativo, el cual está vinculado a diversas enfermedades crónicas como la diabetes y el cáncer; esto es un efecto no previsto de la transgénesis.²⁴⁴



Un estudio científico de 2013, cuyo objetivo fue investigar los efectos del maíz GM en las crías de ratas que se encontraban entre el inicio de la alimentación, con alimentos secos, y el intervalo de tiempo hasta que alcanzaron la pubertad; las ratas fueron alimentadas con maíz transgénico Bt y maíz convencional. Después del período experimental, la longitud, altura y peso del hígado, bazo, pulmón y riñones, en el grupo de ratas con maíz Bt fueron diferentes; los valores medios de los parámetros químicos y hematológicos del suero, que eran glucosa, urea, proteínas totales, colesterol, triglicéridos, lipoproteínas de muy baja densidad, lipoproteínas de baja densidad, calcio, fósforo, sodio, potasio y cloro, se observaron algunas diferencias obvias. Mostrando que el maíz transgénico puede tener un efecto sobre la longitud, altura y peso de los órganos, además de que puede provocar alteraciones en la química sérica y los valores hematológicos.²⁴⁵

Por otro lado, también se han estudiado las reacciones inmunes tras la inhalación de polen y restos de plantas de maíz transgénico Bt (MON810), demostrando una afluencia de linfocitos y eosinófilos en el lavado broncoalveolar y una mayor liberación de citoquinas en las células de los ganglios linfáticos mediastínicos. Además, se analizó la exposición a proteínas Cry1Ab purificadas, confirmando que ésta dio como resultado inmunogenicidad y alergenicidad inherentes.²⁴⁶

Además, se ha demostrado que el maíz transgénico Bt que produce Cry1Ab, presenta efectos tóxicos en cangrejos de río (*Orconectes rusticus*), común en cabeceras de arroyos cercanos a cultivos del OGM, la supervivencia fue un 31 % menor.²⁴⁷

En 2014, podemos encontrar la republicación, bajo una estricta revisión por pares y a los ojos de un amplio escrutinio científico y de la industria biotecnológica, de un contundente estudio, realizado con ratones, sobre los efectos a largo plazo para la salud a partir del consumo del maíz GM (NK603) tolerante al glifosato, mediante la ingesta de granos cultivados con y sin aplicación de *Roundup*®; además del efecto de la ingesta del *Roundup*® diluido en agua.²⁴⁸

Se trata del primer estudio sobre los efectos de estos maíces en el que todas las observaciones se informan cronológicamente. Incluye el seguimiento de hallazgos en 34 órganos observados y 56 parámetros analizados, en 11 puntos temporales para la mayoría de los órganos. Los resultados de los análisis bioquímicos confirmaron deficiencias renales crónicas severas para todos los tratamientos y ambos sexos, el 76% de los parámetros alterados estaban relacionados con el riñón; en los machos



tratados, las congestiones y necrosis hepáticas fueron de 2,5 a 5,5 veces mayores; las nefropatías marcadas y graves también fueron generalmente de 1,3 a 2,3 veces mayores; en las hembras, todos los grupos de tratamiento mostraron un aumento de dos a tres veces en la mortalidad y las muertes fueron más tempranas, mismas que también fueron evidentes en tres grupos de machos alimentados con maíz transgénico; todos los resultados dependieron del sexo y los perfiles patológicos fueron comparables.²⁴⁹

Se aclara que ese mismo estudio no fue diseñado, en sí, como un estudio de carcinogenicidad, sin embargo, con claridad se mostró que las hembras desarrollaron tumores mamarios grandes, con mayor frecuencia y antes que los controles; mientras que los machos presentaron hasta cuatro veces más tumores palpables grandes, comenzando 600 días antes que el grupo de control, en el que sólo se observó un tumor. La pituitaria fue el segundo órgano más discapacitado, el equilibrio hormonal sexual fue modificado por el consumo de maíz transgénico y tratamientos *Roundup*®. Tales resultados pueden explicarse no sólo por los efectos disruptores endocrinos no lineales del *Roundup*®, sino también por la sobreexpresión del transgén EPSPS u otros efectos mutacionales en el maíz transgénico y sus consecuencias metabólicas.²⁵⁰

En su primera versión, de 2012, el *paper* tuvo un impacto mediático muy alto y, al mismo tiempo, controvertido, ante lo cual los autores publicaron en 2013 respuestas puntuales a sus detractores,²⁵¹ en la misma revista científica de aquel original de 2012. En 2017, a partir de una orden judicial que obligó a la empresa Monsanto, propietaria de la patente y comercializadora del NK603 y de la fórmula del HBG *Roundup*®, a revelar sus comunicaciones internas, se dio a conocer que esa empresa había orquestado una campaña para desacreditar el estudio de 2012 y sus autores, en especial, en contra de Gilles-Eric Seralini.^{252, 253, 254} En secciones posteriores se amplía el tema, presentando más aspectos de la manipulación de información y malas prácticas científicas de la empresa en cuestión, a partir de estos mismos documentos que fueron nombrados "*Monsanto papers*".

En 2015, continúan los estudios sobre impactos biológicos de dietas a base de OGM, nuevamente en ratones, se analizó el impacto de una dieta a base de OGM (maíz y soya transgénicos) en comparación con una dieta sin OGM. Con una variedad de parámetros combinados que incluyen bioquímicos, histopatológicos y citogenéticos para evaluar el impacto en la salud animal; los resultados de todos los parámetros evaluados fueron consistentes y confirman que la dieta transgénica administrada tiene impactos histopatológicos e histoquímicos nocivos; se



observaron alteraciones bioquímicas en las concentraciones de alanina aminotransferasa, aspartato aminotransferasa, creatinina, ácido úrico y malondialdehído; mientras que la genotoxicidad se demostró en células germinales, como un mayor número de células con aberraciones cromosómicas y en células hepáticas, y mayores proporciones de fragmentación del ADN.²⁵⁵

En 2016, se publica un reporte de patología de amplio rango de tiempo, sobre efectos en vacas alemanas alimentadas con el primer maíz transgénico Bt176 (con expresión de tolerancia al herbicida glufosinato, resistencia a insectos y resistencia a antibióticos), primer maíz GM liberado comercialmente en Europa. Los datos provienen de una granja independiente y moderna, tratándose de la primera y más larga observación de mamíferos en granja realizada por un granjero experimentado y veterinarios certificados, durante un período específico. El maíz Bt176 GM, cultivado en granjas, se introdujo progresivamente en dietas controladas, con el paso de los años, coincidiendo con aumentos regulares en el contenido de OGM en la dieta (0-40%), la proporción de vacas sanas con alta producción de leche disminuyó del 70% (tasa normal) a sólo el 40%; en 2002 se presentó un pico de mortalidad, el maíz transgénico, posteriormente retirado del mercado, era en aquel momento el único cambio administrativo previsto en la dieta para el ganado, en ese pico falleció el 10% de las vacas, precedido de un síndrome de paresia de larga duración, sin hipocalcemia ni fiebre, pero con insuficiencia bioquímica renal y problemas mucosos o epiteliales, no se identificó ningún origen microbiano, aunque se investigó intensamente.²⁵⁶

Para 2016, también hay estudios que reafirman que los maíces transgénicos Bt pueden influir en las características del tracto gastrointestinal, alterando profundamente su función y estructura. En un estudio se evaluó el efecto de este tipo de maíz transgénico sobre la estructura histológica de la mucosa yeyunal de ratas albinas macho adultas, utilizando diferentes métodos histológicos, inmunohistoquímicos y morfométricos. Los especímenes del grupo alimentado con maíz transgénico mostraron diferentes formas de cambios estructurales; destrucción focal y pérdida de las vellosidades, dejando una superficie mucosa denudada alternando con áreas estratificadas, mientras que algunas criptas parecían totalmente alteradas; capilares sanguíneos congestionados e infiltración focal con células mononucleares; regulación positiva significativa de la expresión de PCNA, un aumento en el número de células caliciformes y un aumento significativo tanto en la altura de las vellosidades como en la profundidad de las criptas; marcados cambios ultraestructurales de algunos enterocitos con pérdida focal del borde de las microvellosidades; algunos enterocitos tenían citoplasma vacuolado,



mitocondrias inflamadas con crestas rotas y retículo endoplásmico rugoso (rER) dilatado; algunas células tenían núcleos oscuros irregulares con cromatina anormalmente agrupada.²⁵⁷

Otro estudio investigó los efectos en el estómago de una variedad de maíz transgénico de triple apilamiento que contenía modificaciones para la resistencia a insectos (a través de los genes *cry1Ab* y *cry3Bb1*) y tolerancia a glifosato (a través de un gen EPSPS). El estudio investigó la mucosa del estómago de ratas bajo alimentación a base de ese maíz GM, observando alteraciones en la aposición de las uniones estrechas, dilataciones de las glándulas con elongación epitelial y displasia en las ratas alimentadas con transgénicos.²⁵⁸

Otros efectos destacados de diferentes transgénicos Bt y HT, diferentes a maíz GM, reportados en la literatura científica, consisten en:

- Soya transgénica.^{259,260,261,262,263,264,265,266,267,268,269,270} Hallazgos patológicos menores en ratones hembra, como opacidad corneal, lesiones renales y pituitarias, e hidrómetro del útero distribuidos aleatoriamente entre todos los grupos; núcleos celulares de forma irregular y mayor número de poros nucleares; disminución de los factores de empalme nucleoplásmico y nucleolar, acumulación de gránulos de pericromatina; disminución del antígeno Sm, hnRNP, SC35 y ARN polimerasa II; proliferación celular en intestino distal con respecto al control de la dieta; disminución del índice somático del bazo y del intestino distal; aumento de LDH1 en riñón y corazón, inflamación moderada en el intestino distal y aumento de la actividad de la lisozima en riñón; agotamiento de los gránulos de zimógeno, desorganización de las células acinares. Disminución significativa en el crecimiento de cabritos de madres alimentadas con soya genéticamente modificada, hubo retraso en el crecimiento que comenzó inmediatamente después del parto y presumiblemente se debió al menor porcentaje de proteína en el calostro y en la leche a los 15 días de lactancia; además, hubo menor concentración de inmunoglobulina, altamente vinculada a una serie de factores de crecimiento y maduración.
- Berenjena transgénica Bt.²⁷¹ Muestra afecciones en la química y células sanguíneas de cabras (modifica el tiempo de protrombina y los parámetros bioquímicos como la bilirrubina total y la fosfatasa alcalina) y conejos (modificación del tiempo de protrombina, niveles más altos de bilirrubina en algunos casos, albúmina, lactosa deshidrogenasa y los marcadores hepáticos alanina y aspartato aminotransferasas; también se modificaron los niveles de



sodio, glucosa, recuento de plaquetas, concentración media de hemoglobina corpuscular y valor de hematocrito); en el caso de vacas, la producción y composición de la leche cambiaron entre un 10 y un 14%; en ratas hubo disminución del peso del hígado y disminución relativa de la relación entre el peso del hígado y el cuerpo; y, modificaciones en glucosa en pollos de engorde; cambios en los índices promedio de conversión alimenticia y eficiencia, en peces.

Finalmente, una reciente revisión sistemática (2022) de estudios conducidos en animales y humanos sobre el consumo de alimentos GM, en términos de efectos y eventos adversos, buscó estudios científicos in vivo, en animales y en humanos, publicados en el rango de tiempo del 1 de enero de 1983 al el 11 de julio de 2020. En la revisión se identificaron, de forma independiente, los estudios elegibles, evaluando la calidad del estudio (como incierta o con alto riesgo de sesgo), con parámetros que incluían el autor y la afiliación, el tipo de literatura, el tema del estudio, la financiación, el tamaño de las muestras, las características de la población objetivo, el tipo de la intervención/exposición, los resultados y medidas de resultado, así como los detalles de los efectos y eventos adversos. Se informaron enfermedades menores en un ensayo cruzado en humanos y, dentro de los 204 estudios en animales, el 59,46% reportaron 22 efectos adversos (de 37), de los que 16 fueron reportados como efectos adversos graves (mortalidad, tumores o cáncer, fertilidad baja significativa, disminución de la capacidad de aprendizaje y reacción y algunas anomalías orgánicas). Los efectos adversos estuvieron relacionados con alimentos transgénicos que involucraron 5 eventos transgénicos de maíz (NK603×MON810; NK603; MON863; MON810; y MON863×MON810×NK603) uno de soya (GTS40-3-2) y uno de arroz (Shanyou 63), todos los cuales habían estado bajo aprobación regulatoria en algunos países/regiones.²⁷²

Imprecisión de la transgénesis, a nivel genómico, se traducen en consecuencias inesperadas y no deseadas, a nivel epigenético: el mito de la equivalencia sustancial bajo la lupa de las ciencias ómicas

Con el avance de los desarrollos biotecnológicos para la obtención de semillas modificadas genéticamente y el interés de las empresas productoras por comercializarlas con las menores restricciones posibles, se impulsó, desde la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE),²⁷³ la adopción del principio de equivalencia sustancial como la base principal de la evaluación de riesgo de estas nuevas biotecnologías, dejando en segundo plano la necesidad de realizar los análisis pertinentes capaces de detectar cambios metabólicos que,



como vimos en secciones anteriores, por la propia naturaleza imprecisa de la técnica de transgénesis, son inherentes al proceso de transformación genética.²⁷⁴

El principio de equivalencia sustancial está pensado para ser tan flexible, maleable y abierto a la interpretación como se requiera. La FAO/OMS mencionan que la determinación de la equivalencia sustancial “no constituye una evaluación de seguridad en sí misma, sino que es un ejercicio dinámico, analítico, dentro del proceso de evaluación de seguridad de un nuevo alimento, tomando como referencia un alimento existente... no es una evaluación de la seguridad en sí misma; no caracteriza el peligro, sino que se utiliza para estructurar la evaluación de la seguridad de un alimento genéticamente modificado en relación con su homólogo convencional” y que “las características tomadas como referencia para realizar las comparaciones de equivalencia han de ser necesariamente flexibles y variarán con el tiempo, a medida que cambien las necesidades de la industria de elaboración de alimentos y los consumidores, así como la experiencia”.²⁷⁵

Otra de las críticas muy relevantes de la equivalencia sustancial es que se basa principalmente en la comparación de datos obtenidos mediante análisis químicos muy acotados, como el composicional y la detección de determinadas sustancias o de ciertas características fenotípicas y agronómicas, sin que haya claridad en la relevancia biológica de estos datos para poder prevenir daños potenciales.²⁷⁶ Estos análisis casi siempre resultan ser limitados y deficientes al realizar análisis dirigidos, enfocados únicamente a lo que se pretende detectar.

Como veremos a continuación, la modificación de rutas biosintéticas puede resultar en alteraciones en sitios no esperados, generando así efectos no intencionados o impredecibles, o bien, niveles alterados de metabolitos no detectados por el análisis dirigido en el que se basa el concepto de equivalencia sustancial. De esta forma, con un análisis de ese tipo no es posible detectar cambios en los patrones de expresión de genes propios del organismo (endógenos), como la regulación positiva o negativa o el silenciamiento de estos genes; ni para determinar si las construcciones insertadas o partes de ellas se mueven dentro del genoma receptor.

Los resultados de diversas investigaciones a lo largo de los más de 20 años que se han utilizado OGM o sus productos para consumo humano han documentado varios casos de modificaciones no esperadas que no son detectadas utilizando el principio de equivalencia sustancial. Por ejemplo, en frijoles GM mediante técnicas de ARN de interferencia para generar resistencia al virus del mosaico dorado, pese a que el análisis composicional de la variedad GM era “similar” al de la variedad



convencional, al realizar análisis de resonancia magnética nuclear (RMN) se encontraron diferencias significativas en el contenido de compuestos bioactivos como los flavonoides, producto de una modificación no esperada en las vías metabólicas de la planta.²⁷⁷

En otro estudio realizado en 2003, donde se analizaron por resonancia magnética nuclear líneas transgénicas de trigo que contienen copias adicionales de genes que sintetizan proteínas del gluten de alto peso molecular, se encontraron diferencias significativas en los niveles de algunos azúcares como maltosa y sacarosa, además de diferencias en el contenido de aminoácidos libres.²⁷⁸

Por otro lado, también se ha discutido que los cultivos GM pueden expresar nuevas proteínas no deseadas que son muy difíciles de cuantificar, aislar o purificar por los métodos aplicados en los ensayos de equivalencia sustancial. Estas proteínas llamadas “intratables o indetectables” suelen ser factores transcripcionales, proteínas de membrana que se encargan del transporte de nutrientes, proteínas de señalización o proteínas glicosiladas que pueden intervenir en reacciones alérgicas cuyos efectos no son estimados en los análisis comparativos.²⁷⁹

Respecto a la detección de alérgenos no conocidos en variedades GM, es muy conocido el caso del maíz StarLink, que expresa una proteína insecticida (Cry9c) que se reconoció como potencialmente alergénica, por lo que fue restringido su uso en alimentos para animales, y que posteriormente, fue detectado como ingrediente en alimentos para consumo humano.²⁸⁰

Con el avance de las técnicas ómicas ha sido posible estudiar en conjunto un gran número de moléculas implicadas en el funcionamiento de un organismo, p. e. genómica, proteómica, metabolómica, entre otras. Esto ha facilitado la realización de estudios comparativos más exhaustivos entre las variedades vegetales convencionales y sus contrapartes transgénicas. Por ejemplo, mediante ensayos de metabolómica basados en espectroscopía de masas, se demostró que los maíces convencionales tienen un contenido mayor de compuestos bioactivos y antioxidantes que los transgénicos.²⁸¹

Los análisis multiómicos han revelado diferencias significativas, no esperadas o deseadas, en los metabolitos producidos por cada tipo de variedad. Por ejemplo, se han encontrado disparidades significativas en el contenido y la quiralidad de aminoácidos como Arginina, Serina y Ácido Aspártico entre los maíces convencionales y los maíces Bt.²⁸² Además, se han identificado diferencias en la



producción de metabolitos como la L-carnitina y la L-prolina-betaina, que participan en rutas metabólicas no afectadas por la modificación genética.²⁸³

Un análisis proteómico comparativo del maíz GM (MON810, un transgénico de tipo Bt) con el híbrido no transgénico más cercanos, bajo diferentes condiciones agronómicas, reveló un total de 32 proteínas expresadas diferencialmente entre muestras transgénicas y no transgénicas, sus funciones moleculares se asocian principalmente al metabolismo energético y de carbohidratos, el procesamiento de información genética y la respuesta al estrés. Este estudio es relevante pues se llevó a cabo bajo condiciones de campo.²⁸⁴

En otro estudio se investigaron cambios no deseados en el maíz transgénico (MON810), comparando el proteoma del transgénico cultivado en el campo y su contraparte isogénica más cercana. Los datos mostraron que el metabolismo energético y la homeostasis redox estaban modulados de manera desigual en muestras de variedades de maíz transgénico GM versus no GM, además, se identificó una proteína alergénica en el maíz GM.²⁸⁵

Según otro estudio, el evento de maíz GM (NK603, tolerante al glifosato), produce cantidades significativamente mayores de cadaverina y putrescina, moléculas con actividad de radicales libres, lo que puede promover el estrés oxidativo, un factor vinculado a diversas enfermedades crónicas y degenerativas, como el cáncer y la diabetes. Se determinó si el maíz NK603 era equivalente en composición de nutrientes a su contraparte no GM. Se reveló que existen diferencias significativas en los perfiles de proteínas y metabolitos, incluyendo desequilibrios en el metabolismo energético y un aumento en el estrés oxidativo. Se observó un aumento en las poliaminas, que pueden tener efectos protectores o tóxicos según el contexto y están relacionadas con la muerte celular. En conjunto, estos hallazgos muestran que NK603 y su contraparte no son sustancialmente equivalentes.²⁸⁶

En una revisión sistemática y metaanálisis de 60 estudios científicos, se encontró que en todos ellos (excepto tres en los que no se hizo como tal un análisis comparativo) se mostraron diferencias estadísticas en los perfiles ómicos GM versus no GM. Las vías metabólicas afectadas con mayor frecuencia fueron las relacionadas con el metabolismo de los carbohidratos, la energía, los lípidos y los aminoácidos, así como con el procesamiento de la información genética y el procesamiento de la información ambiental.²⁸⁷



Sucede lo mismo con otros cultivos GM, como es el caso de la soya GM (MON87701 x MON89788, se trata de un tipo tolerante a glifosato mediante los insertos transgénicos cry1Ac y cp4epsps) que ha sido autorizada tomando en cuenta el principio de equivalencia sustancial, aún por legislaciones no laxas, como la europea. En un estudio, de 2023, se realizaron experimentos de prueba de campo con esa soya GM, se comparó su perfil proteómico frente a las variedades de referencia y contraparte no GM. La comparación reveló seis proteínas del OGM fuera de los intervalos de tolerancia del 99% de las variedades de referencia en la prueba de equivalencia, al evaluar los datos proteómicos y metabolómicos, a través de un enfoque de biología de sistemas, se encontraron 70 proteínas y el metabolito xilobiosa, expresado diferencialmente entre el OGM y su comparador no GM, junto con alteraciones en varias vías metabólicas relacionadas con la síntesis y el procesamiento de proteínas. Además, se hizo un análisis de alergenicidad que identificó 43 proteínas con potencial alergénico que se expresan diferencialmente en la variedad de soya GM. El estudio concluye, en forma contundente, que la soya GM no es sustancialmente equivalente a su contraparte no GM.²⁸⁸

Las autoras del mismo estudio señalan que, según las orientaciones respectivas de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), uno de los pilares de la evaluación de riesgos de OGM, en la Unión Europea, es el análisis comparativo de las características agronómicas y de composición, bajo el principio de equivalencia sustancial. Mientras que, el enfoque propuesto en esta innovadora investigación proporciona una mejor, más amplia y precisa aproximación a la comprensión de los efectos no deseados específicos de la modificación genética en el metabolismo de la planta, las redes biológicas involucradas y sus interacciones, lo que abre el camino para formular hipótesis de riesgo específicas.²⁸⁹

A partir del enorme potencial de las técnicas ómicas varios autores han propuesto que éstas sean incluidas en la evaluación de los cultivos GM, actuales²⁹⁰ y nuevos.²⁹¹ Resulta inquietante que ciertos investigadores que trabajan directamente como empleados de la industria biotecnológica han manifestado una opinión contraria.^{292,293}

Estudios sobre transferencia horizontal de transgenes de resistencia a antibióticos, una preocupación de salud pública

Los eventos de transferencia horizontal, muy comunes entre especies procariontes tienen consecuencias irreversibles en la dinámica evolutiva, no sólo en la especie receptora del material genético, sino en las demás de las especies con quien



interacciona esa especie. Insertar tan sólo una nueva función dentro de un gen, en un nuevo entorno, puede provocar una diversificación de la misma secuencia, pues, al no existir un compromiso funcional histórico, no hay una presión de selección de manera negativa y, por tanto, gran parte de las mutaciones que ahí ocurran más que ser eliminadas son mantenidas. Las consecuencias ecológico-evolutivas de las especies que son capaces de adquirir nuevo material genético implican cambios en las interacciones ecológicas como el aumento de la velocidad de diversificación y un aumento en las oportunidades de explotar ciertos recursos, o el aumento de las condiciones bióticas o abióticas por la exploración de nuevos nichos ecológicos.

Dos casos pueden reforzar los efectos y sobre todo las consecuencias de adquirir una nueva función:

- *Vibrio cholerae* es una bacteria Gram negativa de vida libre que habita en ambientes acuáticos, sin embargo, la adquisición de dos islas de patogénesis provoca que esta nueva información transforme a la bacteria en un organismo patógeno sumamente virulento, específicamente, para la especie humana.²⁹⁴
- *Yersinia pestis* es una bacteria Gram negativa que ha causado dos grandes pandemias a lo largo de la historia de la humanidad, la Epidemia justiniana en el siglo VI al VIII y la peste negra en los siglos XIV al XIX. La mayoría de los sistemas de patogénesis han sido adquiridos de otras bacterias y virus, incluyendo adhesinas, sistemas de secreción y toxinas contra insectos. *Y. pestis* es un patógeno de roedores y usualmente puede ser transmitido a humanos vía subcutánea a través de la mordedura de la pulga que parasitan a ambas especies. Se propone que *Y. tuberculosis* sufrió varios eventos de transferencia horizontal hace unos 15,000 a 20,000 años, estos eventos ocasionaron una especiación, al obtener genes de toxinas de un plásmido proveniente de *Salmonella* entérica, un activador de plasminógeno y toxinas contra insectos.²⁹⁵

Para el caso específico de la transgénesis, uno de los peligros asociados con la producción de modificaciones genéticas, advertido por la comunidad científica desde hace décadas, es la probable propagación de fragmentos de ADN de un OGM, a las células receptoras de otro organismo de una especie no relacionada, a través de la transferencia horizontal de genes.^{296,297}

Las construcciones genéticas introducidas en las células vegetales son, además de genes que codifican para resistencia a insectos o tolerancia a herbicidas, genes



marcadores de resistencia a antibióticos (GMRA). Los GMRA en plantas transgénicas destinados a la producción de alimentos han sido cuestionados por razones de seguridad, ya que podrían transferirse y propagarse hacia las bacterias del tracto gastrointestinal (TGI).^{298,299}

Los GMRA como la kanamicina, neomicina, ampicilina, estreptomycinina o espectinomycinina, se han utilizado para la construcción de algunas plantas de ADN recombinante que ha significado una preocupación justificada por el potencial transferencia horizontal de genes que puede ocurrir hacia las bacterias intestinales de importancia clínica, debido a que la resistencia a los antibióticos adquirida puede comprometer el valor terapéutico de los antibióticos relevantes utilizados para el tratamiento de microorganismos patógenos.³⁰⁰

En un análisis de 83 estudios, dedicados a la detección de ADN “extranjero” en animales, se encontró que en 35 de los estudios llevados a cabo en especies ganaderas (bovinos, pollos, cerdos, peces, ovejas, conejos y cabras) se detectó ADN relacionado con cultivos genéticamente modificados.³⁰¹

En 2014 se publicó un estudio sobre la incorporación de transgenes en tejidos de diferentes órganos y la sangre de ratas alimentadas durante tres meses con dietas que contenían componentes GM con segmentos de ADN del promotor del virus del mosaico de la coliflor -35S, presente en una gran cantidad de cultivos GM. El análisis reveló que: 1) los fragmentos del promotor CaMV-35S se incorporaron a la sangre, el hígado y los tejidos cerebrales de ratas experimentales; 2) la media total de transferencia de secuencias diana modificadas genéticamente aumentó significativamente al aumentar la duración del periodo de alimentación; y 3) la afinidad de diferentes fragmentos transgénicos de la dieta GM ingerida, para incorporarse a los diferentes tejidos de ratas, varió de una secuencia diana a otra.³⁰²

Más recientemente, este equipo de investigadores estudió la ocurrencia de la transferencia de los genes marcadores de resistencia a antibióticos (GMRA) *nptII* y *aadA*, provenientes de una dieta basada en alimentos con OGM, en las células sanguíneas y el microbioma entérico de ratas Wistar. Sus resultados mostraron de manera inequívoca la ocurrencia de la transferencia de ADN de los genes *nptII* y *aadA* de la dieta GM a la sangre de las ratas y a las células bacterianas del microbioma entérico. Dichos resultados, a decir de los autores, resaltan la importancia de explorar los posibles efectos de la transferencia horizontal de genes de resistencia a antibióticos, desde los productos GM a los consumidores, y llaman



la atención hacia la importancia de una mayor y mejor comprensión de los factores que influyen en este fenómeno.³⁰³

A nivel internacional, existe el registro de 161 eventos transgénicos aprobados, con el rasgo de resistencia a antibióticos, varios de estos son plantas comestibles entre las que destacan el maíz (34 eventos), la papa (27 eventos) y la canola (19 eventos); en menor proporción, encontramos el tomate, la alfalfa, la caña, la manzana, la achicoria, la papaya, el arroz, la soya, el melón, el cártamo, la calabaza, la ciruela y la berenjena; sin dejar de mencionar al algodón (37 eventos) que, aunque no es su uso principal, puede llegar a usarse para producir aceites comestibles.³⁰⁴

Además, contrario lo que afirmaba el paradigma estándar que establecía que, durante la digestión, las proteínas y el ADN se degradan en pequeños constituyentes, desde 2013, hay evidencia científica robusta (más de 1000 muestras humanas de cuatro estudios independientes) que ha demostrado que los fragmentos de ADN, suficientemente grandes como para portar genes, provenientes de alimentos, pueden evitar la degradación e ingresar al sistema circulatorio humano. Existen estudios en animales (truchas, cabras, cerdos y ratones) alimentados con dietas a base de OGM, que respaldan la idea de que fragmentos de ADN recombinante pueden pasar al torrente sanguíneo e incluso llegar a diversos tejidos; estos fragmentos se han encontrado en el tracto digestivo y leucocitos.³⁰⁵

Evidencia estadística robusta sobre la no inocuidad de los alimentos hechos a base de OGM

A nivel global, con un metaanálisis se estudió la relación entre el herbicida glifosato y el desarrollo de cáncer Linfoma No-Hodgkin, se ha observado un aumento preocupante en la incidencia de esta enfermedad en las últimas décadas.³⁰⁶ Un análisis combinado de estudios de casos y controles reveló un aumento estadísticamente significativo en el riesgo de Linfoma No-Hodgkin (LNH) asociado a la exposición al glifosato.³⁰⁷ Asimismo, otro estudio extenso y consolidado también identificó una asociación entre el glifosato y el linfoma folicular.³⁰⁸

A partir de los datos estadísticos robustos de fuentes oficiales de EE. UU., como la, antes referida Encuesta Nacional de Examen de Salud y Nutrición (NHANES), del Centro Nacional de Estadísticas de Salud, se han realizado con modelos analíticos epidemiológicos donde se ha correlacionado el aumento de distintas enfermedades con el incremento en la superficie sembrada con OGM y en el uso



del glifosato, en aquel país. Con ello, se ha mostrado que, de haber causalidad, el glifosato y los OGM están relacionados con el aumento de más de 20 enfermedades (oncológicas, endócrinas, metabólicas y neurodegenerativas, así como trastornos sistémicos) crónicas en los EE. UU.^{309,310}

El desarrollo de esos padecimientos es complejo y multifactorial, pero la vasta evidencia científica aporta elementos que sistemáticamente apuntan a todos los perniciosos efectos del glifosato sobre la salud y cómo estos, a su vez, están íntimamente relacionados con el desarrollo de un gran número de enfermedades y padecimientos.

Estas correlaciones plantean preguntas sobre la seguridad del glifosato y los cultivos GM, lo que sugiere la necesidad de investigaciones adicionales para comprender mejor su impacto en la salud humana.³¹¹

2.2 Otras consideraciones para la salud humana a partir del consumo de maíz transgénico

Estudios de las ventajas de los maíces mexicanos sobre los maíces transgénicos, para consumo humano en el contexto del país

Autosuficiencia en maíces, de alta calidad, para consumo humano en México

México, es el centro de origen, de domesticación y diversificación del maíz. El proceso de domesticación inició hace por lo menos unos nueve mil años.^{312,313} El maíz ocupa un lugar central en la cultura y la historia mexicanas; es un componente esencial de la dieta tradicional y desempeña un papel crucial en la seguridad alimentaria.³¹⁴

El cultivo de maíces mexicanos, incluyendo a los maíces nativos, implica prácticas agrícolas que priorizan la calidad nutricional y su diversidad de usos gastronómicos. Su valor radica en su potencial para cumplir con las preferencias de los consumidores que buscan productos con características organolépticas adecuadas. Actualmente, los agricultores aplican prácticas de manejo integrado o agroecológico de plagas y fertilización para promover un crecimiento saludable de las plantas y asegurar su rendimiento óptimo, con miras a proveer no sólo alimento humano y animal saludable, sino también materia prima para la industria.³¹⁵



El cultivo de maíz es ampliamente estudiado en investigaciones genéticas debido a su naturaleza monoica.³¹⁶ La importancia del maíz en la cultura del pueblo mexicano, así como su floración monoica, han propiciado la creación de híbridos de alta calidad, por parte de instituciones públicas y universidades en el país desde hace más de 70 años.³¹⁷

La producción de variedades híbridas de maíz en México sigue un proceso agrícola que involucra desde la selección de las semillas con características de interés, hasta su cultivo en campos utilizando métodos agrícolas convencionales.³¹⁸ Con estos métodos de fitomejoramiento, se han obtenido híbridos de maíz mexicanos con los que se ha logrado aumentar los rendimientos de producción y mejorar características del cultivo como: la resistencia a enfermedades y plagas, la resistencia a condiciones climáticas, como la sequía, y la eficiencia en el uso de recursos, como agua y fertilizantes, con granos de alta calidad proteínica.^{319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327}



De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), de la Secretaría de Agricultura de Desarrollo Rural (Sader), en el ciclo 2022/2023, las estimaciones señalan una producción de cerca de 26.7 millones de toneladas (Mt) de grano, de las cuales 23.54 Mt fueron maíz blanco (incluye maíces blancos, azules y de colores), con un rendimiento promedio de 3.7 toneladas por hectárea (t/Ha) y 3.183 Mt de grano amarillo, con un rendimiento promedio de 6.3 t/Ha. En ese ciclo, el consumo estimado humano de maíz blanco llegó a 18.626 Mt, destinado a nixtamal (10 Mt) y producción de harina (3.554 Mt), el resto (5.03 Mt) destinado al autoconsumo (usos alimentarios de los productores y semillas para siembra al siguiente).^{1, 328} Estos datos pueden variar según la fuente y el momento en el que son consultados.

El consumo humano de maíz amarillo llegó a 2.988 Mt: 1.448 Mt para industrias varias (agrupa lo registrado como consumo humano de maíz amarillo en SIAP, destinado a botanas, cereales e industria de la fructuosa), 1 Mt para la industria del almidón y 0.54 Mt para autoconsumo (el maíz amarillo llamado industrializado incluye lo destinado a industrias varias y a la industria del almidón). Mientras que, en consumo animal, en ese mismo ciclo, la estimación apunta a que éste equivaldrá a 15.49 Mt de maíz amarillo y 4.334 de maíz blanco. Con las mismas estimaciones, se calcula que México importó, en ese periodo, 16.526 Mt de maíz amarillo y 0.777 Mt de maíz blanco. Además, se reportan 17.2 millones de toneladas para forraje en verde, producidas en 2022.^{329,330}

Estos datos nos permiten afirmar que hay:

- Un excedente en la producción de maíz blanco, equivalente a 4.913 Mt
- Un déficit de maíz amarillo para consumo animal, equivalente a 15.49 Mt

En México, se dispone alternativas para cultivar maíz de alta calidad (no transgénico, sin agrotóxicos como el glifosato). Por ejemplo, en junio de 2021 un productor de maíz, en el estado de Sinaloa, certificó ante notario público y demostró ante una comisión de verificación, conformada por productores de diferentes estados de México, la producción de maíz blanco sin el uso de agroquímicos ni glifosato, durante el ciclo otoño/invierno 2020-2021.³³¹

Dicha producción se hizo bajo el modelo Agricultura Campesina de Conocimientos Integrados y Manejo Integral de Cultivos Inducidos (ACCI-MICI), que combina el conocimiento científico y el saber tradicional de los campesinos y productores. El

¹ Cálculos a partir de SIAP, datos del Consejo Regulador de la Cadena de Maíz (2007-2012) y de la Cámara Nacional del Maíz Industrializado.





modelo incluye la medición constante de las condiciones del suelo, el control biológico de plagas y el uso de prácticas agroecológicas como el aprovechamiento de rastrojo y materia orgánica, microorganismos, lombricompostas y otros bioinsumos. Los resultados demostraron un rendimiento de 14.2 t/Ha, con un costo 17.2% más bajo, en comparación con un predio de prueba cultivado con agroquímicos, el cual tuvo un rendimiento de 14.7 t/Ha.³³²

Ventajas adaptativas de los maíces nativos ante distintas condiciones ambientales y climáticas

La gran riqueza genética del maíz en el mundo actual se debe al legado milenario, a partir de la sapiencia, conocimientos, tecnologías y cultura de los pueblos originarios, así como a que las y los campesinos siguen sembrando y seleccionando año con año cientos de poblaciones locales nativas³³³ por razones culturales, sociales, técnicas y económicas.

Las variedades locales se agrupan en 64 razas (este número varía dependiendo del autor),³³⁴ que representan un reservorio genético fundamental, libre de formas de propiedad privada, para hacer frente a condiciones ambientales y ecológicas adversas (p. e. características particulares de los suelos, escenarios de cambio climático, plagas) y continuar con el mejoramiento genético autóctono del maíz. Todo el territorio mexicano puede considerarse como centro de diversidad genética.³³⁵ Los teocintes (*Zea spp.*) son los parientes silvestres más cercanos al maíz y representan una fuente de variabilidad genética importante para el género, dado que mantienen flujo génico.^{336,337}

El maíz es un pilar del legado biológico y cultural del pueblo de México, es el eje de nuestro sistema alimentario³³⁸ y gran parte de las prácticas sociales, económicas, culturales y religiosas en nuestro país están ligadas a este cultivo.³³⁹ Además, el proceso de diversificación del maíz sigue vivo y para que esto se mantenga es necesaria la conservación del germoplasma, así como de los ecosistemas circundantes a los terrenos de cultivo, con sus interacciones bióticas y abióticas, los conocimientos entorno a ellos y la gente que les da sustento.³⁴⁰

El proceso de compartir material genético de maíces nativos, la evaluación de los resultados de las cruces y la selección de los rasgos deseados han desempeñado un papel fundamental en la domesticación del maíz en México, generando una impresionante diversidad genética.³⁴¹ Esta diversidad tiene un inmenso valor como fuente de variación genética para la creación de nuevas variedades adaptadas a



diversas condiciones y con diferentes características de utilidad.³⁴² El maíz nativo cultivado en la agricultura de subsistencia sigue siendo una actividad importante.³⁴³

La especialización de las semillas nativas dentro de la agricultura campesina e indígena se centra en las pequeñas diferencias climáticas, edafológicas o ubicación de la parcela, mientras que la agricultura industrial usa semillas comerciales, seleccionadas y cruzadas a partir de las nativas bajo condiciones controladas genéricas, y un importante uso de insumos externos como agrotóxicos y fertilizantes.³⁴⁴ Lo antes mencionado permite que las variedades nativas de maíz tengan importantes ventajas adaptativas a diversas regiones agroclimáticas, en comparación con las semillas de la industria.³⁴⁵

Entre las ventajas de los maíces nativos se puede mencionar que estos tienen una mejor adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción y una muy importante aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales, como base de un pueblo que se alimenta principalmente de maíces nativos.^{346, 347}

Por otro lado, la rusticidad de los maíces nativos, bajo manejo campesino, no requiere de procesos complejos de hibridación, son tolerante a diversas condiciones ambientales y climáticas, han demostrado buenos rendimientos ante contextos adversos, cierta tolerancia a plagas y enfermedades, así como tolerancia al acame de la planta.^{348, 349}

La producción de maíz nativo también involucra prácticas de conservación de semillas y biodiversidad agrícola, preservando así las variedades autóctonas y tradicionales de maíz.^{350, 351} Además, la calidad de este maíz se asocia con prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el ambiente; los agricultores utilizan métodos de cultivo que minimizan la dependencia de productos químicos sintéticos, promoviendo así la salud del suelo y la biodiversidad.³⁵²

Por ejemplo, de acuerdo con la teoría de la trofobiosis planteada por Francis Chaboussou, una planta saludable y bien alimentada es menos propensa a ser atacada por plagas y enfermedades ya que no proporciona el alimento necesario para que estas se desarrollen, principalmente aminoácidos libres y otras sustancias solubles.^{353, 354} Ese principio puede, en parte, explicar cómo la interacción entre cultivos dentro del sistema tradicional de milpa, ofrece un entorno más equilibrado para las plantas y puede reducir la necesidad de pesticidas sintéticos, ya que se mejora la nutrición del suelo, se reduce la competencia de malezas y la variedad de



nutrientes y compuestos bioactivos en la zona de cultivo dificulta el establecimiento de plagas.^{355, 356, 357}

Los maíces nativos deben protegerse ante la siembra de maíz genéticamente modificado y su importación que han provocado contaminación transgénica e introdujeron riesgos inaceptables, desde un punto de vista científico, social y ético.³⁵⁸

Diferencias en la calidad nutricional y nutrimental entre los maíces nativos y los transgénicos

La calidad del maíz, en términos de rendimiento y de las características nutricionales y nutraceuticas de los cultivos y alimentos son una preocupación tanto a nivel mundial como nacional ya que su demanda aumenta en consonancia con el crecimiento demográfico y la evolución de las preferencias alimentarias.³⁵⁹

El grano de maíz está compuesto por tres estructuras principales: el pericarpio, el germen (embrión) y el endospermo; las proporciones de estas estructuras varían según el uso previsto del grano.³⁶⁰ Además, contiene componentes que lo hacen nutricionalmente valioso, como proteínas, aceites, fibra y minerales, entre otros. Factores como la estructura física del grano, su genética, el ambiente, los procesos de producción y otros elementos de la cadena alimentaria influyen en esta composición.³⁶¹

Exhibe un contenido de proteína (7% a 12%) que puede utilizarse como fuente de energía, siendo las prolaminas las más abundantes.³⁶² Además, contiene, aproximadamente, entre un 3% y un 5% de aceites, con una concentración más elevada en el germen, que alcanza el 25-30%. Entre los ácidos grasos presentes en el grano de maíz, predominan el oleico, que constituye el 24% y es monoinsaturado, y el linoleico de la familia Omega 3, que representa el 62%.³⁶³ Estos ácidos grasos contribuyen a mantener bajos niveles de grasas saturadas en las arterias y desempeñan un papel importante en el crecimiento infantil y el desarrollo neurológico.

Las variedades nativas son apreciadas por sus características naturales y auténticas.^{364,365} Su composición genética y nutricional son valoradas por consumidores y mercados que buscan productos más naturales.^{366,367} La calidad de este tipo de maíz se mide en términos de su contenido nutricional, sabor, textura y aptitud para diferentes usos, como la producción de alimentos para consumo



humano, forraje para animales y la fabricación de productos derivados, como harinas y almidones.^{368,369}

Los maíces nativos contienen una variedad de compuestos bioactivos, entre los que se destacan los carotenoides, antocianinas, compuestos fenólicos y flavonoides^{370,371,372} Los maíces azules, morados o negros presentan elevadas concentraciones de antocianinas y flavonoides,^{373,374} lo cual les confiere una capacidad antioxidante superior en comparación con otras variedades de maíz blanco,^{375,376} aunque éste último también tiene pigmentos, aunque en menor proporción.

Además, al estudiar la calidad del maíz se ha encontrado que los maíces nativos tienen una calidad superior, en cuanto a que tienen granos más suaves y de mayor tamaño, mayor contenido de aceites benéficos, mayor contenido de proteína y mayor contenido de pigmentos.³⁷⁷ También se han documentado variedades nativas con niveles de proteína aprovechable como energía que van desde el 8% hasta el 12%.³⁷⁸

Los maíces nativos de genotipos pigmentados (blancos, amarillos, rojos, rosas, anaranjados, negros, azules, morados, etc.), son los mejores para la producción de tortilla, alimento básico para los mexicanos,³⁷⁹ pues entre otras características, tienen mayor resistencia a las aflatoxinas,³⁸⁰ micotoxinas altamente tóxicas, cancerígenas y teratogénicas, producidas por *Aspergillus flavus* y hongos estrechamente relacionados que infectan las mazorcas y grano de maíz³⁸¹

Estos maíces, como se mencionó previamente, contienen compuestos bioactivos, los cuales les confieren propiedades antioxidantes y grandes beneficios para la salud, incluyendo efectos antimutagénicos, anticancerígenos y quimioprotectores.^{382,383,384,385} Las tortillas de maíz azul hechas a mano, por ejemplo, tienen un alto contenido de fibra dietética, ácidos fenólicos y antocianinas, e incluso 4,5 veces más ácido ferúlico, un importante antioxidante, antiinflamatorio, protector de la barrera intestinal y estimulante del crecimiento y actividad de la microbiota intestinal benéfica, en comparación con aquellas de maíz blanco comerciales.^{386, 387}

México lidera el consumo mundial de tortilla, este alimento desempeña un papel crucial en la dieta de la población gracias a su versatilidad, sabor y sus reconocidos beneficios para la salud. En el país se elaboran tortillas de diversas formas, siendo notables las producidas de forma tradicional, mediante el proceso de



nixtamalización, una forma tradicional de preparación que implica remojarlo en agua con cal (hidróxido de calcio) y cocinarlo.

El proceso de nixtamalización tiene como objetivo principal ablandar el maíz, facilitar la eliminación de la cáscara y mejorar su valor nutricional, al aumentar la biodisponibilidad de ciertos nutrientes como la niacina (vitamina B3), disminuir la presencia de micotoxinas en el grano crudo, incrementar el contenido de almidón resistente, y reducir la cantidad de fitato, compuesto rico en P que puede formar complejos con minerales como el Ca, Fe, Zn, Mg, y reducir su biodisponibilidad en los productos terminados.^{388,389,390,391}

En el otro lado, están los maíces transgénicos que, además de estar indisolublemente relacionados con agrotóxicos como el glifosato y glufosinato de amonio, incluidos en el paquete tecnológico para su siembra, presentan una calidad nutricional inferior. Poseen niveles reducidos de proteínas, fibras y antioxidantes en comparación con las variedades de maíz criollas.^{392, 393, 394} Al provenir en su mayoría de líneas híbridas comerciales de maíces de color blanco o amarillo, tienen una menor cantidad de compuestos fenólicos y antocianinas y, por lo tanto, una menor capacidad antioxidante.^{395,396}

Relación de la comida ultraprocesada y los maíces transgénicos

Hasta el momento han sido expuestas diferentes afectaciones a la salud humana, al ambiente y a los aspectos sociales y culturales, que se han presentado de manera general en diferentes lugares del mundo. Estas condiciones se empezaron a generar a partir de la llamada “revolución verde” que en México implicó la imposición del sistema agroalimentario industrial que incorporó determinadas tecnologías y agroquímicos, y privilegió las semillas híbridas y los monocultivos, de producción a gran escala.³⁹⁷ Posteriormente, a partir del 2000 se modificó la forma de comer en México, la llamada comida chatarra penetró con gran fuerza en las ciudades y pueblos, con ello se incrementó el número de las enfermedades relacionadas con la dieta, así como la declinación de la viabilidad de forma de vida rurales y la pérdida del acceso a alimentos tradicionales,³⁹⁸ con ello el detrimento de los rituales en el cultivo, la cosecha, las preparaciones³⁹⁹ y las formas o tipos de consumo, como en determinadas festividades.

Tal como se mencionó antes, los sistemas agrícolas intensivos de cultivos GM son destinados a producir grandes cantidades de alimentos ultraprocesados, altos en



calorías, pero deficientes nutrimentalmente, más que con el combate al hambre.^{400,401,402}

El mito de que los transgénicos permite abastecer a la población de alimentos saludables se cae a pedazos, al observar que su destino principal es la producción de etanol, la alimentación animal y generar insumos para la industria alimenticia con el fin de producir jarabes fructosados y aceites comestibles para ser empleados como ingredientes en la producción de alimentos de muy baja calidad nutrimental.^{403,404}

América Latina ocupa el quinto lugar de venta de productos ultraprocesados a nivel mundial,⁴⁰⁵ es decir, se consumen gran cantidad de sopas instantáneas, panecillos, botanas, cárnicos procesados, entre otras. En el caso de líquidos ultraprocesados, México ocupa la primera posición de venta, se consumen mayormente bebidas carbonatadas, jugos, bebidas azucaradas y néctares, con ventas per cápita de casi 450mL/día,⁴⁰⁶ es así como nuestra dieta cambió para consumir altos niveles de grasa y azúcar con consecuencias negativas a la salud.

Consideraciones sobre los patrones de consumo de maíz en México

Desde el 2004, las conclusiones y recomendaciones de la Comisión de Cooperación Ambiental del Tratado de Libre Comercio, a través del informe del Secretariado con las conclusiones y recomendaciones del reporte que preparó con la ayuda de un Grupo Asesor sobre "Maíz y Biodiversidad", advertía que México se distingue por la forma cantidad en que se consume el maíz, alimento fundamental para la dieta y la cultura, manifestando que los transgénicos requería especial atención, pues la toxicidad del maíz GM sería especialmente elevada a partir de los patrones de consumo de la población mexicana, ameritando una respuesta de política pública.⁴⁰⁷

Asimismo, se especificó que la producción de ciertos fármacos y compuestos industriales, no aptos para el consumo humano y animal, entrañaba riesgos para la salud humana únicos en su género, cuestión que revestía particular preocupación en el caso del maíz, que es el alimento básico en México, producido mediante polinización abierta.⁴⁰⁸

En México, el consumo medio *per cápita* de maíz, como alimento, es de aproximadamente 128 kg/año, la más alta en el continente Americano; y, en el caso de la tortilla, el consumo es de 328 g/día/por persona, con un consumo cercano a los



12 millones de toneladas de tortillas al año.^{409,410} Estos datos pueden variar según la fuente y el momento en el que se consulten. De acuerdo con datos de 2021 de la FAO, para México, en comparación con EE. UU. el maíz y sus productos se consumen en una proporción 10 veces mayor, el suministro de energía que el maíz aporta es también 10 veces mayor, mientras que el aporte de proteínas que proviene del maíz es casi 15 veces mayor (Tabla 1).⁴¹¹ Cualquier efecto relacionado con el consumo de maíces GM, tiene que partir de esta consideración especial, lo mismo en el caso de la exposición no ocupacional, por ingesta de agrotóxicos que se presentan de manera residual en los transgénicos, por ejemplo, el glifosato.

Tabla 1. Se muestra el balance de maíz y sus productos, de 2021, para México y Estados Unidos.⁴¹²

EE. UU.	Cantidad de suministro de alimentos	12.46 kg/persona/año
	Suministro alimentario de energía	92.21 kcal/persona/día
	Cantidad de suministro de proteínas	1.59 g/persona/día
México	Cantidad de suministro de alimentos	123.47 kg/persona/año
	Suministro alimentario de energía	1024.83 kcal/persona/día
	Cantidad de suministro de proteínas	21.04 g/persona/día

2.3 Exposición al glifosato, plaguicida inmanente de los transgénicos de maíz y otros OGM; sus efectos en la salud humana, aún a dosis bajas

Tal como se señaló antes, el glifosato es el herbicida más usado en todo el mundo,^{413,414} esto implica que los riesgos asociados a su exposición son extremadamente elevados, toda vez que el estándar dicta que el riesgo es equivalente al peligro multiplicado por la exposición, es decir, al aumentar la exposición (por el uso exacerbado del plaguicida), independientemente, de que el peligro (en este caso representado por el nivel de toxicidad) fuere bajo, el riesgo aumenta.

Ya se ha demostrado, en secciones anteriores, que la exposición humana al glifosato es elevada y constante, a continuación, se mostrará que el glifosato es, por principio (bajo las directrices establecidas por la FAO y la OMS),⁴¹⁵ un plaguicida altamente peligroso; toda vez que, a la luz de la evidencia científica, cumple con varios de los criterios que definen a estas sustancias.

La toxicidad del glifosato y de los HBG, tal como se mencionó antes incrementa significativamente (hasta 100 veces) a partir de los otros compuestos que contienen las formulaciones comerciales.⁴¹⁶ Por ejemplo, las formulaciones de HBG inducen apoptosis y necrosis en células umbilicales, embrionarias y placentarias, además de alterar la integridad de la placenta en humanos.^{417, 418, 419} Existen publicaciones





científicas que han demostrado que los HBG de marcas comerciales como *Roundup*® contienen agentes tóxicos como derivados del petróleo⁴²⁰ y metales pesados.⁴²¹

Y bien, la toxicidad de una sustancia puede ser aguda o crónica, dependiendo de la dosis, el tiempo de exposición. Para el caso del glifosato, ambos tipos están ampliamente documentados, junto con los daños a la salud de humanos, probados y potenciales, tal como se presenta a continuación.

Toxicidad aguda

La toxicidad aguda del glifosato y los HBG se presenta por casos de envenenamiento que puede ser: voluntaria, por auto envenenamiento, hay varios casos reportados de muertes ocasionadas por ésta práctica, principalmente en Asia;^{422,423} o involuntaria, por ejemplo, en varios países de Latinoamérica se han documentado casos de envenenamiento por aspersiones con avionetas que rocían el glifosato sobre cultivos GM, las personas expuestas presentan vómitos, diarrea, problemas respiratorios y erupciones cutáneas.^{424,425}

Toxicidad crónica

Existe una amplia gama de estudios científicos que revelan los potenciales efectos dañinos del glifosato y de los HBG sobre la salud humana luego de la exposición por tiempos prolongados, generando lo que se conoce como toxicidad crónica.^{426, 427, 428}

Sobre los efectos perniciosos del glifosato y los HBG

Entre los efectos adversos por la exposición al glifosato, los HBG o su principal producto de degradación, el AMPA, a partir de una vasta revisión de estudios científicos,⁴²⁹ encontramos que:

1. Tienen un alto potencial carcinogénico (mieloma, leucemia, melanoma, mieloma múltiple, linfoma no Hodgkin, así como de cavidad oral, colon, pulmón, recto, páncreas, riñón, vejiga y próstata) por diferentes vías como la genotoxicidad y el estrés oxidativo. Mientras que éste último proceso, a su vez se relaciona con el desarrollo de una multiplicidad de enfermedades crónico-degenerativas.
2. Actúan como disruptores endócrinos y agentes causantes de serios desordenes en el sistema reproductivo.



3. Son capaces de causar daños en órganos y sistemas, alteraciones metabólicas y enfermedades neurológicas.

Estos efectos pueden presentarse incluso por exposición a “dosis bajas”, es decir dosis mucho menores a: las utilizadas en la mayoría de los ensayos de toxicidad, los límites establecidos como seguros para los animales y los humanos y que fácilmente pueden encontrarse en el ambiente. El concepto de “efectos por dosis bajas” o “*low dose effects*” se refiere a los efectos que, según la evidencia científica, ocurren a niveles de dosis inferiores a los probados en estudios de toxicología estandarizados.⁴³⁰

Evidencia sobre carcinogenicidad

En 2015, tras una extensiva revisión de toda la literatura científica disponible al momento sobre el glifosato, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (*IARC*, por sus siglas en inglés), órgano de investigación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), evaluó al glifosato y a las formulaciones comerciales de herbicidas hechos a base del mismo, asignándole la categoría de probable carcinógeno para humanos (Grupo 2A).⁴³¹ Dicha revisión, de cerca de 1000 estudios, fue realizada por un cuerpo interdisciplinario de personas expertas en el tema que no tuvieran conflicto de interés que sesgara su investigación,⁴³² y demostró, con evidencias científicas contundentes, que el glifosato puede operar a través de dos características clave de los carcinógenos conocidos y que estos pueden ser operativos en humanos: genotoxicidad (daño en el Ácido Desoxirribonucleico, ADN) y estrés oxidativo.⁴³³

Confirmando la posición de la *IARC*, la Agencia para el Registro de Enfermedades y Sustancias Tóxicas (*ATSDR*, por sus siglas en inglés), dependiente del Departamento de Salud del gobierno de los Estados Unidos, publicó en 2019 un perfil toxicológico del glifosato con más de 300 referencias que apuntaló el reporte publicado por la *IARC* e indicó que existe una fuerte correlación entre la exposición al glifosato (en estado puro, o en formulación comercial) con la aparición de distintos tipos de cáncer, así como otras patologías, tales como retrasos en el desarrollo, enfermedades intestinales, y toxicidad hepática y renal.⁴³⁴

En 2023, mediante una revisión científica sistemática se han mapeado las características clave de los carcinógenos en todos los estudios *in vivo*, *ex vivo* e *in vitro* de humanos y animales experimentales (mamíferos) que compararon la exposición al glifosato y los HBG con contrapartes de baja o nula exposición, de esta



manera, fue posible identificar con evidencia robusta que, además de la genotoxicidad y el estrés oxidativo (vías de carcinogenicidad del glifosato señaladas por la *IARC* en 2015), el glifosato y los HBG son cancerígenos a través de la modulación de efectos mediados por receptores y la inducción de alteraciones epigenéticas y de inflamación crónica.⁴³⁵

Efecto genotóxico

Existe una amplia gama de estudios, previos y posteriores al dictamen de la *IARC*, que demuestran el potencial genotóxico y la relación que tiene la exposición al glifosato y los HBG o al AMPA con el desarrollo de distintos tipos de cáncer, incluyendo estudios muy recientes de cohorte que, al estar basados en diseños observacionales y analíticos, son los que mayor valor o cercanía tienen en lo referente a la búsqueda de relaciones causales.⁴³⁶

La genotoxicidad del glifosato (capacidad de una sustancia para causar daño al material genético) conduce a efectos dañinos crónicos e irreversibles para la salud y el desarrollo de los organismos expuestos.^{437,438,439} Los HBG causan la muerte de glóbulos blancos mononucleares humanos, así como daños en el ADN de estas células; una vez metabolizado, el glifosato genera un incremento en el daño del ADN, sin que haya podido explicarse cuál es el mecanismo por el que esto ocurre.⁴⁴⁰

Por otra parte, se han observado afectaciones a los mecanismos epigenéticos (mecanismos que regulan los genes sin alterar el ADN, son heredables) que regulan la expresión de células mononucleares de sangre periféricas luego de la exposición a concentraciones ambientales de glifosato o por exposición ocupacional; estas afectaciones incluyen una reducción significativa del nivel global de metilación del ADN (mecanismo implicado en la regulación de los genes)^{441,442}. Además, se reportó la metilación de regiones promotoras de ciertos supresores tumorales, lo que está asociado con el silenciamiento o sobreexpresión de genes claves en la regulación del inicio y la progresión del cáncer⁴⁴³ y se identificaron cambios en la expresión de genes que regulan el ciclo celular (etapas de crecimiento y reproducción celular) y la apoptosis (muerte celular programada), la alteración de dichos procesos está vinculada con el desarrollo de cáncer.⁴⁴⁴

También se han publicado estudios epidemiológicos, médicos y toxicológicos que confirman el perfil toxicológico del glifosato generado por la *ATSDR*, éstos asocian al herbicida con una mayor incidencia de cáncer de diferentes tipos como: leucemia, melanoma, mieloma múltiple y linfoma no Hodgkin, así como de cavidad



oral, colon, pulmón, recto, páncreas, riñón, vejiga y próstata.^{445,446} Esta asociación depende de la dosis y del tiempo de exposición; por ejemplo, un estudio de caso en Dakota del Norte, Estados Unidos, reporta que la incidencia de cáncer de próstata en hombres menores de 50 años es mayor si han estado expuestos a herbicidas a lo largo de su vida.⁴⁴⁷ Posteriormente, se identificó que el efecto del herbicida en líneas celulares de próstata no tumorales es aumentar la expresión de la uroquinasa, una proteasa (molécula que degrada proteínas) que promueve la invasión y la metástasis (proceso de propagación de células cancerosas) en las células prostáticas.⁴⁴⁸

En otra investigación, de 2021, se hizo una revisión de los estudios en animales que demostraron que el glifosato se asocia a efectos genotóxicos en varios modelos de animales y celulares, como linfocitos humanos, incluso a dosis bajas, además de su relación con el desarrollo de linfoma No-Hodgkin (LNH). De los estudios se determinó, como mecanismo subyacente para el desarrollo de este tipo de cáncer, la regulación al alza de la citadina desaminasa inducida por la activación de la enzima que muta el genoma de las células B. Los autores de esta revisión recomiendan a las agencias reguladoras de pesticidas que se haga una revaloración en la clasificación de este herbicida.⁴⁴⁹

Recientemente, investigadores de Estados Unidos evaluaron los daños causados por el uso agrícola de glifosato, en mujeres embarazadas, niños de cinco años y jóvenes de 14 y 18 años del Centro de Evaluación de la Salud Materno Infantil de Salinas (CHAMACOS). Los resultados demuestran que la exposición al glifosato y AMPA generan afectaciones en la primera infancia, al vivir cerca de lugares donde se aplica el glifosato, tales como el aumento del riesgo de padecer trastornos hepáticos y el síndrome metabólico en edad adulta, trastornos que pueden causar a futuro cáncer de hígado, diabetes y padecimientos cardiovasculares.⁴⁵⁰

A inicios de 2023, se publicaron dos estudios paradigmáticos en el sentido de que reafirmar las conclusiones de la IARC, en cuanto a las dos vías a través de las cuales el glifosato y los HBG tienen un efecto carcinogénico, esto es la genotoxicidad y el estrés oxidativo.

En el primero, investigadores de universidades de Estados Unidos y Gran Bretaña evidenciaron con 80 estudios publicados desde 2016 que el 87% de las investigaciones corroboran los efectos genotóxicos causados por glifosato y herbicidas a base de glifosato. Además, sugieren que la Oficina de Programas de



Pesticidas de Estados Unidos debe hacer cambios legales para la evaluación de la oncogenicidad de herbicidas a base de glifosato.⁴⁵¹

El segundo se trata de una investigación realizada por científicos de los Institutos Nacionales de Salud (NIH, por sus siglas en inglés) y de los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC, por sus siglas en inglés), que son las agencias del gobierno de Estados Unidos responsables de la investigación en salud y de salud pública, respectivamente, encontraron una asociación entre la exposición humana al glifosato en agricultores y la presencia de moléculas indicadoras de estrés oxidativo.⁴⁵² Este estudio, publicado en la revista del Instituto Nacional del Cáncer de ese mismo país, se suma a la vasta evidencia científica que muestra el potencial carcinogénico del herbicida glifosato.

Evidencia sobre estrés oxidativo

En diversos estudios se ha encontrado que el glifosato causa la inhibición de numerosas enzimas, alteraciones metabólicas y estrés oxidativo que conducen a una excesiva peroxidación de lípidos en la membrana, daño celular y de tejidos.⁴⁵³ En estudios con crustáceos de agua dulce, pertenecientes a la especie *Macrobrachium nipponensis*, se demostró que las formulaciones comerciales de glifosato causan daño en el ADN debido a la inducción de estrés oxidativo y a la inhibición de la respuesta antioxidante en las células de este modelo.⁴⁵⁴

En estudios con animales modelo, se ha observado que el glifosato aumenta los niveles de indicadores de daño oxidativo en el intestino, además aumenta la expresión de enzimas que intervienen en la respuesta a condiciones de estrés oxidativo como las catalasas y las superóxido dismutasas y aumenta la permeabilidad intestinal, reduciendo la expresión de las proteínas que constituyen la barrera que permite el paso de iones y moléculas a las células del intestino.⁴⁵⁵

Adicionalmente, se ha reportado que el glifosato y su formulación comercial *Roundup*® causan daño genético en linfocitos y células hepáticas humanas. Estudios en células tumorales hepáticas encontraron alteraciones en las membranas mitocondriales que afectan la capacidad respiratoria de la célula y que pueden relacionarse con un envejecimiento más acelerado; así como en la actividad lisosomal inducida por daños al citoplasma.⁴⁵⁶

En el 2021, en un estudio con ratas, se compararon medidas estándar de histopatología y bioquímica sérica y se realizó un análisis multiómico en una prueba



de toxicidad subcrónica de mezclas de diversos pesticidas detectados en alimentos, entre ellos el glifosato, incluyendo exposición a dosis bajas. Hubo poco efecto en la relación de consumo de agua y alimento, peso corporal, histopatología y bioquímica sérica. Sin embargo, la metabolómica, en suero y ciego, reveló afectaciones en el metabolismo de la nicotinamida y el triptófano, lo que tiene implicaciones sobre el estrés oxidativo. La transcriptómica del hígado mostró 257 genes con cambio de expresión, las afectaciones incluyeron regulación de la respuesta a las hormonas esteroideas y la activación de las vías de respuesta al estrés. El análisis de metilación del ADN de todo el genoma de las mismas muestras de hígado mostró que 4,255 sitios CpG estaban metilados de manera diferencial. Los investigadores recalcan la importancia de la elaboración de perfiles moleculares a profundidad en animales de laboratorio expuestos a bajas concentraciones de pesticidas, para la detección de perturbaciones metabólicas.⁴⁵⁷

En el 2022 se publicó otro artículo que evaluó la carcinogenicidad de los HBG, en él se confirmó que el glifosato causa daño en el ADN y conduce a la activación de mecanismos de reparación de ADN en un sistema de mamífero *in vivo*. En cuanto a la evaluación de la carcinogenicidad, se mostró que el *Roundup*® puede activar el estrés oxidativo y una respuesta de proteína desplegada, aún en concentraciones en las que el glifosato se considera seguro bajo la regulación internacional. En el estudio se destaca la utilidad de los métodos ómicos y se sugiere su empleo por parte de las agencias para evaluar con mayor precisión la toxicidad de las sustancias químicas, en beneficio de la salud pública.⁴⁵⁸

Estudios de cohorte, evidencia de carcinogenicidad en humanos posterior al dictamen de la IARC

Pese a que el cáncer es un padecimiento multifactorial, que se ve potenciado por numerosos factores, en años recientes han surgido estudios epidemiológicos o de cohorte en distintos países que han demostrado la fuerte asociación que existe entre la exposición al glifosato y la incidencia de cáncer.^{459,460}

En los estudios de cohorte, los individuos se identifican en función de la presencia o ausencia de exposición a un factor de riesgo de interés. Al inicio del estudio todos los individuos se encuentran libres de la enfermedad a estudiar y son seguidos durante un periodo determinado, suficiente para poder observar la frecuencia de la aparición del evento esperado (enfermedad). Al final del seguimiento, algunas personas habrán desarrollado la enfermedad en estudio, y, en esos casos, existirá la



certeza de que luego de estar expuestos al factor de riesgo desarrollaron la enfermedad.

En el caso del glifosato y el AMPA, y su relación con la incidencia de cáncer, existen tres estudios de cohorte altamente relevantes: el primero fue publicado en 2018 por el Instituto Nacional de Cáncer (*NCI*, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos el segundo fue publicado en 2019 por el consorcio internacional AGRICOH (Consortio para estudios agrícolas de cohorte); el tercero es un estudio piloto de cohorte multiétnica de 2021, realizado también en los EE. UU. Cabe destacar que estos estudios son posteriores a la determinación de IARC de asignar al glifosato la categoría de “probable carcinógeno para humanos”.

El estudio de AGRICOH combina datos de 316,270 agricultores o trabajadores agrícolas de Francia, Noruega y los EE. UU. a los que se les dio un seguimiento promedio de 16 años. Durante este tiempo se diagnosticaron un total de 2,430 casos de Linfoma no Hodgkin (LNH) asociados al uso de distintos agroquímicos. En el estudio se calcularon los valores de riesgo específico (HR), que indican el aumento del riesgo a desarrollar algún tipo de LNH luego de estar expuesto a los agrotóxicos, en comparación con un grupo control que no estuvo expuesto, con un 95% de confiabilidad. Para el glifosato se encontraron niveles de HR promedios de 1.36 (con mínimos de 1.00 y máximos de 1.85) a desarrollar linfoma difuso de células B grandes, que es el tipo más común de LNH y que se caracteriza por tumores de crecimiento rápido en los ganglios linfáticos, el bazo, el hígado, la médula ósea u otros órganos. Este valor quiere decir que la exposición al glifosato aumenta en un 36% el riesgo de desarrollar este tipo de cáncer, reportando casos en que el aumento fue hasta del 85 %.⁴⁶¹

Por otra parte, el estudio del *NCI* consideró a 54,251 aplicadores de agroquímicos de los estados de Carolina del Norte y Iowa, EE. UU., a los que se hizo un seguimiento entre 1999 y 2005. El 82,8% (44,932) de los aplicadores reportaron utilizar glifosato, y a su vez se encontraron 5,779 casos incidentes de cáncer. Este estudio menciona que entre aquellos aplicadores que reportaron los niveles de exposición más altos, hubo un mayor riesgo relativo (RR) de incidencia de Leucemia Mieloide Aguda (LMA) en comparación con aquellos aplicadores que no utilizaron glifosato.⁴⁶²

Los resultados de estos estudios de cohorte coinciden con otros estudios de caso, en los que se ha reportado que la exposición al glifosato aumenta en 50% el RR a padecer LNH,⁴⁶³ así como con un metaanálisis en el que se reporta un aumento del



30% en la probabilidad de desarrollar este linfoma en personas expuestas a herbicidas a base de glifosato.⁴⁶⁴

En un estudio piloto de cohorte de 2021 se investigó la asociación entre la excreción urinaria de AMPA antes del diagnóstico y el riesgo de cáncer de mama, en 250 mujeres predominantemente posmenopáusicas: 124 casos y 126 controles sanos (emparejados individualmente por edad, raza / etnia, tipo de orina, fecha de recolección de orina y estado de ayuno). Los autores encontraron que la presencia de altos niveles de AMPA en orina se asocia con un incremento de 4.5 veces en el riesgo de desarrollar cáncer de mamá en mujeres de distintos grupos étnicos en Hawái; el 90% de las mujeres voluntarias no trabajan en el campo, aun así tenían trazas de AMPA en su orina, lo que demuestra el constante nivel de exposición a que estamos expuestos de manera cotidiana.⁴⁶⁵ Sus resultados son similares a lo reportado por otro estudio de caso de 2018, sobre mujeres embarazadas del estado de Indiana en las que se detectó glifosato en la orina de más del 90 % de ellas.⁴⁶⁶

También, en el 2021 se hizo otro estudio de cohorte, llamado *Puerto Rico Testsite for Exploring Contamination Threats (PROTECT)*, en el que se revela que los niveles de glifosato y AMPA en orina de mujeres embarazadas, en muestras recolectadas cerca de la semana 26 de gestación, se asociaron con mayores probabilidades de parto prematuro.⁴⁶⁷

Evidencia sobre disrupción endócrina y trastornos reproductivos

Existe numerosa evidencia que refrenda la condición del glifosato como disruptor endócrino (molécula capaz de alterar el equilibrio hormonal de un organismo) y como agente causante de toxicidad en los sistemas reproductivos.⁴⁶⁸ Además, existen muchos otros estudios que concluyen que los HBG generan afectaciones a los sistemas reproductivos de diversas especies. Los mecanismos por los que ocurre este daño son múltiples y no se limitan únicamente a la interacción con receptores hormonales.

Efectos en sistemas reproductivos y hormonales

En ratones se demostró que la exposición al glifosato destruye el crecimiento y la capacidad de desarrollo del ovocito (célula germinal que da lugar a los óvulos), interfiriendo con la maduración al generar estrés oxidativo, reducción del potencial de membrana, daño en el ADN y apoptosis temprana, ellos produce a su vez citotoxicidad en estas células.⁴⁶⁹



En el caso de las hembras, se ha observado que la exposición al glifosato o a herbicidas que contienen como principal ingrediente a esta molécula durante un período crítico del desarrollo, como los primeros días de nacidas, afecta procesos importantes que predisponen al organismo a presentar enfermedades crónicas durante el resto de la vida, especialmente a las relacionadas con el desarrollo y la funcionalidad ovárica y uterina, con problemas en el ciclo reproductivo, así como con una alta tasa de abortos.⁴⁷⁰

En ratas macho se ha documentado que el glifosato causa estrés oxidativo en células relacionadas con la producción de espermatozoides, lo que impacta negativamente en la fertilidad masculina.⁴⁷¹ La exposición a glifosato también reduce los niveles de la proteína testosterona sintasa en células testiculares e inhibe la secreción de testosterona.⁴⁷² Además, la exposición a este herbicida en ratas generó cambios en la estructura funcional de los testículos y redujo las concentraciones de testosterona en suero.⁴⁷³ Asimismo, se ha demostrado que la exposición a glifosato a largo plazo, en ratas macho, afecta negativamente la integridad de la barrera hematotesticular que impide la espermatogénesis a través de la activación del eje ER- α /NOX1.⁴⁷⁴ También se informa que Además, el glifosato es un quelante metálico y, dado que el manganeso influye en la motilidad de los espermatozoides, se considera que el glifosato podría explicar parcialmente niveles más altos de infertilidad y defectos de nacimiento en humanos.⁴⁷⁵

Respecto a otros animales, en ovejas se encontró que la exposición al herbicida altera la histomorfología ovárica (forma de los tejidos ováricos) y los parámetros moleculares en los órganos sexuales, de forma similar a lo reportado para otros xenoestrógenos (agentes causantes de una disrupción endócrina, *EDC*, por sus siglas en inglés).⁴⁷⁶ En este mismo estudio fue posible detectar glifosato en el suero sanguíneo de los neonatos a los 14 días de exposición. Mientras que, en lagartijas macho, la exposición al glifosato disminuyó la producción de espermatozoides, generó cambios en la morfología testicular, así como afectaciones a los receptores de estrógeno y su expresión.⁴⁷⁷

Se ha identificado que el glifosato causa la desregulación de gran cantidad de genes (de 1550 genes estudiados, una expresión de 680 aumentó o disminuyó) en células de cáncer de mama de seres humanos que se cultivaron *in vitro* bajo niveles de exposición ambientalmente aceptables. El herbicida es capaz de sustituir y trabajar simbióticamente con estrógeno (necesario para el crecimiento de las células cancerosas de mama), lo que indica la alta capacidad de interrupción endocrina del



glifosato en este tipo de entorno hormonal.⁴⁷⁸ La proliferación de células de cáncer de mama, dependientes de estrógenos, aumenta por exposición al glifosato puro, a través de mecanismos de estrógeno *in vitro*.⁴⁷⁹

Otro de los estudios que refuerzan esta línea de investigación fue una evaluación de la seguridad del glifosato en cerdas gestantes, que investigó los efectos sobre la angiogénesis placentaria y el mecanismo de la exposición a HBG bajo (20 mg/kg) y alto (100 mg/kg), en función del nivel límite establecido como seguro bajo el estándar internacional utilizado por agencias regulatorias. Los resultados mostraron que la exposición gestacional a HBG disminuyó la densidad de los vasos placentarios y la multiplicación celular, al interferir con la expresión de VEGFA, PLGF, VEGFr2 y Hand2, los cuales son indicadores de angiogénesis. A su vez, esto puede estar relacionado con trastornos en la fisión y fusión mitocondrial, inducidos por estrés oxidativo, así como el deterioro de la función de la cadena respiratoria mitocondrial. Además, los HBG afectaron el transporte de nutrientes a través de la placenta y su función como barrera protectora, además se presentó estrés oxidativo en el yeyuno en lechones recién nacidos.⁴⁸⁰

Algunas investigaciones relacionan la exposición al glifosato con una alteración en la expresión de enzimas importantes en humanos y otros mamíferos como la glutatión transferasa, la CYP3A4 y la CYP1A2 y la disrupción de hormonas sexuales en animales y en células humanas *in vitro*.^{481, 482} Las implicaciones de los efectos de alteración endocrina pueden ser profundas y de gran alcance, e incluyen una variedad de impactos en el desarrollo como alteraciones en la diferenciación sexual, el metabolismo óseo, el metabolismo hepático, la reproducción, el embarazo, el crecimiento, el desarrollo cerebral y orgánico, la cognición, además de enfermedades relacionadas con el sistema endocrino, como cáncer de mama, testicular y de próstata, así como trastornos neurodegenerativos y metabólicos como diabetes u obesidad.⁴⁸³

Adicionalmente, se ha encontrado que la escorrentía de aguas de lluvia en terrenos de cultivos de maíz GM rociados con *Roundup*® y 2,4-D contiene sustancias que afectan a la producción de andrógenos y, por lo tanto, la exposición crónica a esta agua puede causar efectos disruptivos endócrinos en humanos.⁴⁸⁴

Efectos que se heredan transgeneracionalmente

Entre los principales efectos que se han observado por la exposición a dosis bajas de glifosato están los relacionados con las afectaciones a los niveles hormonales y al



sistema reproductor. Varios de estos efectos perniciosos se han reportado a partir de la exposición al glifosato y los HBG de una primera generación, presentándose consecuencias hasta dos generaciones posteriores, sin que éstas hayan estado expuestas al herbicida.

Estudios recientes, tanto *in vitro* como *in vivo*, han demostrado que el glifosato y los HBG pueden actuar como disruptores endócrinos a dosis bajas, presentes comúnmente en el ambiente. Por ejemplo, en hembras de ratas y ratones expuestas a glifosato antes de la pubertad, se han observado alteraciones en el desarrollo y la diferenciación de los folículos ováricos y del útero, afectando su fertilidad.⁴⁸⁵ En animales gestantes también se han visto afectaciones en las crías de la generación F1 y F2; y en peces se han reportado diversas afectaciones reproductivas y epigenéticas que afectan la maduración de los óvulos, generando toxicidad reproductiva y comprometiendo la dinámica de las poblaciones expuestas.⁴⁸⁶

Un estudio posterior se diseñó para identificar biomarcadores epigenéticos de enfermedades transgeneracionales inducidas por el glifosato, mediante un estudio de asociación de todo el epigenoma (EWAS), a partir de la exposición transitoria al glifosato de ratas hembra gestantes (generación F0), durante el período de desarrollo de la determinación del sexo gonadal. Los resultados demostraron que la siguiente generación, sin exposición directa, envejeció de forma más acelerada y se identificaron animales con patologías específicas como enfermedad prostática, renal y obesidad. De manera alarmante, la dosis a la que fueron expuestas las hembras preñadas, que presentaron las afectaciones descritas, equivale a la mitad del “nivel sin efecto observable” (*NOAEL*, por sus siglas en inglés), que es un índice de toxicidad que se determina en procesos de evaluación toxicológica, a partir de que se derivan el resto de los parámetros de toxicidad.⁴⁸⁷

En años recientes también se han documentado otros efectos nocivos del glifosato a dosis bajas ambientalmente relevantes. Por ejemplo, en un estudio en células madre neurales de ratones, se encontró que, al exponerlas a concentraciones bajas de glifosato, como aquellas permitidas en agua potable por las autoridades de protección ambiental, se indujo neurotoxicidad ambiental en el sistema nervioso.⁴⁸⁸ Por otro lado, se ha encontrado que el glifosato podría producir daños en la estructura epigenómica (patrones de metilación del ADN) de los organismos y que los efectos dañinos por la exposición al herbicida glifosato podrían aparecer después de tres generaciones. En un estudio reciente se observó que en las generaciones F2 y F3 (bisnietos y tataranietos) de ratas expuestas a concentraciones de glifosato por



debajo de la dosis NOAEL, parámetro que refiere a la dosis más alta sin efecto adverso observable, hubo un aumento en la incidencia de anomalías como enfermedades de próstata, obesidad, enfermedad renal, ovárica y anomalías durante el parto.⁴⁸⁹

La exposición a herbicidas formulados a base de glifosato, incluso a dosis muy bajas, puede ocasionar problemas reproductivos que incluyen abortos espontáneos, partos prematuros, bajo peso al nacer y defectos de nacimiento. Hay estudios de laboratorio que han demostrado que niveles muy bajos de glifosato, *Roundup*®, POEA y el metabolito AMPA matan a las células umbilicales, embrionarias y placentarias humanas. Por ejemplo, se ha demostrado que los formulados de *Roundup*® pueden matar a las células testiculares, reducir el número de espermatozoides, aumentar el espermatozoide anormal, retrasar el desarrollo del esqueleto y causar deformidades en los embriones de anfibios,⁴⁹⁰ en peces también se han observado cambios en la histología de órganos, disminución en el número de copulaciones y en la tasa de reproducción.⁴⁹¹

La afectación endócrina por exposición a dosis baja glifosato en humanos se demostró realizando ensayos en líneas celulares MDA-kb2 que permiten la detección de antagonistas de los receptores hormonales,⁴⁹² y en líneas celulares de placenta JEG3 en las que se observó que, a concentraciones menores a las recomendadas para su aplicación agrícola, los HBG causan la interrupción de la actividad de la aromatasa, enzima encargada de la síntesis de estrógeno.⁴⁹³

En el 2021 se publicó un estudio piloto en 94 parejas de madres e hijos (45 mujeres y 49 hombres) como parte del Estudio sobre Desarrollo Infantil y Medio Ambiente (TIDES) que lleva a cabo el Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental en Estados Unidos (*NIEHS*, por sus siglas en inglés). Este estudio tiene por objeto examinar cómo la exposición de la madre a sustancias químicas cotidianas durante el embarazo puede afectar al feto en su desarrollo. En el estudio piloto, se midieron los niveles de glifosato y AMPA en la orina de las madres, sin exposición ocupacional, al segundo trimestre de embarazo detectándose glifosato en el 95% de las muestras y AMPA en el 93%, lo que se correlacionó con alteraciones en el desarrollo embrionario de los fetos, particularmente en la distancia anogenital de los bebés, que es un indicador de la concentración de andrógenos durante el desarrollo prenatal en mamíferos. De este modo, se encontró que en bebés de sexo femenino de madres con alta concentración de glifosato o AMPA en orina las distancias anogenitales fueron significativamente mayores que las normales, lo que sugiere



que el glifosato es un disruptor endocrino específico del sexo femenino con efectos androgénicos en humanos.⁴⁹⁴

En el 2022, investigadores realizaron un estudio de salud reproductiva en humanos, a partir de la recolección de muestras de orina de mujeres con embarazos de alto riesgo y de diversos orígenes culturales, las cuales presentaron niveles de glifosato por encima del límite de detección en el 99% de las mujeres embarazadas. Posterior a los partos, los niveles de glifosato materno más altos se asociaron a un mayor riesgo de ingreso a la unidad de cuidados intensivos neonatales y a pesos bajos de los recién nacidos, los cuales están vinculados con los niveles de glifosato del primer trimestre de embarazo de la madre.⁴⁹⁵ Ese mismo año, se investigaron las asociaciones entre la exposición prenatal al glifosato y la duración de la gestación (*The Infant Development and the Environment Study, TIDES*), a través de una cohorte multicéntrica de embarazos en Estados Unidos. Los resultados indicaron que una exposición generalizada al glifosato en la población puede afectar la salud reproductiva al acortar la duración de la gestación.⁴⁹⁶

La evidencia científica con la que se cuenta hasta el momento permite afirmar que los efectos tóxicos del glifosato y de los herbicidas que lo contienen se manifiestan incluso a bajas dosis, afectando principalmente la función de las hormonas sexuales, y, por tanto, generando complicaciones reproductivas en los organismos expuestos a estas sustancias. A ello se suma el alarmante resultado de un estudio realizado en el municipio de Muna, en el estado de Yucatán, donde se encontraron alteraciones reproductivas en hombres y mujeres expuestos a plaguicidas, entre ellos glifosato.⁴⁹⁷

Evidencia sobre daños en órganos y sistemas, alteraciones metabólicas y enfermedades neurológicas

Efectos en el sistema digestivo y alteración del microbiota intestinal

Todos los órdenes de bacterias componentes del microbiota de humanos y animales requieren, para su crecimiento y desarrollo, de aminoácidos aromáticos provistos a partir de la ruta del Shikimato que, como se mencionó antes, es la vía metabólica afectada por el glifosato, por la que presenta el efecto herbicida de acuerdo con la información proporcionada por las empresas promotoras y comercializadoras del glifosato. En realidad, la mayoría de las bacterias benéficas, para humanos, animales y suelo, son sensibles al herbicida glifosato, por lo que pueden verse afectadas por la presencia de este herbicida.⁴⁹⁸ Los resultados de los



estudios hechos en animales experimentales, que se presentan a continuación, pueden trasladarse a humanos, pues poseemos bacterias en el tracto intestinal que emplean la vía del shikimato.

El microbiota intestinal es la comunidad de microorganismos vivos residentes en el intestino humano, está compuesta por trillones de bacterias que, por su abundancia, complejidad organizacional y funciones específicas claves para el mantenimiento de la buena salud, ha sido llamada por los expertos en el tema como un nuevo órgano al que es necesario prodigar cuidados. La comunidad bacteriana que compone el microbiota intestinal de los humanos incluye más de 1,000 especies de bacterias que en conjunto desarrollan funciones vitales como regular el suministro de energía a las células, promover el correcto crecimiento corporal, el desarrollo de la inmunidad y la nutrición, entre otras.⁴⁹⁹

Las evidencias existentes hasta ahora demuestran que la molécula de glifosato es una sustancia tóxica que genera múltiples afectaciones para el sistema digestivo. En estudios experimentales se ha reportado que el glifosato induce una respuesta inflamatoria en el intestino delgado de ratas de laboratorio, esto genera una disminución en la expresión de enzimas antioxidantes y altera el balance de iones en el intestino, destacándose una disminución en la absorción de hierro, que puede asociarse con problemas neurológicos o de anemia.⁵⁰⁰ Además, la exposición de componentes de la microbiota intestinal al glifosato, resulta en la supresión de las enzimas citocromo P450 (involucradas en la desintoxicación de toxinas ambientales, la activación de la vitamina D3, la catabolización de la vitamina A, el mantenimiento de la producción de ácidos biliares y el suministro de sulfato al intestino) y la biosíntesis de algunos aminoácidos lo cual conduce a una disminución de bacterias benéficas en el tracto gastrointestinal favoreciendo la proliferación de patógenos.⁵⁰¹

Otro estudio, sobre la exposición a glifosato durante el periparto en ratas, demostró cambios en el comportamiento de las madres, asociados a alteraciones en la neuroplasticidad, además de reportar un desbalance en el microbiota intestinal de las madres ligado a alteraciones en el Sistema Nervioso Central.⁵⁰²

El herbicida altera también la composición de la microbiota intestinal, disminuyendo la abundancia del género *Lactobacillus*, enriqueciendo a la vez la proporción de bacterias potencialmente patógenas.⁵⁰³ Además, se encontró que al exponer al *Roundup*® a bacterias dañinas como *Escherichia coli* o *Salmonella spp.*, éstas aumentaron su resistencia a antibióticos como kanamicina o ciprofloxacina,⁵⁰⁴



lo que podría hacer todavía más grande el problema la resistencia a antibióticos que actualmente es una cuestión de salud pública mundial.

Considerando lo anterior, numerosos estudios se han llevado a cabo en modelos animales para conocer el efecto del herbicida sobre el microbioma intestinal y los efectos que esto conlleva en la salud y el comportamiento de los animales. Algunos de ellos reconocen la relación profunda entre la microbiota intestinal y las alteraciones en el comportamiento.^{505,506} Así, en estudios llevados a cabo en ratones, cuyo microbioma muestra una alta similitud con el de los seres humanos, se ha encontrado que la exposición crónica y subcrónica a HBG incrementa las conductas relacionadas con la depresión y la ansiedad en respuesta a la alteración de la composición de la microbiota intestinal, ya que disminuye la abundancia de géneros clave de bacterias, lo cual puede incrementar la prevalencia de alteraciones del comportamiento.⁵⁰⁷

También, se ha investigado el efecto del glifosato y los HBG *Roundup Pro®* (MON52276) y *Roundup GT® plus*, mediante técnicas multiómicas, en el microbioma intestinal de ratas. En un estudio se detectó que éstos inhiben la vía del shikimato y se mostró que el tratamiento con glifosato y MON52276 resultó en niveles más altos de bacterias dañinas como: *Eggerthella* spp., *Shinella zoogloeoides*, *Acinetobacter johnsonii* y *Akkermansia muciniphila*. *Shinella zoogloeoides* fue mayor sólo con la exposición a MON52276. Además, se detectó que en los ensayos de cultivo *in vitro* con cepas de *Lactocaseibacillus rhamnosus*, el *Roundup GT® plus* inhibía el crecimiento en concentraciones en las que MON52276 y el glifosato no tenían ningún efecto.⁵⁰⁸

Otro grupo científico analizó efectos en ratones expuestos a dosis de glifosato por debajo de la permitida por las autoridades regulatorias de Estados Unidos. Ahí se expuso que, después de 90 días, se generaron alteraciones microbianas intestinales porque se redujo la abundancia de las bacterias comensales beneficiosas y se disminuyeron las vías funcionales antiinflamatorias. Lo cual puede ocasionar colitis, esclerosis múltiple u obesidad.⁵⁰⁹ En cuanto a otros organismos los estudios han demostrado que el agua y los alimentos para animales, contaminados con glifosato, afectan a las comunidades microbianas intestinales, ello depende la forma y concentración del glifosato.⁵¹⁰ Por otro lado, mediante ensayos *in vivo* en cerdos, se demostró que el glifosato causa toxicidad intestinal, dependiente de la dosis, así como un aumento en la permeabilidad de la membrana intestinal y una desregulación en la expresión de genes involucrados en la respuesta antioxidante durante la digestión.⁵¹¹



En años recientes se ha sugerido el uso de glifosato como el factor causal más importante vinculado al desarrollo de la enfermedad celíaca, conocida como intolerancia al gluten; un problema creciente en todo el mundo, pero especialmente en América del Norte y Europa.⁵¹² Los síntomas incluyen náuseas, diarrea, erupciones cutáneas, anemia macrocítica y depresión; es una enfermedad multifactorial asociada con numerosas deficiencias nutricionales, así como problemas reproductivos. Las características de la enfermedad celíaca apuntan a la deficiencia de aminoácidos esenciales como el triptófano, la tirosina, la metionina y la selenometionina, así como a un deterioro de muchas enzimas del citocromo P450.

La enfermedad celíaca está asociada con desequilibrios en las bacterias intestinales que pueden explicarse, completamente, por los efectos conocidos del glifosato sobre las bacterias intestinales. Se sabe que el glifosato inhibe las enzimas del citocromo P450, asimismo, las deficiencias de hierro, cobalto, molibdeno, cobre y otros metales raros asociados con la enfermedad celíaca pueden atribuirse a la fuerte capacidad del glifosato para quelar estos elementos (un quelante es un agente que secuestra metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados), y las deficiencias de aminoácidos esenciales coinciden con el agotamiento conocido de éstos por el glifosato.⁵¹³

Hoy esta aproximación es soportada por evidencia aún más robusta, a partir de una revisión crítica de la literatura científica sobre los efectos del glifosato en el microbioma intestinal, un grupo de investigación concluyó que los residuos de glifosato en los alimentos, en efecto, podrían causar alteraciones en el microbioma intestinal (disbiosis), asociada a padecimientos la enfermedad celíaca, la enfermedad inflamatoria intestinal y el síndrome del intestino irritable; esto debido a que los patógenos oportunistas son más resistentes al glifosato en comparación con las bacterias comensales.⁵¹⁴ Las autoras destacan además, que el efecto del glifosato sobre la disbiosis no es considerado al hacer recomendaciones de seguridad por las autoridades regulatorias.

Efectos en diversos órganos y sistemas

Algunos reportes indican daños en células de otras especies como: linfocitos bovinos y células de médula ósea, hígado y riñón de ratón; células branquiales y eritrocitos de pez; eritrocitos de caimán y embriones de moscas de la fruta entre otros.^{515, 516}



Todas estas alteraciones afectan negativamente al cuerpo; aunque el impacto es sutil y se manifiesta lentamente a lo largo del tiempo, ya que los procesos inflamatorios promovidos, dañan los sistemas celulares de todo el cuerpo y, en última instancia, pueden estar correlacionados con el desarrollo de enfermedades gastrointestinales, pero también con obesidad, diabetes, enfermedades cardíacas, depresión, autismo, infertilidad, cáncer y Alzheimer.⁵¹⁷

La polioxietil-amina (POEA), principal agente coadyuvante de los HBG fue el primer surfactante incorporado en las formulaciones de glifosato. Estas formulaciones se asociaron desde las décadas de 1970 y 1980 a la toxicidad ocular aguda, lo que fue identificado como una preocupación grave a la seguridad de los trabajadores por el Departamento de Regulación de Pesticidas de California⁵¹⁸. Según datos recopilados entre 1981 y 1985 se encontró que las dos principales causas de enfermedades asociadas a la exposición ocupacional a plaguicidas fueron lesiones oculares (50%) y cutáneas (35%). De hecho, el glifosato ocupó el tercer lugar entre todos pesticidas como causa de enfermedades ocupacionales en el estado de California, en Estados Unidos.⁵¹⁹

Pese a que, según la información de los propios fabricantes,⁵²⁰ se han reformulado algunas de las marcas comerciales de los HBG, sustituyendo a la POEA derivada de grasa animal por otras POEAs menos irritantes, estos tensioactivos siguen teniendo efectos tóxicos preocupantes en múltiples organismos no blanco, incluyendo mamíferos y organismos acuáticos. Diversos estudios recientes han demostrado que las POEAs pueden aumentar la toxicidad o la absorción del glifosato en las células humanas y generar síntomas toxicológicos más severos^{521,522} como citotoxicidad o toxicidad en las células,⁵²³ afectaciones en diferentes hormonas sexuales,⁵²⁴ así como, genotoxicidad o daño al ADN.^{525,526}

En un estudio italiano sobre los efectos adversos del glifosato en células tiroideas *in vitro* (*Fisher-rat-thyroid-cell line-5*, FRTL-5) se demostró que hay reducción en la viabilidad celular, la respiración mitocondrial y la proliferación celular. Lo cual puede ocasionar diversas afecciones, tales como cáncer de tiroides, hipotiroidismo y alteraciones en el proceso de fosforilación oxidativa afectando el desarrollo de autoinmunidad. La investigación se sustenta además en otros estudios que exponen a los pesticidas como compuestos que afectan la tiroides y mayormente a personas con acceso directo al glifosato.⁵²⁷



La orina y las heces son de las principales vías de eliminación de sustancias como el glifosato, lo cual hace que los riñones sean vulnerables a su toxicidad. Investigadores brasileños administraron vía oral dosis bajas de HBG (0, 0.5 o 5 mg/kg) a ratas, desde el destete hasta la edad adulta. Midieron los niveles séricos de urea, creatinina, y examinaron la morfología histológica de los riñones, la expresión de ARNm de genes relacionados y el biomarcador Kim 1, así como los niveles de plomo. Los resultados demostraron que hay un daño renal leve ante la presencia del herbicida a base de glifosato. Sin embargo, se requiere evaluar a largo plazo ya que puede contribuir al desarrollo de una enfermedad renal crónica.⁵²⁸

En otro estudio, en Brasil, se revisó del 2014 al 2019 las investigaciones toxicológicas de cuatro pesticidas realizadas con modelos de animales, como el glifosato, siendo el modelo predominante el pez y se evaluó principalmente la mortalidad, las anomalías de las células sanguíneas y del desarrollo, así como alteraciones del comportamiento.⁵²⁹

Una investigación hecha en renacuajos de *Rhinella arenarum*, en la que evaluaron la toxicidad del glifosato y el glufosinato de amonio, señala que la anomalía más frecuentemente registrada fue el edema abdominal, teratogeneicidad, daño al ADN, alteración hormonal y estrés oxidativo. En este estudio se demuestra además que existe una considerable interacción química entre los componentes activos de ambos herbicidas.⁵³⁰ Además, un modelo evaluado con el pez cebrá demostró que la exposición ambiental al glifosato causa daños en el ADN, en las mitocondrias de los cardiomiocitos y puede aumentar el estrés del retículo endoplásmico.⁵³¹

En cuanto a los seres humanos, una investigación realizada por científicos de China Oriental y Estados Unidos, con células de músculo liso vascular aórtico humano y un modelo de pez cebrá, demostró que el glifosato tiene efectos tóxicos en los vasos sanguíneos, que puede ocasionar aterosclerosis. Al encontrar que el glifosato es un factor potencial en esta enfermedad, se sugiere proteger a las poblaciones crónicamente expuestas a este agrotóxico por el riesgo cardiovascular. Además, los de esa investigación exponen que el glifosato induce el envejecimiento de las células a través del daño al ADN y del deterioro mitocondrial.⁵³² Otro estudio relacionado a la salud cardiovascular apunta a que el glifosato causa senescencia e inhibe la capacidad proliferativa en los cardiomiocitos, lo que se manifiesta en una reducción de estos y puede provocar en los humanos arritmias, miocardiopatías y arteriosclerosis.⁵³³



Ante el incremento de denuncias de enfermedades como abortos recurrentes, incremento de malformaciones, aumento de autismos, trastornos de conducta y cáncer, en territorios agrícolas argentinos, un grupo de investigadores realizaron un estudio en el que se determinó que el herbicida basado en glifosato, más utilizado en Argentina, produce malformaciones cefálicas graves, alteraciones del área cardíaca y del tronco embrionario en embriones de anfibios y pollos.⁵³⁴

Recientemente, con el uso de técnicas multiómicas se ha estudiado con mayor detalle la sensibilización en la piel generada por la exposición al glifosato y a sus formulaciones comerciales, encontrando que, en presencia de estos herbicidas, se activa una respuesta del sistema inmune que ocasiona autofagia celular, es decir la destrucción de las propias células para evitar una acumulación de toxinas o sustancias tóxicas.⁵³⁵

Los efectos agudos por la exposición a este herbicida, observados en estudios de laboratorio, incluyen dificultades respiratorias, ataxia y convulsiones.⁵³⁶ El herbicida *Roundup*® se ha asociado con la depresión cardíaca.^{537,538} En ambientes acuáticos, el glifosato causa irritación ocular y penetra en las membranas celulares causando alteraciones.^{539,540} También hay reportes sobre los efectos por la exposición ocupacional, estos son afectaciones en las mucosas o en la piel, como alergias, irritaciones y quemaduras químicas.⁵⁴¹ Otros reportes sugieren que el glifosato actúa como promotor de cáncer en la piel.⁵⁴²

Tal como se mencionó antes, el hecho de que muchas de las formulaciones comerciales de glifosato contengan otros ingredientes que las empresas no están obligados a reportar o que se manejan bajo secreto industrial, hace que sea más difícil estimar sus efectos tóxicos y los probables riesgos que conlleva su uso ya que estos otros ingredientes, como se ha visto en el caso del POEA, pueden aumentar la toxicidad o la absorción del glifosato en las células humanas, y generar síntomas más severos, como la insuficiencia respiratoria, lo que complica los casos graves de intoxicación causada por herbicidas formulados a base de glifosato.^{543, 544}

Daños neurológicos y enfermedades en sistema nervioso

Existe evidencia de que el glifosato puede afectar áreas del cerebro asociadas con la enfermedad de Parkinson, en particular las neuronas dopaminérgicas. Los estudios epidemiológicos y de casos clínicos relacionan la exposición al glifosato con una mortalidad prematura debido a la enfermedad de Parkinson. Aunque, se requiere más investigación a este respecto, se encontró que los casos de muerte



prematura estaban geográficamente cerca de regiones con agricultura intensiva (a menos de un kilómetro de distancia de puntos de aplicación de glifosato, atrazina, diazinon y paraquat).⁵⁴⁵ Además, existe evidencia muy reciente de que el glifosato puede afectar áreas del cerebro asociadas con la enfermedad de Parkinson.⁵⁴⁶ En el 2022 se detectó que el glifosato atraviesa la barrera hematoencefálica y genera trastornos neurodegenerativos como afectaciones a la cognición, Alzheimer, ansiedad o depresión.⁵⁴⁷

En otro estudio, científicos demostraron algunos impactos negativos del glifosato en el sistema nervioso de vertebrados. El estudio realizado se basó en la comparación de las convulsiones causadas por el componente glifosato y una versión comercial *Roundup*®. La investigación concluye que el sistema nervioso de *C. elegans* fue afectado, en mayor porcentaje por el *Roundup*®, prolongando la duración de las convulsiones. De esta forma se considera que actúa sobre los receptores cerebrales GABA-A, pudiendo generar toxicidad y enfermedades neurodegenerativas como el Parkinson en humanos.⁵⁴⁸

En una revisión hecha en el 2022 sobre los efectos tóxicos del glifosato, en varias especies de animales y en humanos, se demuestra la capacidad de este herbicida para inducir estrés oxidativo, neuroinflamación y disfunción mitocondrial; procesos que conducen a la muerte neuronal por autofagia, necrosis o apoptosis, así como a la aparición de trastornos conductuales y motores. Estos hallazgos apuntan a que el glifosato y los HBG pueden producir alteraciones importantes en la estructura y función del sistema nervioso de humanos, roedores, peces y animales invertebrados.⁵⁴⁹

A través de estudios llevados a cabo en ratones, se ha encontrado que la exposición crónica y subcrónica a formulaciones cuyo ingrediente activo es el glifosato, incrementan las conductas relacionadas con la depresión y la ansiedad, a través de la hiperactivación de áreas del cerebro relacionadas con las conductas ansiosas.⁵⁵⁰

Por otro lado, una investigación de 2023 realizada por científicos de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos (*NIH*, por sus siglas en inglés) ha sido pionera en revelar afectaciones en agricultores varones expuestos a glifosato. Los resultados revelan que el uso prolongado del herbicida puede asociarse con efectos genéticos o selectivos relevantes, además de mecanismos relacionados con efectos hematológicos, cardiovasculares y neurodegenerativos como el Alzheimer.⁵⁵¹



También en 2023, se publicó otro estudio que relaciona al glifosato con daños neurológicos, a partir de datos estadísticos oficiales, obtenidos a partir de la Encuesta de Salud Nacional y Examen de Nutrición (*NHANES*, por sus siglas en inglés), conducida por Centro Nacional de Estadísticas de Salud de Estados Unidos (*NCHS*, por sus siglas en inglés). A partir de estos datos fiables y completos, los autores muestran que existe una correlación entre la presencia de glifosato y un polipéptido ligero de neurofilamento (NfL), que sirve como biomarcador molecular que indica desórdenes neurológicos.⁵⁵² Los autores declararon que la potencial causalidad, mostrada con la correlación observada, implica serias preocupaciones sobre los posibles efectos de la exposición al glifosato en la salud neurológica entre los adultos estadounidenses. Lo anterior, cobra aún más relevancia ya que, tal como se mencionó antes, la misma *NHANES*, a partir de un muestreo representativo de la población estadounidense, mostró que el 80% de las personas tienen glifosato en la orina.⁵⁵³

2.4 Evidencias sobre las malas prácticas corporativas de las empresas biotecnológicas de semillas transgénicas, ocultamiento de información y manipulación científica

Tal como se mencionó antes, Bayer (compró *Monsanto Company*) y Grupo Syngenta (ChemChina compró Syngenta AG) figuran entre las cuatro empresas que, a nivel mundial, suman el 65,8% de la cuota de mercado mundial de los agroquímicos y 53.2% de las semillas, por lo que tiene una fuerte influencia en la cadena de alimentos.

Se trata de un oligopolio que se han valido de la construcción de falsas narrativas sobre los sistemas alimentarios, donde por un lado sostiene que su sistema de producción de alimentos es el único capaz de llevar a cabo la transformación necesaria para los retos del cambio climático, y por otro lado socaban el hecho de que los tres mil millones de productores indígenas y campesinos del mundo, rurales y urbanos, pescadores y pastores, no solo alimentan a la mayoría de la población mundial y a la mayoría de los desnutridos del mundo, sino que también crean y conservan la mayor parte de la biodiversidad del planeta.⁵⁵⁴

Además, las corporaciones han impuesto cierto control en la agenda de investigación y desarrollo agrícolas para satisfacer sus propios intereses, sin dejar de influir en el comercio y en las políticas agrícolas para impulsar su crecimiento y sus beneficios.⁵⁵⁵ A continuación, se presenta evidencia de cómo estas compañías han realizado estrategias que han incluido, una o varias malas prácticas corporativas



como: manipulación de la ciencia, ocultamiento de información, ataques a científicos críticos y periodistas, influyentismo en autoridades regulatorias.

Los *Monsanto papers* y los litigios en contra de Monsanto Company por daños a la salud humana

Monsanto papers

Los *Monsanto papers* son documentos que formaron parte de las pruebas en los juicios más importantes de personas contra la empresa Monsanto Company en EE. UU., por daños punitivos a partir del desarrollo de cáncer. Los documentos fueron obtenidos a través de un procedimiento civil previo al juicio que permite a las partes obtener pruebas entre sí (Discovery).^{556, 557}

En esencia, se trata de comunicaciones internas de la empresa (correos electrónicos internos, mensajes de texto, informes de la empresa, estudios y otros memorandos), donde se muestra cómo, bajo diversas modalidades, la transnacional creó un escenario para hacer pasar su fórmula de herbicida hecho a base de glifosato, conocido *Roundup*®, como inocua, durante cuatro décadas. Es relevante volver a mencionar que más de la mitad del uso global del glifosato se destina a los cultivos GM y que sus volúmenes de aplicación incrementaron 1500% a partir del escalamiento comercial de los transgénicos de soya y maíz, con los que el glifosato guarda una relación indisoluble.^{558, 559}

El bufete de abogados BH Baum Hedlung, uno de los principales grupos que representa a personas de EE. UU. en demandas contra Monsanto, tiene una página en la que es posible acceder a los últimos documentos desclasificados hasta el 2 de diciembre de 2019. Este bufete se especializa en asumir litigios de alto riesgo contra corporaciones por agravios tóxicos, entre otros temas y son la firma que logró ganar por primera vez en la historia un juicio en el que se probó que el herbicida glifosato había causado Linfoma No-Hodkin, un tipo de cáncer de piel, a un jardinero expuesto a este producto, durante 5 años. En dichos documentos se reconoce que:^{560,561}

- Monsanto ocultó, desde la década de 1990, los resultados que su propio consultor obtuvo acerca del herbicida *Roundup*®, que demostraban que causa daño en el ADN y que la absorción dermal de este químico es mayor a las tasas reportadas a las agencias reguladoras.



- Monsanto deliberadamente utilizó la mala práctica científica denominada escritura fantasma (*ghostwriting*) a través de la cual empleados de la compañía desarrollaron manuscritos en los que se afirmaba que el glifosato era inocuo para la salud. Las agencias reguladoras han basado sus conclusiones en este tipo de documento durante años, subordinando la ciencia a los intereses lucrativos de la industria.^{562,563}
- Monsanto está detrás de los ataques que buscan desacreditar a la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC), de la Organización Mundial de la Salud, y sus miembros. Esto se deriva del estudio de este organismo internacional que, en el 2015, concluyó que el glifosato era un probable carcinógeno humano.^{564,565}
- Monsanto orquestó una campaña para desprestigiar al científico francés Gilles-Eric Seralini, quien en 2012 publicó un estudio que mostró cómo el maíz transgénico HT (NK603), más comercializado a nivel mundial, y el glifosato, provocaron el desarrollo de tumores en ratones.^{566,567}
- Monsanto influyó en los funcionarios de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) para lograr que emitieran conclusiones a favor de la seguridad del *Roundup*®. La EPA emitió un proyecto de evaluación de riesgo en el que concluyó que el glifosato no representaba un riesgo serio para la salud humana; actualmente, una Corte de Apelaciones de EE. UU., a partir de una demanda, consideró que la conclusión de la EPA sobre el glifosato era inconsistente y concluyó que la determinación de la EPA no estaba apoyada por evidencia sustancial, por lo que anuló la porción relativa a la salud humana de la decisión de la EPA y ordenó que se realizara un mayor análisis y explicación al respecto, además de que también se volviera a realizar la porción ecológica de la evaluación.^{568,569,570,571,572}

Existe evidencia concisa del conflicto de interés que la empresa Monsanto ha tenido a lo largo de los juicios emprendidos en Estados Unidos, ya que creó una serie de estrategias para mover influencias corporativas y desacreditar los estudios que probaban los daños de sus herbicidas.^{573,574}

Esta “guerra corporativa”⁵⁷⁵ ha tenido los objetivos de neutralizar pérdidas económicas, establecer una perspectiva pública negativa sobre la IARC, fortalecer la posición de Monsanto y sumar asociaciones industriales contra la IARC;⁵⁷⁶ todo esto para proteger la reputación del *Roundup*®, evitar que las declaraciones y



estudios sobre su carcinogenicidad se popularicen y brindar cobertura a las agencias reguladoras para que sigan permitiendo el uso de glifosato. Lo anterior se puede constatar a través de:

- La conformación de una red de socios empresariales^{577,578,579,580,581,582,583,584} que cerraron filas con Monsanto para desacreditar a los científicos de la IARC. En esta red se incluyeron las organizaciones más grandes de la industria alimentaria y de plaguicidas: CropLife International, *Grocery Manufacturers Association*⁵⁸⁵ y BIO; grupos derivados financiados por la industria: *GMO Answers* e *International Food Information Council*; y grupos sin rigurosidad científica: *Sense About Science*, *Genetic Literacy Project* y *Academics Review*,⁵⁸⁶ quienes emprendieron una rigurosa campaña pseudocientífica para desacreditar a la IACR y para defender el uso del glifosato.
- Una serie de documentos revelaron cómo los agentes de relaciones públicas de Monsanto Bruce Chassy⁵⁸⁷ y David Tribe, el ejecutivo de Monsanto Eric Sachs, el ex director de comunicaciones de Monsanto Jay Byrne y el ex vicepresidente del grupo comercial de la industria biotecnológica Val Giddings hablaron abiertamente en correos electrónicos^{588,589,590} sobre la creación de *Academics Review* como un grupo de choque para promover los intereses de la industria. Los responsables de *Academics Review*, Chassy, Tribe, Byrne, Sachs y Giddings, también son miembros de *AgBioChatter*,⁵⁹¹ un servidor de listas privado que es mencionado en el plan de Relaciones Públicas de Monsanto como socio de nivel 2 de la industria. *Genetic Literacy Project*, liderado por el agente de relaciones públicas de la industria química Jon Entine,⁵⁹² también se asoció con *Academics Review* para Promover y mejorar los transgénicos y herbicidas.
- Otro caso significativo que representa la influencia que Monsanto tiene dentro de la generación de artículos fantasma es el de Henry I. Miller,⁵⁹³ un reconocido académico y un defensor de los cultivos genéticamente modificados, al cual Monsanto le solicitó que redactara un artículo para él, mismo que apareció bajo su nombre en el sitio web de Forbes en 2015. Forbes eliminó la historia de su sitio web y dijo que terminó su relación con el Sr. Miller en medio de las revelaciones que surgieron respecto al conflicto de interés.⁵⁹⁴
- Hay otros casos emblemáticos de la participación de algunos científicos con conflicto de interés que usan sus posiciones de autoridad para favorecer a las



empresas ya sea en el cabildeo, fungiendo como sus portavoces o con artículos publicados^{595,596,597,598,599}

Las revelaciones del Tribunal de Distrito de los Estados Unidos para el Distrito Norte de California apuntan a que el ex subdirector de división dentro de la división de efectos sobre la salud de la Oficina de Programas de Plaguicidas de la EPA Jess Rowland,⁶⁰⁰ ha sido clave en los esfuerzos de Monsanto para refutar los hallazgos de la IACR ya que gestionó el trabajo de científicos que evaluaban los efectos sobre la salud humana de la exposición a plaguicidas como el glifosato, además de presidir el Comité de Revisión de Evaluación de Cáncer de la EPA (CARC), que emitió el informe⁶⁰¹ interno en octubre de 2015 que desacreditaba los hallazgos de la IARC.

En este informe se determinaba que el glifosato "no es probable que sea cancerígeno para los humanos". Pero el manejo del informe generó dudas cuando se publicó en un sitio web público de la EPA el 29 de abril de 2016 y se mantuvo en el sitio solo durante tres días antes de ser retirado. Poco después de que el informe fuera eliminado del sitio web de la EPA, Rowland dejó su carrera de 26 años en la EPA. Los abogados de los demandantes solicitaron que Rowland aclarara esa situación y otros tratos con Monsanto, pero junto con la objeción de Monsanto de publicar los documentos relacionados a las conversaciones con Rowland, la EPA rechazó esta misma solicitud.^{602,603}

A partir de estos antecedentes la EPA ha estado bajo escrutinio por sus vínculos con Monsanto.⁶⁰⁴ Un artículo en Environmental Sciences Europe en 2019⁶⁰⁵ documentó cómo la EPA ignoró una gran cantidad de estudios independientes revisados por pares que vinculan el glifosato con el cáncer en humanos; en tanto que la EPA utilizó una investigación pagada por Monsanto para respaldar la posición de la agencia de que el glifosato no es cancerígeno.

A continuación, se muestran las pruebas presentadas sobre las influencias políticas que ejerció Monsanto para favorecer su posición:

86. Email Confirms Monsanto's Efforts to Overcome Regulatory Hurdles Using Political Influence⁶⁰⁶

No: MONGLY01061857

Date: 2/18/2009 – 2/22/2009

Documents Released: 8/1/2017

Este documento contiene correspondencia por correo electrónico entre varios miembros del personal de Monsanto. Demuestra la estrategia adoptada por Monsanto para superar los obstáculos regulatorios mediante el despliegue efectivo de influencia política para garantizar que las autoridades reguladoras "no tengan dudas" con respecto a la seguridad del glifosato



87. *Email Correspondence Further Confirming Monsanto's Close Ties with Former EPA Official, Jess Rowland*⁶⁰⁷

No: MONGLY02162507

Date: 1/15/2010 – 1/16/2010

Documents Released: 8/1/2017

Confirma la relación íntima de Monsanto con el Sr. Rowland de la EPA, quien ayudó a Monsanto a eludir el proceso regulatorio

88. *Text Messages Detailing Monsanto's Collusion with EPA*⁶⁰⁸

No: MONGLY03293245

Date: 2/11/2013 – 3/10/2016

Documents Released: 8/1/2017

Este documento contiene correspondencia de mensajes de texto entre el Sr. Daniel Jenkins, varios empleados de Monsanto y varios funcionarios de la EPA con respecto a los aspectos regulatorios del glifosato

91. *Document Details Monsanto's Goals After IARC Report – 'Orchestrate Outcry with IARC Decision...*⁶⁰⁹

No: MONGLY02913526

Date: 2/23/2015

Documents Released: 8/1/2017.

Este documento detalla una serie de objetivos que Monsanto debe perseguir antes y después de la decisión anticipada de la IARC, demuestra la intención de Monsanto de desacreditar a la IARC antes de la clasificación 2ª del glifosato.

94. *PowerPoint Presentation Showing Monsanto's Efforts to Influence State of California on Glyphosate 'No Significant Risk Level.'*

No: MONGLY03320237⁶¹⁰

Date: 3/24/2015

Documents Released: 8/1/2017.

PowerPoint presentado por Monsanto a la Oficina de Evaluación de Peligros para la Salud Ambiental de California el 7 de octubre de 2015 que refleja un Nivel de Riesgo No Significativo (NSRL) para el glifosato. Demuestra los esfuerzos de Monsanto para limitar la consideración de datos por parte de la OEHHA para determinar el NSRL apropiado a los bioensayos en animales con altas dosis de exposición.

101. *Email Showing Communications Between Monsanto and EPA in Furtherance of Avoiding Roundup and Glyphosate Testing*⁶¹¹

No: MONGLY02060344

Date: 6/24/2015

Documents Released: 3/14/2017.

Demuestra las comunicaciones entre Monsanto y las agencias reguladoras (EPA) en apoyo de los esfuerzos para evitar la evaluación de Roundup® y el glifosato.

106. *Monsanto Executive Confirms in Email to CropLife America That Company Pressured EPA Not to Convene Scientific Advisory Panel on Glyphosate*⁶¹²



No: MONGLY03379079

Date: 2/2/2016

Documents Released: 8/1/2017.

Este documento contiene correspondencia por correo electrónico entre el empleado de asuntos regulatorios de Monsanto, el Sr. Daniel Jenkins, y miembros de Croplife América, en la que el Sr. Jenkins informa a la Sra. Janet Collins (Croplife) que Monsanto ha estado instando a la EPA a no convocar al Panel Asesor Científico para revisar los Documentos temáticos sobre el glifosato de 2016.

Adicionalmente, una investigación de 2022 sobre la forma en la que la empresa Monsanto lleva a cabo sus estrategias de defensa de sus productos analiza las tácticas utilizadas para manipular la ciencia, atacar a científicos y periodistas e influir en las agencias reguladoras para proteger las ganancias.⁶¹³

Juicios contra Monsanto Company, a partir de los daños a la salud ocasionados por el glifosato

Uno de los daños a la salud que han sido mayormente evidenciados por la exposición a glifosato corresponde con el desarrollo del cáncer conocido como Linfoma no Hodgkin.^{614,615,616} En Estados Unidos, la empresa Monsanto, Co. enfrenta más de 125,000 casos de demanda⁶¹⁷ en tribunales estatales y federales por usuarios (agricultores, jornaleros, jardineros, paisajistas y trabajadores del gobierno) del glifosato en su formulación más conocida, *Roundup*®. En todos los casos se vincula el uso del herbicida con el desarrollo de Linfoma No-Hodgkin, sin que la empresa advirtiera de este pernicioso efecto en su etiquetado.⁶¹⁸ En particular, tres jurados de California declararon culpable a la compañía Monsanto, ahora propiedad de Bayer, de haber provocado este tipo de cáncer a los demandantes por su exposición al herbicida glifosato.⁶¹⁹ A continuación, se describen estos casos:

1. Dewayne Johnson^{620,621,622}

El demandante, Dewayne Johnson, era un jardinero que utilizaba el herbicida *Roundup*®, como parte de sus actividades laborales en un distrito escolar. En 2014, cuando tenía 42 años, fue diagnosticado con cáncer tipo linfoma no Hodgkin. En 2015 demandó a la compañía Monsanto y en 2018 el juzgado falló a su favor condenando a Monsanto a pagarle \$289 millones de dólares por daños y compensación. Durante el juicio se determinó que el herbicida *Roundup*® fue el causante del linfoma no Hodgkin en Johnson y que Monsanto no advirtió acerca de los daños a la salud provocados por la exposición a su herbicida.⁶²³ El 10 de agosto de 2018, un jurado de San Francisco ordenó a Monsanto que pagara \$ 39.25 millones de dólares en daños compensatorios y \$ 250 millones de dólares en daños punitivos, tras una serie de apelaciones, el 20 de julio de 2020, un Tribunal confirmó el veredicto contra Monsanto, pero redujo la indemnización de Johnson a \$20.5 millones de



dólares; en agosto de 2020, Monsanto presentó una petición contra esta decisión.⁶²⁴ Finalmente, el 18 de marzo de 2021, la empresa Bayer anunció que no presentará una nueva apelación.⁶²⁵

2. Edwin Hardeman⁶²⁶

A partir de 1980, Edwin Hardeman utilizó *Roundup*® para controlar malezas en su propiedad. A pesar de seguir las indicaciones de seguridad, Haderman desarrolló linfoma no Hodgkin. En 2019, un jurado de Estados Unidos resolvió que el glifosato fue el factor sustancial para que Hardeman de 70 años, desarrollara cáncer. El jurado del caso concluyó que Monsanto fue negligente por no tener un cuidado razonable para advertir sobre el riesgo de desarrollar linfoma no Hodgkin por el uso del *Roundup*®.⁶²⁷ Por este caso se otorgó inicialmente una indemnización para Hardeman de \$5.1 millones de dólares por compensación y \$75 millones de dólares por daños. Posterior a una moción de los abogados de Bayer/Monsanto, el juez modificó la indemnización por daños a \$20 millones de dólares, dejando la indemnización en un total de \$25.3 millones de dólares. El juez que llevó el caso reconoció la conducta agresiva de Monsanto para influir en el discurso científico y en las publicaciones centradas en el glifosato.⁶²⁸

3. Alva y Alberta Pilliod⁶²⁹

Alva y Alberta Pilliod, una pareja de la tercera edad, aplicaron varios días al año y por aproximadamente dos décadas el herbicida *Roundup*® en sus propiedades rurales. Ambos fueron diagnosticados con linfoma no Hodgkin. En 2019 Alva y Alberta Pilliod recibieron inicialmente una indemnización de \$2 billones de dólares. En respuesta a las mociones presentadas por los abogados de la compañía, el juez redujo la indemnización por daños a \$69 millones de dólares.⁶³⁰

En los tres casos expuestos, los jurados consideraron que Monsanto sabía que el herbicida *Roundup*® era peligroso y podría causar daños a la salud, pero aun así procedió a comercializar un producto dañino para la salud humana. Asimismo, los jurados consideraron que Monsanto fue negligente al comercializar el producto sin proporcionar las advertencias adecuadas sobre los peligros por el uso de *Roundup*®, razón por la que se consideró que había actuado con malicia y debería pagar grandes cantidades de dinero por los daños ocasionados.⁶³¹ Ello ha sido señalado en los documentos de estos juicios, por ejemplo:



- La Opinión del Juez R. Nelson, del 14 de mayo de 2021, con número 19-16636, radicado en la Corte de Apelaciones de los Estados Unidos para el Noveno Circuito, en el caso *Hardeman vs la Compañía Monsanto*, se expuso que la compañía había actuado con malicia al ignorar los riesgos carcinogénicos de su marca de herbicida más popular, cuyo ingrediente activo es el glifosato.
- Mientras que, en la Decisión de la Corte de apelación del Estado de California, del Primer distrito de apelación, Segunda división, de fecha 9 de agosto de 2021, con número A158228, en el caso *Pilliod et al. vs la Compañía Monsanto*, fue revelado que la empresa sabía, o era posible que supiera a la luz de la evidencia científica, que su herbicida tenía potencial cancerígeno y que además había trabajado por décadas para suprimir el conocimiento del riesgo.

El informe de la IARC que clasifica al glifosato como “probable carcinógeno en humanos”, fue determinante para los abogados y demandantes en los mencionados procesos judiciales. La evaluación del glifosato por la EPA no fue considerada, ya que no toma en cuenta niveles altos de exposición, ni la exposición a la mezcla comercial, sino al glifosato puro. Tampoco fue necesario probar que el linfoma de un demandante fue causado exclusivamente por las exposiciones a *Roundup®*, sino que fue suficiente con demostrar que la preponderancia de la evidencia científica respalda la conclusión de que las exposiciones al *Roundup®* aceleraron el desarrollo de cáncer del demandante o lo hicieron más difícil de controlar y tratar.⁶³²

Estos no son los únicos casos legales a los que se ha enfrentado Monsanto debido a daños a la salud provocados por el glifosato. En junio de 2020, Bayer anunció que pagaría US\$10.1 millones para resolver los cerca de 125 000 casos por responsabilidad relativa al uso del *Roundup®*.⁶³³ Adicionalmente, la compañía Monsanto ya había sido objeto de consideraciones jurídicas con motivo de la comercialización de productos tóxicos.⁶³⁴

Por otra parte, otras empresas de OGM y plaguicidas han sido también señaladas de malas prácticas científicas, particularmente por ocultar información sobre los daños a la salud causados por algunos de sus productos; la evidencia de estos casos también se obtuvo en procesos judiciales, durante los litigios por daños punitivos.^{635,636,637,638,639,640,641,642}



2.5 Ejemplos sobre regulaciones restrictivas o permisivas para los OGM, transparencia y opacidad bajo el escrutinio científico

Algunas medidas restrictivas para los OGM

Tal como se expuso antes, la liberación al ambiente e importación de OGM no es una práctica ampliamente difundida alrededor del mundo (en 80% no se siembran OGM, 78% no los importan).⁶⁴³

Además, hay varios países que han establecido prohibiciones expresas para la liberación al ambiente, ya sea de manera temporal como Perú⁶⁴⁴ y Suiza;⁶⁴⁵ parcial, como la UE,^{646,647} o total, como Austria,⁶⁴⁸ Luxemburgo^{649,650} y Rusia.^{651,652}

Por otro lado, 64 países han implementado algún tipo de etiquetado obligatorio y trazabilidad, para productos que contienen OGM. Estos países han establecido diversos niveles de tolerancia en cuanto al porcentaje de presencia de OGM en un producto, que varían desde un 0% hasta un 5%; por otro lado, solamente seis países han optado por un sistema de etiquetado voluntario para los OGM.^{653,654} Como ya se explicó, el nivel de consumo de maíz GM en México es muy elevado, por lo que este tipo de medidas resultan insuficientes.

El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología es el principal acuerdo legal internacional para regular los OGM,⁶⁵⁵ pero solo ha sido ratificado por 157 países.⁶⁵⁶ Una característica clave del Protocolo de Cartagena es el principio precautorio que ha sido una guía para abordar la incertidumbre, propia del progreso científico, en virtud de la protección ambiental y de la salud humana.

Algunas medidas restrictivas para el glifosato

En el caso del glifosato, hay una lista amplia de países en los que se ha prohibido o restringido el glifosato, de manera total (Vietnam, Malasia, Sri Lanka, Emiratos Árabes Unidos, Omán, Arabia Saudita, Eslovaquia, Austria, Eslovenia, Alemania, Luxemburgo, Kuwait, Qatar, Baréin); o parcial en algunas provincias/Estados o para determinados usos (Tailandia, India, Dinamarca, Países Bajos, Bélgica, España, Reino Unido, Costa Rica, Argentina, Canadá, Estados Unidos de América, Australia, República Checa, Malawi, Colombia).^{657,658,659,660,661,662,663,664}

En los últimos años, ha destacado el papel de las leyes para promover la creación y el uso de sustancias químicas que sean compatibles con el medio ambiente y la



protección de la salud humana, en lugar de fomentar el uso y la dependencia a sustancias nocivas, como el glifosato.⁶⁶⁵ El efecto de ello es favorable para la población en general, pero especialmente para los grupos sociales que históricamente han estado en condiciones de mayor vulnerabilidad social, ya que la susceptibilidad a la toxicidad de una sustancia química se encuentra relacionada con el grado de vulnerabilidad de un individuo.

Tal como se mencionó antes el Departamento de Salud del gobierno de los Estados Unidos, publicó en 2019 un perfil toxicológico del glifosato que confirmó y apuntaló el reporte publicado por la IARC. Asimismo, en materia ambiental, la *EPA* determinó que el 93% de las especies de plantas y animales bajo categoría de riesgo, así como el 96% de sus hábitats se encuentran en peligro debido a la aplicación del herbicida glifosato en ese país, aun cuando sea utilizado de acuerdo con las recomendaciones de la etiqueta y normativa dedicada al respecto.⁶⁶⁶

El caso de California:

California no ha emitido una prohibición estatal del glifosato. Sin embargo, el 7 de julio de 2017, se convirtió en el primer estado de esa nación en emitir una advertencia sobre el glifosato.^{667,668} La decisión de advertir a los consumidores sobre el glifosato fue conforme a la Ley de Agua Potable Segura y Cumplimiento de Tóxicos, más conocida como Proposición 65 de California,⁶⁶⁹ una iniciativa de votación aprobada por los votantes en 1986 para abordar los problemas de exposición a sustancias químicas tóxicas.

El caso de Florida:

La Comisión de Conservación de Pesca y Vida Silvestre de Florida dejó de usar herbicidas acuáticos, entre ellos el glifosato mientras que se recopilan opiniones del público.⁶⁷⁰

La regulación permisiva bajo el escrutinio científico

A pesar de que algunos patrocinadores y promotores de la biotecnología no se cansen de afirmar que hay un consenso científico sobre la seguridad de los OGM, tal afirmación, a la luz de la evidencia científica, libre de conflicto de interés, resulta completamente ilusoria.⁶⁷¹



Algunos científicos y tomadores de decisiones se han valido tan sólo de su renombre y posición para afirmar que los cultivos GM comercializados e incluso los que aún no se comercializan, son inherentemente seguros para el consumo humano que no tienen por qué ser probado. No obstante, en este punto del documento, queda claro que la supuesta seguridad de los OGM ha sido cuestionada por años de ausencia de pruebas independientes que demuestren fehacientemente la falta de daño. Esto se suma a las malas prácticas de la industria y a un conjunto de evidencia científica que, con el tiempo, ha mostrado diversos efectos perjudiciales de los alimentos GM en la salud animal y su potencial para afectar la salud humana, incluidos los daños inducidos por los plaguicidas asociados a los cultivos GM.

En esta historia, mientras algunos estudios de alimentación animal han mostrado efectos adversos sobre la salud, científicos respetados que llevaron a cabo estas investigaciones revisadas por pares han sufrido maltrato. Esto plantea serias preocupaciones sobre posibles influencias políticas e ideológicas en la ciencia. En las evaluaciones de riesgo, el número de estudios que revelan un riesgo puede ser más significativo que un número mayor de estudios que no lo revelan y cuando hay una controversia sobre el riesgo de un producto de consumo, los resultados negativos deben replicarse para ver si se mantienen a pruebas rigurosas.⁶⁷²

En el caso de los cultivos GM, no se ha seguido esa pauta, éstos siguen en el mercado sin que se haya demostrado que su consumo sea seguro para los humanos. Desde los primeros años de su comercialización había serias preocupaciones en el ámbito científico, donde se llegó a plantear que, ante la falta de certeza en la seguridad de los OGM, lo más razonable sería exigir que todos los productos transgénicos, destinados al consumo humano, fueran sometidos a pruebas de toxicidad y carcinogenicidad a largo plazo, antes de ser comercializados y que lo mejor para la industria sería examinar más a fondo estos productos antes de continuar con su introducción en el suministro de alimentos.⁶⁷³

Casi 30 años después, cualquier afirmación de consenso sobre la seguridad de los OGM no está respaldadas por un análisis objetivo de la literatura científica, por lo que una amplia comunidad de investigadores y científicos independientes realizaron una declaración conjunta en la que se muestra que se ha perpetuado, de manera falsa, un supuesto consenso sobre la seguridad de los OGM para la salud humana, tratándose más bien de una construcción artificial.⁶⁷⁴ Además, la declaración reconoce que las evaluaciones rigurosas de la seguridad de los OGM han estado obstaculizadas por la falta de financiación independiente y por los intereses privados; mientras que la investigación científica enfocada al bien público



está considerablemente limitada por cuestiones de derechos de propiedad y por la denegación de acceso al material de investigación para los investigadores que no están dispuestos a firmar acuerdos contractuales con los desarrolladores, lo que confiere, a los intereses de particulares, un control inaceptable sobre las publicaciones científicas.⁶⁷⁵

Al mismo tiempo, ha habido señalamientos hacia la falta de transparencia y rigurosidad de las instancias regulatorias, cuyo propósito es vigilar la seguridad de este tipo de alimentos, velando en todo momento por la salud humana y la protección ambiental.

Los cultivos GM fueron aprobados para uso comercial, a pesar de que, en aquel entonces, las propias instancias reguladoras reconocían abiertamente que ciertos efectos de los OGM y los alimentos hechos a base de éstos no se podían predecir u observar. Por ejemplo, en 2001, momento en el que los cultivos GM de maíz Bt y soya HT estaban ya sembrándose en EE. UU. para uso comercial, con una tendencia exponencial,⁶⁷⁶ la FDA reconoció que las inserciones de ADN recombinante podían alterar o inactivar un gen importante o una secuencia reguladora, afectando la expresión de uno o varios genes cuando el gen se inserta en una ubicación cromosómica genéticamente activa. Además, se reconocía que los usuarios de estas tecnologías no podían controlar la ubicación exacta en el genoma de la planta objetivo, en la que era insertado el material transgénico.⁶⁷⁷

Mientras que la FAO y la OMS, en esa misma época, reconocían que era poco probable que los estudios epidemiológicos observacionales identificaran los efectos en la salud humana de los alimentos a base de OGM, en un complejo contexto donde también están presentes efectos indeseables de los alimentos convencionales. Añadiendo que “los estudios experimentales, como los ensayos controlados aleatorios (ECA), si se diseñan y realizan adecuadamente, podrían usarse para investigar los efectos a mediano y largo plazo de cualquier alimento, incluidos los alimentos GM. Estos estudios podrían proporcionar pruebas adicionales de seguridad humana, pero serían difíciles de realizar. A este respecto, también es importante reconocer la amplia variación en las dietas y componentes dietéticos de un día a otro y de un año a otro.”⁶⁷⁸

En 1998, la FDA se había visto envuelta en un caso emblemático entre las controversias judiciales relacionadas con los cultivos GM, al haber sido demandada, ante la falta de transparencia en los procesos de aprobación de alimentos transgénicos. A través de este proceso se le obligó a hacer públicos sus archivos



sobre los alimentos GM y salió a la luz pública que la agencia ocultó las advertencias de sus propios científicos sobre los riesgos y potenciales daños de los OGM, en aras de acelerar la entrada de estos productos en el mercado, quebrantando la legislación federal.⁶⁷⁹

Entre los hechos develados, a partir de los documentos desclasificados a través de este litigio,^{680,681,682,683} destacan los siguientes:

- La FDA emitió una declaración de política sobre los alimentos transgénicos en 1992, mucho antes de que alguno estuviera listo para el mercado y también antes de que los reguladores en otras naciones tomaran posiciones oficiales. Esta declaración allanó el camino para la comercialización de estos productos al afirmar que había un consenso abrumador entre los científicos de que son tan seguros que se pueden comercializar sin ninguna prueba.⁶⁸⁴
- La FDA encubrió el hecho crucial de que sus propios científicos habían llegado a la conclusión de que: (a) los alimentos transgénicos conllevan riesgos anormales, especialmente su potencial de efectos secundarios dañinos no intencionales que son difíciles de detectar; y (b) ninguno puede considerarse seguro a menos que haya pasado las pruebas capaces de detectar esos efectos.⁶⁸⁵
- La existencia de las inquietudes del personal científico de la FDA está avalada por un memorando de la responsable de Normatividad que protestó porque la Agencia estaba “tratando de hacer pasar un cubo por un agujero redondo... al tratar de forzar la conclusión de que no hay diferencia entre alimentos modificados por ingeniería genética y alimentos modificados por prácticas de cruce tradicional». Ella declaró: «Los procesos de ingeniería genética y de selección y cruce tradicional son diferentes, y según los expertos técnicos de la Agencia, conllevan riesgos diferentes”.⁶⁸⁶
- Los funcionarios de la FDA sabían que tampoco había consenso sobre la seguridad de los alimentos GM entre los científicos ajenos a la agencia, y esta falta fue reconocida por su Coordinador de Biotecnología en una carta a un funcionario de salud canadiense, donde admitió además que “la cuestión de la posibilidad de que algunas sustancias causen reacciones alérgicas es particularmente difícil de predecir”.⁶⁸⁷

A pesar de todo esto, la FDA continúa presentando opacidad y un enfoque favorecedor para la industria de cultivos y alimentos transgénicos, en detrimento de los derechos de los humanos. Esto puede ser corroborado a partir de un profundo



estudio, de 2016, sobre la regulación de la FDA, en materia de alimentos GM, concluye que:⁶⁸⁸ 1) el escrutinio científico de estos alimentos no es totalmente transparente y parece estar plagado de conflictos de intereses, lo que impide que los fabricantes demuestren efectivamente que son seguros; 2) la FDA omite, dentro de los análisis de seguridad alimentaria, los riesgos propios de los procesos de producción de los cultivos GM, como el uso del glifosato en el 90% de la soya y maíz transgénicos en EE. UU., a pesar de que tiene la autoridad para hacerlo y de la creciente preocupación, tanto de la comunidad científica, como de los consumidores, de que, por lo menos algunos alimentos transgénicos plantean tales riesgos; y 3) la interpretación limitada de la FDA, sobre la información "material" para fines de etiquetado de alimentos, agrava la falta de transparencia en el proceso regulatorio e interfiere con la capacidad de los consumidores para poder decidir lo que consumen y así evitar alérgenos, respetar requerimientos religiosos, implementar opciones éticas personales y evitar riesgos.

Además, las autoras agregan que a pesar de que la FDA cuenta con amplia autoridad para "regular mediante revelación" y etiquetar productos, su proceso permite a los fabricantes evadir la divulgación de la identidad genética de los productos alimenticios, de modo que el proceso sigue siendo opaco y, potencialmente, plagado de conflictos de intereses.⁶⁸⁹

Por otro lado, la coexistencia de alimentos transgénicos y no transgénicos en el mercado plantea un problema de información asimétrica. Los productores conocen la composición de sus productos, pero los consumidores dependen de la información proporcionada por los productores. Los gobiernos deben establecer estándares para garantizar la seguridad contra amenazas a la vida y la salud, así como prevenir la adulteración y el etiquetado incorrecto de los alimentos.⁶⁹⁰

El marco regulatorio que aborda la biotecnología, en el cual la FDA desempeña un papel importante, se enfrenta a desafíos significativos. Estos desafíos se deben a que las leyes existentes son anticuadas y no se han adaptado adecuadamente para abordar de manera efectiva los riesgos específicos asociados con la ingeniería genética.⁶⁹¹ Este hecho ha generado inquietudes sobre los posibles efectos a largo plazo del uso de OMG y su impacto potencialmente adverso en el medio ambiente y la salud de los consumidores.⁶⁹²

Además, los estándares y las regulaciones internacionales que rigen la biotecnología son fragmentarias y no cubren de manera exhaustiva todos los aspectos necesarios para una regulación eficiente.⁶⁹³ Esta fragmentación a menudo



implica que múltiples organismos están involucrados en la supervisión y regulación de la biotecnología, lo que complica la coherencia y eficacia de la regulación en su conjunto. La necesidad de una revisión y actualización integral del marco regulatorio internacional de la biotecnología se ha convertido en una cuestión de importancia crítica para abordar los desafíos emergentes y garantizar la seguridad y protección de los consumidores y el medio ambiente.

En el caso del maíz transgénico existen varias limitaciones técnicas, económicas, regulatorias y sociopolíticas que deben abordarse.⁶⁹⁴ Además, la seguridad del maíz transgénico, en términos de alimentación y aspectos ambientales, es una preocupación importante.⁶⁹⁵ El cultivo comercial de maíz transgénico ha suscitado problemas de seguridad, es crucial contar con regulaciones que tomen en cuenta el impacto de los cultivos GM en la salud humana y el medio ambiente.⁶⁹⁶

En el ámbito ambiental, estas regulaciones deberían considerar factores como la supresión genética, la expresión génica o la posibilidad de resistencia a la proteína Bt.⁶⁹⁷ Asimismo, es fundamental una comprensión compartida de los riesgos de resistencia entre los reguladores gubernamentales, los productores y otros actores para una gobernanza efectiva, y el monitoreo del cumplimiento de los productores con los requisitos de manejo de la resistencia, la vigilancia de la resistencia y los mecanismos para apoyar la implementación rápida de acciones correctivas.⁶⁹⁸

3. Evidencia científica sobre los impactos en el ambiente y la diversidad biológica

3.1 Sobre el ambiente y la diversidad biológica que incluye la riqueza biocultural de los maíces nativos de México

México como centro de origen, domesticación y diversificación del maíz: reservorio genético y legado biocultural que debe protegerse por el bien de la humanidad

El territorio mexicano es una de las regiones con importante riqueza biológica, pluriculturalidad y es uno del centro de origen, domesticación y diversificación genética de alrededor del 15 % de todas las especies de importancia en el sistema alimentario mundial.⁶⁹⁹ Tal como se mencionó antes, México, es centro de origen, y diversificación del maíz.^{700, 701}



Los análisis moleculares han demostrado que la domesticación del maíz ocurrió en Mesoamérica hace, aproximadamente, 9,000 años a partir de una especie anual de teocinte (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), nativa del valle del río Balsas en la vertiente del Pacífico^{702, 703,704} y se difundió y diversificó a lo largo y ancho del continente americano.⁷⁰⁵ La evidencia arqueológica más antigua que se tiene del maíz fue hallada en la cueva de Guilá Naquitz, Oaxaca, la cual tiene alrededor de 6,250 años de antigüedad,⁷⁰⁶ aproximadamente, 700 años más antiguas que los especímenes de maíz más antiguos anteriormente reportados en el Valle de Tehuacán,⁷⁰⁷ las diferentes evidencias encontradas hasta la actualidad, así como los estudios arqueológicos y antropológicos señalan que las civilizaciones mesoamericanas basaban su alimentación y cultura en torno al cultivo de maíz.^{708,709}

Actualmente, en todo el territorio mexicano se concentra la mayor diversidad de maíz del mundo, así como de la presencia de poblaciones de sus parientes silvestres, los teocintes, y otro conjunto de poaceae relacionadas, especies del género *Tripsacum*,⁷¹⁰ que son los parientes silvestres y ancestros del maíz.⁷¹¹

Conforme a la definición establecida en el artículo 1º de la Ley Federal para el Fomento y Protección del Maíz Nativo, en su fracción VII, se entiende por maíz nativo a las razas de la categoría taxonómica *Zea mays* subespecie *mays* que los pueblos indígenas, campesinos y agricultores han cultivado y cultivan, a partir de semillas seleccionadas por sí mismos u obtenidas a través de intercambio, en evolución y diversificación constante, que sean identificadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.⁷¹²

Los maíces nativos se han conservado en las comunidades campesinas por las prácticas de manejo tradicional de selección de semillas que realizan las y los agricultores ciclo tras ciclo agrícola. Dentro del territorio nacional se han reportado 64 razas de maíz de las cuales 59 son nativas de acuerdo con la clasificación más reciente, basada en características morfológicas e isoenzimáticas (genéticas).^{713,714} Dentro de las razas nativas de maíz se mantiene un nivel impresionante de diversidad genética, incluso dentro de una sola raza.⁷¹⁵

Lo anterior, representa un alto porcentaje de las 220 a 300 razas de maíz reportadas en el continente americano.^{716,717,718} Tan sólo en el estado de Oaxaca se ha reportado que se cultivan 35 razas nativas de maíz; es decir, más de la mitad de las razas reportadas para todo el país, lo que resulta de gran relevancia para la conservación *in situ* del reservorio genético más importante de maíz en México.^{719,720} Se ha empleado el término “raza” en maíz para agrupar individuos o poblaciones que





comparten características en común, de orden morfológico, ecológico, genético y de historia de cultivo, que permiten diferenciarlas como grupo.^{721,722,723}

Con base en los caracteres morfológicos, genéticos, de adaptación y de distribución geográfica y a una historia evolutiva común, en México se han agrupado las razas de maíz nativo en 7 grupos o complejos raciales (Tabla 2).^{724, 725, 726,727, 728}

Tabla 2. Grupos raciales y razas de maíces nativos de México.

Grupos raciales	Razas de maíz nativo
Cónicos	Arrocillo, Cacahuacintle, Chalqueño, Cónico, Cónico Norteño, Dulce, Elotes Cónicos, Mixteco, Mushito, Mushito de Michoacán, Negrito, Palomero de Jalisco, Palomero Toluqueño y Uruapeño
Sierra de Chihuahua	Apachito, Azul, Complejo Serrano de Jalisco, Cristalino de Chihuahua, y Gordo
Ocho hileras	Blando y Onaveño, Harinoso de Ocho, Tabloncillo, Tabloncillo Perla, Bofo, Elotes Occidentales, Tablilla de Ocho, Jala y Zamorano Amarillo, Ancho y Bolita
Chapalote	Chapalote, Dulcillo del Noroeste, Elotero de Sinaloa y Reventador
Dentados tropicales	Celaya, Tepecintle, Tuxpeño, Tuxpeño Norteño, Vandeño, Zapalote Grande, Nal-Tel de Altura, Pepitilla, Chiquito, Choapaneco y Cubano Amarillo
Tropicales Precoces	Conejo, Nal-Tel, Ratón y Zapalote Chico
Maduración tardía	Dzit-Bacal, Comitico, Coscomatepec, Motozinteco, Olotillo, Olotón, Tehua, Negro de Chimaltenango, Quicheño, Serrano, Mixeño y Serrano Mixe

La gran diversidad de maíces nativos en México se debe a la permanencia de los sistemas agrícolas tradicionales, en donde se cultivan semillas nativas, principalmente dentro de los territorios y poblaciones campesinas e indígenas,⁷²⁹ así como a los profundos conocimientos y la cultura de estas comunidades.^{730,731,732,733}

Los pueblos indígenas y comunidades campesinas son los principales herederos, custodios y mejoradores del germoplasma de los maíces nativos, en un proceso constante de manejo de la diversidad genética de los maíces nativos de más de 9, 000 años.⁷³⁴ Debido a los procesos de selección campesina continua de las semillas, el maíz es una de las especies con mayor plasticidad genética en términos de adaptación ambiental, capaz de desarrollarse a altas y bajas altitudes, y en climas tropicales, subtropicales y templados.⁷³⁵





El maíz nativo se ha cultivado y expandido geográficamente, cultivándose desde el nivel del mar en las costas de casi todo el continente americano, hasta las tierras altas y montañosas en la región andina, bajo un amplio rango de condiciones agroclimáticas; es decir en un rango de altitud que va de los 0-4,000 msnm.⁷³⁶ El cultivo de maíz se ha adaptado a diferentes contextos ecológicos, incluyendo zonas de escasa precipitación, en regiones templadas, en las faldas de las altas montañas, en ambientes muy cálidos y húmedos, en zonas con suelos escasos, en laderas pronunciadas o en amplios valles fértiles, en diferentes épocas del año y bajo diversos sistemas tradicionales y convencionales de manejo.^{737,738}

En esta gran diversidad de ambientes, las y los agricultores indígenas han acumulado experiencias y generados conocimientos y técnicas de fitomejoramiento durante siglos, logrando adaptar bajo situaciones climáticas extremas, en que se encuentra la mayoría de la agricultura de temporal y conservando *in situ*, la gran diversidad de maíces nativos hasta la actualidad.⁷³⁹

La diversificación del maíz nativo en México se ha derivado principalmente del hecho de que las razas primitivas de este grupo de gramíneas existen como variedades vivas, interactuando con todo tipo y diversidad de maíz. Las variedades de maíz mesoamericanas se han enriquecido con variedades de América del Sur y viceversa; particularmente, los teocintes se han cruzado de manera natural con el maíz, introduciendo nuevas variedades y características en ambas regiones.^{740,741} Así, existe un importante reservorio genético de maíz nativo bajo manejo tradicional por los pueblos indígenas, afrodescendientes y las comunidades campesinas, en continua reproducción dentro de agroecosistemas tradicionales.^{742,743}

Relevancia de la variabilidad genética de los maíces nativos mexicanos ante escenarios de cambio climático

A partir de las ventajas adaptativas de los maíces nativos descritas previamente, podemos afirmar que su variabilidad genética representa un importante reservorio de riqueza biológica y genética colectiva generada y salvaguardada por los pueblos indígenas, afrodescendientes y otras comunidades agrícolas. La conservación *in situ* de este acervo permite el desarrollo del sistema alimentario del país e incluso mundial, pues responde a la necesidad de enfrentar un futuro adverso en el contexto del cambio climático, a nivel global.^{744, 745}





En el caso del maíz, casi todos los tipos tienen variedades precoces, para aprovechar al máximo la humedad y los tiempos de sequía alternadas por mucha lluvia, o bien, para evitar las heladas y variedades de ciclo largo, de mejor productividad; con el fin de asegurar la cosecha, se siembran con frecuencia las dos variantes. Estos procesos se presentan año con año para todos los tipos y variedades nativas vivas. Es decir, el proceso de domesticación y diversificación sigue vivo.

Importancia cultural y biocultural del maíz nativo

El cultivo de maíz ha tenido un papel central en el origen y la difusión de la agricultura y en todas las culturas indígenas presentes en el territorio mexicano.^{746,747} Los diversos grupos culturales de Mesoamérica dependieron, en gran medida, del cultivo de maíz; la gran cantidad de evidencia antropológica, arqueológica, de variedad de metates, comales, herramientas agrícolas y cerámica, dan constancia del profundo valor de este cultivo en el pasado.^{748,749} Y que hoy en día sigue siendo el cultivo central y rector de la alimentación, sociedad, cultura y economía de México.^{750,751} Asimismo, las tradiciones y el conocimiento de los pueblos indígenas de México radican, primordialmente, en la cultura del maíz, reflejado en las preferencias tradicionales, culinarias y religiosas.⁷⁵²

Los productores de pequeña escala suelen preferir sus variedades locales, dadas las ventajas que se han identificado en las razas nativas, que en su mayoría se siembran en los terrenos agroclimáticos con mayores limitaciones agrícolas⁷⁵³. Se puede decir que las comunidades campesinas e indígenas tienen más generaciones de maíz adaptadas a las distintas zonas ecológicas que cualquier otro grupo o institución científica o tecnológica.⁷⁵⁴

Para la sociedad mexicana y la diversidad pluricultural de México, el maíz representa un alimento básico y sagrado, identitario de una cultura.^{755,756} La gran diversidad genética del maíz en México es posible debido a que cientos de variedades nativas se siguen sembrando por razones culturales, sociales, técnicas y económicas.⁷⁵⁷

El sistema milpa está adaptado a una gran diversidad de ecosistemas, donde los agricultores, indígenas o mestizos, mediante su conocimiento y habilidad y con base en sus preferencias, han logrado adaptar y mantener una extensa diversidad de maíces nativos en un contexto biocultural⁷⁵⁸ característico de la agricultura indígena. En ese contexto se mantiene una interconexión entre las plantas cultivadas y sus pares silvestres, de manera que, dentro de las parcelas, es posible encontrar plantas cultivadas, fomentadas y toleradas.⁷⁵⁹



Las milpas representan una expresión biocultural de conocimientos, tecnologías y las prácticas agrícolas que permiten satisfacer las necesidades básicas de la familia campesina.⁷⁶⁰ Gran parte de las variedades de maíz que hoy conocemos se diversificaron en México y Centroamérica, así como en la región Andina.⁷⁶¹ Su gran diversidad se debe no sólo a los distintos climas y ecosistemas, sino también a la presencia de un importante número de pueblos originarios que ha manejado la diversidad genética del maíz por generaciones.⁷⁶²

Resulta fundamental conservar y salvaguardar los conocimientos y saberes tradicionales sobre el uso y manejo de las variedades de maíz nativo, así como las prácticas de guardar e intercambiar semillas dentro de las comunidades, de un ciclo agrícola a otro.^{763, 764} Esto permite que los alelos pasen de una generación a la siguiente, continuando así los procesos evolutivos que sostienen y generan la diversidad genética de los cultivos.^{765,766,767,768,769}

Por otro lado, los agroecosistemas indígenas y campesinos son, en México y en el mundo, representan los reservorios genéticos de la agrobiodiversidad más importante de las plantas domesticadas.⁷⁷⁰ En este sentido, es importante la reflexión sobre la alta relevancia del proceso de mejoramiento genético autóctono de las razas de maíz nativas, cuyos generadores intelectuales y culturales son los colectivos de los pueblos indígenas y comunidades campesinas.⁷⁷¹

Alimentos elaborados a base de maíces nativos en México

El maíz es fundamental para la alimentación del pueblo mexicano, representando cerca de la mitad del volumen total del alimento consumido en el país. Tal como se mencionó antes, el consumo medio *per cápita* de maíz para alimentación humana es de aproximadamente 128 kg/año, la más alta en el continente Americano.⁷⁷² Las numerosas variedades de maíces nativos se utilizan para elaborar, además de la tortilla, una enorme cantidad de preparaciones culinarias tradicionales, lo que hace del maíz uno de los elementos fundamentales de la cocina mexicana. Todas las partes de la planta de maíz se usan de alguna forma, que incluye 605 formas diferentes de cocinar y preparar alimentos a base de maíz (Tabla 3).^{773,774,775}



Tabla 3. Alimentos elaborados a base de maíz

Maíz tierno	Elote, tamales, pan, toqueras de elote, picles de elote, uchepos, cuitlacoche, esquites, pozoles, menudos, chacales, chicales, huachales y sopas. ⁷⁷⁶
Maíz grano	Tlayoyos, memelas, ⁷⁷⁷ tlaxcales, tortillas, ⁷⁷⁸ tlacoyos, sopos, itacates, picaditas, quesadillas, tacos, ⁷⁷⁹ tostadas, ⁷⁸⁰ tlayudas, ⁷⁸¹ remekes, ⁷⁸² totopos oaxaqueños, ⁷⁸³ gorditas, palomitas, totopos, chilaquiles, enchiladas, enfrijoladas, entomatadas, garapaches, panuchos, papatzules, enjococadas, chopas de perico, chalupas, molotes, peneques, tlatloyos, salbutes, nachos, frituras. Tamales: de nixtamal, de cazuela, joroch, nacatamales, <i>kehil hua</i> , <i>buulil hua</i> , zacahuil, pibipollo, <i>tobi holoch</i> , colados, chanchamitos, corundas, agrios, colados, con frijoles, de garbanzo, cacahuate, tortilla, tismiche, ceniza, chaya, juacane, chipilín, de frutas (piña, coco, naranja, almendra, avellanas, ciruela pasa guayaba). Pinos: tascalate, “alfajores”, batarete yaqui, burritos de maíz, manjar de maíz azul, “maría gorda”, melcocha, memenshas, tepopoztes, pemoles, totopos de huetamo, boronitas, buñuelos, gorditas tradicionales, de cuajada, piloncillo, maíz cacahuacintle, gondoche de pabellón, galletas de Zacazonapan, pan de maíz, tortas de maíz, turuletes de maíz, ⁷⁸⁴ ponteduro, ⁷⁸⁵ coricos, ⁷⁸⁶ <i>tzualli</i> , ⁷⁸⁷ palomitas de maíz. ⁷⁸⁸
Bebidas y fermentos	Atoles, puchas o mazamoras, ⁷⁸⁹ atole agrio o morado, ⁷⁹⁰ usua, champurrado, chileatole, cuatole, nicuatole, malarrabia, tanchucúa, nixteme, de pinole, frijol, cacahuate, avellana, frutas, chiles, pepita, aguamiel, coyol, grano, común de sabores varios (chocolate, vainilla, entre otros), ⁷⁹¹ pozol o chorote tabasqueño, ⁷⁹² tejate, chicha, tesguino (teshuino o tejuino), yorique, chilote, elisquiate, menjengue, piznate, ⁷⁹³ sende ⁷⁹⁴ y pox. ⁷⁹⁵

3.2 Evidencia sobre los daños asociados al maíz transgénico, a otros cultivos GM y al glifosato para la riqueza biocultural de los maíces nativos de México, la diversidad biológica y el ambiente

Daños y riesgos para la riqueza biocultural de los maíces nativos y sus parientes silvestres por la liberación al ambiente de maíz GM y el uso del glifosato en México

Evidencia de presencia de secuencias transgénicas en maíces nativos y sus parientes silvestres, de la advertencia del riesgo a la comprobación del daño

Entre 1996 y 1998 habían aumentado las solicitudes para la autorización de ensayos para la siembra de maíz GM y esto representaba un riesgo para la riqueza genética del maíz en su centro de origen y de diversidad genética (CODG).⁷⁹⁶ En esos años se





realizaron algunos foros para discutir los riesgos de la liberación al ambiente de los maíces transgénicos en México, principalmente centrados en: el posible flujo génico entre el maíz GM, el maíz nativo y sus parientes silvestres, y lo que ello implicaría para el CODG; y las características que debían de tener la regulación nacional en materia de bioseguridad y las evaluaciones de riesgo del maíz GM.^{797,798}

A pesar de que se habían autorizado eventos transgénicos de maíz en Canadá, Estados Unidos y México, en estas conferencias se reconocía que en nuestro país la información sobre los impactos potenciales de las plantas transgénicas no estaba disponible; y que era necesaria una “evaluación completa”, contextualizada según las características agroecológicas, socioeconómicas y culturales del país, al contar con una amplia diversidad de razas y variedades, además de dos de sus parientes silvestres del maíz: el teosinte (*Zea mexicana*, *Z. mays ssp. parviglumis*, *Z. perennis*, *Z. diploperennis*) y *Tripsacum spp.*⁷⁹⁹

Entre las conclusiones y recomendaciones más importantes de estos foros encontramos que:^{800,801}

- Ante la introducción del maíz transgénico, la mayor interrogante era el impacto de estas plantas en los agrosistemas de un país con alta diversidad de germoplasma nativo y parientes silvestres, siendo “un problema grave en México debido a la desregulación del maíz transgénico en los Estados Unidos, su proximidad geográfica, sus relaciones comerciales y la importancia del maíz en la agricultura mexicana”
- Era necesario realizar diversas investigaciones, en grupos multidisciplinarios para estudiar los aspectos cuantitativos del flujo genético, la hibridación y la introgresión entre plantas transgénicas, cultivos nativos y sus parientes silvestres, así como la evaluación de los riesgos derivados de esta tecnología, además de consolidar un sistema nacional de bioseguridad.

Es a partir de estas discusiones en el ámbito académico, llevadas al Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola, que se recomendó establecer una moratoria *de facto*, que fue atendida por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagar, hoy Sader), estableciendo la medida de 1999 a 2009, aunque las licencias para la siembra de maíz GM, en fase experimental, comenzaron nuevamente a ser otorgadas desde 2003.^{802,803,804,805}



Al año siguiente de que se impuso la moratoria, las reacciones de los interesados en estos desarrollos tecnocientíficos no se hicieron esperar, un par de académicos argumentaron que no había necesidad de preocuparse ante la posible introgresión de transgenes en el maíz nativo y sus parientes silvestres.⁸⁰⁶ Sus afirmaciones fueron ese mismo año refutadas por un grupo multidisciplinario de investigadores que realzaron la importancia de las medidas precautorias ante la incipiente información científica sobre los impactos potenciales del maíz transgénico en el país centro de origen de esta planta.⁸⁰⁷

En 2001, se publicó un estudio científico en una de las revistas científicas más prestigiosas a nivel internacional, que mostró, por primera vez, la presencia de secuencias transgénicas en: muestras de variedades de maíz nativo provenientes de dos comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca, un estado donde no había habido autorizaciones de ensayos de siembra de maíz GM; y en una muestra de grano de maíz a granel, proveniente de las tiendas locales de la agencia gubernamental Diconsa; todas ellas fueron colectadas en el último trimestre del 2000.⁸⁰⁸ Este acontecimiento reafirmó lo que la comunidad científica y el sector social, a nivel nacional e internacional, habían advertido como posible consecuencia de la liberación al ambiente (intencional, accidental o ilegal) de maíz GM en México.

Mientras la noticia le dio la vuelta al mundo se generaron reacciones contrapuestas.⁸⁰⁹ Al año siguiente, hubo intentos de desacreditar los resultados del estudio de 2001, bajo una serie de suposiciones, referidas en un par de comentarios breves publicados en la misma revista científica, que se basaron en la información conocida sobre el genoma del maíz y en inferencias empíricas con las que se cuestionaban los resultados obtenidos, afirmando que no se trataba de transgenes, sino de artefactos producidos por defectos en la técnica de amplificación del ADN para el análisis de las muestras (reacción en cadena de la polimerasa inversa, i-PCR en inglés).^{810,811}

Las afirmaciones hechas en contra del estudio fueron replicadas por sus autores, quienes aclararon que las críticas planteadas recaían únicamente sobre una de sus conclusiones que explicaron a mayor detalle, además, profundizaron en las características de su investigación e, incluso, aportaron datos adicionales al estudio original.⁸¹² Además, aquel par de comentarios breves fueron objetados por otras personas de la comunidad científica, revelando que detrás de la controversia existían “redes de influencia política y financiera”, dado que los autores de las críticas publicadas habían recibido sendos financiamientos, totales o parciales, para sus



investigaciones por parte de una filial de la empresa de biotecnología agrícola Novartis (ahora Syngenta).⁸¹³

Bajo el escrutinio de la comunidad científica internacional, la controversia fue motivo de análisis, inclusive se cuestionó a los editores de la revista sobre sus propios estándares respecto a los conflictos en temas relacionados con intereses políticos y económicos.⁸¹⁴ En otro comentario se enfatizó que la industria biotecnológica de los OGM se dedica a buscar beneficios, no así los riesgos de los OGM; dicho de otro modo, se realzó que no se esperaba que los científicos de la industria publicaran los experimentos que muestren si los OGM representan un riesgo para el ambiente o la salud humana, dado que sus prioridades son otras, mientras que la búsqueda de los riesgos se deja a otro tipo de investigadores que tienen alguna razón para plantear las hipótesis sobre estos.⁸¹⁵

Está documentado que los investigadores del estudio de 2001, en la Sierra Norte de Oaxaca, mantuvieron comunicaciones previas con autoridades mexicanas (el Instituto Nacional de Ecología, INE; la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Conabio; y la Cibiogem) y que, a consecuencia de ello, se realizaron dos estudios:^{816,817,818,819}

1. El INE y la Conabio condujeron una investigación para corroborar los resultados y para evaluar y cuantificar los niveles del flujo génico entre el maíz transgénico y las variedades nativas; confirmando la presencia de transgenes en el 95% de las localidades muestreadas, con un total de 7.6% de muestras positivas.
2. La Secretaría de Agricultura conformó un Comité *ad hoc* y les encomendó una investigación en la que fueron muestreados maíces nativos de localidades de Oaxaca y Puebla, cuyos análisis también confirmaron la presencia de transgenes en el 40% de las parcelas muestreadas. La versión extensa de esta investigación se ha mantenido oculta.

Por otra parte, hubo investigadores que trivializaron las implicaciones del hallazgo, en términos biológicos, ambientales, sociales y culturales, y aplaudieron la introgresión de transgenes detectada en los maíces nativos, afirmando que no se trataba de una contaminación; según ellos, la propagación no era inesperada, indeseable o incontrolable; y aseguraron que ahora los maíces poseían rasgos que probablemente serían preferidos por los campesinos mexicanos,^{820,821} arrogándose alguna clase de representación de estas comunidades.

Sin embargo, las reacciones de las comunidades campesinas e indígenas no se hicieron esperar en dos sentidos entrelazados: para defender los maíces nativos y



para manifestar su rechazo hacia el maíz transgénico; a la fuerza de las comunidades se sumaron organizaciones sociales y grupos de personas científicas comprometidas.

A través de la publicación digital de una organización social, se reportó que grupos de personas productoras, indígenas y campesinas, con el apoyo de organizaciones no gubernamentales, llevaron a analizar poco más de 1500 plantas de maíz de 104 localidades, en ocho estados de la república mexicana. Los análisis se realizaron a través de pruebas inmunológicas, obteniendo resultados positivos a transgenes en 18 localidades pertenecientes a los estados de Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Chihuahua, Veracruz, Tlaxcala, Morelos y Estado de México; incluso se reportó que varias muestras presentaron la proteína Cry9c, presente en el evento transgénico StarLink que, como vimos en secciones anteriores, desencadena reacciones alérgicas al grado que está prohibido a nivel internacional.^{822, 823, 824}

Estos hallazgos no tuvieron eco en el sector público que los desestimó bajo el “estándar dorado”, por no estar publicados en una revista científica internacional; que tampoco hizo esfuerzo alguno por al menos verificar; y, al mismo tiempo, invisibilizó sistemáticamente las preocupaciones, opiniones y conocimientos de las comunidades campesinas. No obstante, los hallazgos sí impulsaron una movilización a nivel nacional e internacional que pronto se vinculó con organizaciones de bases campesinas, sociales y científicas alrededor del mundo.^{825, 826, 827}

En 2002, 21 comunidades indígenas y campesinas de Oaxaca solicitaron a la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), surgida a partir de la firma del Tratado de Libre Comercio para América del norte (TLCAN), que se realizara un análisis sobre los efectos de la introgresión de secuencias transgénicas en las variedades de maíz nativo, exhorto que fue respaldado por más de 90 cartas de organizaciones e instituciones de los tres países miembros del Tratado.⁸²⁸

La CCA consideró que el “asunto podía revestir gran importancia ambiental, toda vez que México es un centro de origen y diversidad del maíz y el grano está intrínsecamente ligado a la cultura mexicana, sobre todo de las comunidades indígenas”. Fue así como se constituyó un grupo asesor con el mandato de elaborar un informe bajo los más altos niveles de precisión científica y objetividad, transparencia, comunicación y participación, para brindar recomendaciones a los tres países del TLCAN para la definición de políticas.⁸²⁹



En ese marco, se publicó un primer documento⁸³⁰ que abordó, con rigor científico, el asunto de los impactos del maíz transgénico en los aspectos ecológicos, biológicos y de agrobiodiversidad. En éste se recalcó la relevancia de corroborar la presencia de secuencias transgénicas en los maíces nativos de Oaxaca y ampliar las investigaciones a otros estados y se indicó que:

- El movimiento no intencional de los transgenes hacia las poblaciones de maíz, para las cuales dichas transformaciones genéticas no fueron diseñadas, implica riesgos en dos aspectos: la posibilidad de que los transgenes entrasen y persistieran (introgresión) en las razas de maíz nativo y otras variedades cultivadas, así como en sus parientes silvestres; y las consecuencias biológicas de esta introgresión.
- El ámbito de impacto es ecosistémico;
- A través del flujo génico, las variedades transgénicas pueden alterar la biodiversidad por sus efectos en el ambiente y en otras especies no emparentadas (como el teocinte, pariente silvestre del maíz);
- Existe un efecto negativo sobre organismos no blanco destacan aquellos que impactan a los insectos benéficos, polinizadores (el caso más conocido es la afectación a poblaciones de mariposa monarca) y otros organismos que actúan como control natural de las “plagas” blanco de los transgenes.
- Se necesita más investigación sobre los efectos a largo plazo en este caso y otros similares.
- Existen otros efectos como: el potencial de acumulación en el ambiente de ADN recombinante, con implicaciones ecológicas; la transferencia horizontal de cualquiera de las secuencias transgénicas hacia las bacterias, virus u otros organismos; los posibles impactos de nuevos desarrollos en maíz para la producción de fármacos y sustancias de uso industrial; además de incógnitas sobre la inestabilidad genómica de los transgenes. Aquí se señaló la necesidad de mayor investigación al respecto.

Asimismo, se marcó como prioridad extremar las medidas para evitar que el flujo génico alcanzara a más variedades nativas de maíz, así como de los teocintes, además de determinar las dinámicas espaciotemporales de la presencia de transgenes y el origen de éstos. Al respecto, se menciona que una “posible fuente de entrada es la venta en tiendas rurales de granos fértiles de maíz importado, algunos de los cuales provienen de variedades transgénicas desreguladas en Estados Unidos”.

Con estos datos la CCA recomendó en 2004, entre otras cosas: que se mantuviera la moratoria en tanto no se realizaran “investigaciones y evaluaciones adecuadas



sobre riesgos y beneficios de los efectos del flujo de genes de maíz transgénico hacia razas locales y teocinte” y se difundiera más información entre los campesinos y comunidades rurales; que el gobierno mexicano fortaleciera la moratoria al cultivo comercial de maíz GM y evitar la entrada de grano de maíz transgénico viable, así como su siembra; y que debían realizarse investigaciones sobre los impactos a la salud humana, por consumo de maíz GM, que consideraran las características de la población mexicana, cuyo consumo de maíz es muy elevado.

Las investigaciones sobre el tema continuaron, principalmente en manos de personas de la comunidad académica. En 2004, a partir de un modelo basado en las condiciones de producción de maíz en México se mostraron posibles escenarios de dispersión de transgenes, considerando las características de los sistemas tradicionales abiertos con libre intercambio de semillas, concluyendo que el resultado más probable de la liberación de maíz transgénico sería la incorporación de transgenes en el genoma del germoplasma mexicano y posiblemente en el del teosinte, con múltiples implicaciones biológicas, agronómicas, legales y culturales si no se regulaba el maíz GM.⁸³¹ Otro estudio concluyó que los análisis de los posibles impactos del maíz GM y de la diseminación de transgenes debían tener en cuenta las características de las formas de manejo de los agricultores mexicanos, además de señalar la influencia de las condiciones socioeconómicas para la conservación de la diversidad de las razas de maíz en los sistemas agrícolas tradicionales.⁸³²

Por su parte, en 2005, un grupo de funcionarios del INE publicaron un estudio en el que, a partir de nuevas muestras de maíces de Oaxaca, colectadas entre 2003 y 2004, reportaban que no encontraron evidencia de introgresión de transgenes en las variedades locales de maíz en la Sierra de Juárez de Oaxaca. Los autores arguyen que podían descartarse las preocupaciones sobre los efectos no deseados o desconocidos de la introgresión de transgenes en las variedades nativas de maíz, al menos en la región muestreada, y que los transgenes no permanecen en el ambiente debido a procesos sobre los que conjeturan en sus resultados.⁸³³

Nuevamente, la comunidad científica tuvo reacciones que se dejaron ver en publicaciones académicas. Por un lado, salieron un par de reportajes que no fueron más allá de la recolección de unas pocas impresiones y opiniones propias de sus suscriptoras y de otras personas.^{834, 835} Por otro lado, hubo autores se tomaron el tiempo de analizar los métodos y los resultados expuestos en la publicación de 2005, sustentando que las afirmaciones sobre la supuesta no existencia de evidencia de transgenes, a niveles detectables o para su introgresión, en los maíces de la Sierra de Juárez de Oaxaca, no estaban científicamente justificadas dado que: sus



muestras no eran representativas y sus análisis estadísticos no eran concluyentes; existe la posibilidad viable de falsos negativos inherentes a las características del material analizado y de sus procesos de estandarización; no tuvieron en cuenta la reducción de la probabilidad de detección debido a la distribución de frecuencia sesgada esperada de los transgenes, en el área de estudio.^{836,837,838}

En 2005, se publicó la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), apodada “La Ley Monsanto”. Bajo este instrumento, de 2005 a 2012 se otorgaron 196 permisos para la liberación al ambiente de maíz GM, la mayoría en fase experimental, 80% son eventos transgénicos tolerantes al herbicida glifosato.⁸³⁹ Además, de 2005 a 2018 se otorgaron 90 autorizaciones para la importación y uso de maíz GM en grano, 79% son eventos transgénicos tolerantes al glifosato.⁸⁴⁰ Este grano de maíz GM, que se importa a México proveniente de Estados Unidos, tiene potencial germinativo.

Existen tres reportes de 2006 que muestran, respectivamente, la presencia de transgenes: en el estado de Sinaloa, con cinco de 157 muestras de maíces nativos positivas; nuevamente en Oaxaca, esta vez en tres regiones distintas a los estudios anteriores, con muestras positivas en maíces nativos de cinco parcelas de la región de la Sierra Norte; y, también en Oaxaca, colectas provenientes de mercados municipales y locales, tanto de maíz, como de productos alimenticios no industrializados, hechos a base de maíz, revelando secuencias transgénicas en el 76.6% de las muestras.^{841,842,843} En 2007, se publica un nuevo artículo científico que ilustra cómo la dispersión de transgenes puede estar ocurriendo en México, en este caso se detectaron proteínas transgénicas en muestras de maíces nativos provenientes de la zona de conservación de la Ciudad de México, espacio con fuerte presencia de agricultores, que ocupa la mayor parte de la superficie de esta demarcación.⁸⁴⁴

Dos años después sale a la luz un nuevo estudio en el que se confirmó la presencia de transgenes en maíces de las localidades del Estado de Oaxaca donde ocurrió aquella primera detección de 2001. El estudio tuvo un muestreo robusto a partir de colectas realizadas en 2001 y 2002 que comprendían 23 localidades del estado de Oaxaca (con 3 colectas de un mercado local, una tienda de Diconsa y una de la Conasupo, respectivamente) y dos de Puebla; además de un muestreo dirigido, realizado en 2004, en 60 parcelas de las dos localidades del estudio que mostró la contaminación transgénica en 2001. Los análisis de las muestras de 2001 revelan resultados consistentemente positivos para transgenes en los maíces de tres localidades, incluidas las dos del estudio previo de 2001; también, el muestreo



dirigido de 2004 reveló la presencia de ADN transgénico en las muestras de maíces de 18.3% de las parcelas, lo que proporcionó evidencia de la persistencia o la reintroducción de materiales transgénicos en las localidades; sobre este punto las autoras señalan que, aunque se necesitan más estudios al respecto, las reintroducciones son poco probables pues, según la información proporcionada por los agricultores, las semillas de cada lote muestreado prevenían variedades locales; asimismo, los resultados experimentales revelaron la importancia del efecto del muestreo.⁸⁴⁵

Tal como ocurrió antes, hubo choques en la comunidad científica ante estos hallazgos, especialmente por parte del personal del laboratorio privado en el que se realizaron los análisis del estudio de 2005 que había afirmado la inexistencia de transgenes en Oaxaca, a través de una serie de declaraciones nominales. Por el contrario, la investigación fue bien recibida por una de las autoras del estudio del 2005, quien describió al trabajo como una pieza magistral y apuntó la robustez y agudeza del método analítico, tanto en la detección como en el modelo estadístico, además, afirmó que estos nuevos resultados demostraban la presencia de transgenes en las muestras de 2001 y 2004 y con ello resolvían las contradicciones aparentes en la literatura científica, elevando al mismo tiempo el nivel de posteriores estudios sobre el tema.⁸⁴⁶

Las autoras cerraron el debate dando una réplica contundente en la que ampliaron la explicación de sus hallazgos y examinaron a profundidad las declaraciones de los opositores, discerniendo con claridad las cualidades y calidades de los métodos de muestreo y los ensayos de laboratorio utilizados en los estudios sobre este tema, y concluyendo que “el monitoreo del ADN transgénico en el medio ambiente debería ser realizado por instituciones independientes, no comerciales y transparentes con un mandato claro de bien público en lugar de lucro”.⁸⁴⁷

Un reporte expone los resultados del biomonitoreo participativo de milpas tradicionales realizado durante el periodo 2003-2007, encontrando la presencia de proteínas GM en maíces de parcelas de cultivo de localidades de los estados de Chihuahua, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Hidalgo, Tabasco y Chiapas; este es el primer esfuerzo de muestreo extensivo que contó con la participación activa de personas campesinas e indígenas.⁸⁴⁸ En 2010, tenemos un estudio en Veracruz con colectas, realizadas entre 2006 y 2007, de maíces híbridos y nativos en 18 municipios del norte, centro y sur del estado; los análisis exhibieron la presencia de transgenes en las muestras de maíz.⁸⁴⁹



En 2013, se promovió, ante el Poder Judicial de la Federación, una Demanda Civil de Acción Colectiva con pretensiones declarativas sobre el derecho humano a la diversidad biológica de los maíces nativos de México. En esta Demanda se menciona la vulneración de derechos humanos tales como: derecho a un medio ambiente sano, a la conservación, participación justa y equitativa de los recursos naturales, así como a su utilización sostenible que garantice el acceso de la diversidad biológica de los maíces nativos a las generaciones futuras; a una alimentación adecuada, nutritiva, suficiente y de calidad; a derechos culturales y a la salud.⁸⁵⁰ Dado que el tema revestía un problema de interés público relacionado con derechos humanos, un Juez decidió otorgar una medida precautoria, efectiva desde el 17 de septiembre de 2013, logrando impedir la liberación de maíces transgénicos en el campo mexicano, en tanto se resuelva el juicio de acción colectiva.

En los años recientes, ocho estudios más confirman nuevamente la presencia de ADN transgénico en muestras de maíces, en su mayoría nativos, además de la detección en alimentos hechos a base de maíz, granos y harinas. En el primero, de 2017, se tomaron muestras en dos comunidades de Oaxaca, obteniendo lotes de semillas de 40 agricultores y 13 muestras de tiendas y mercados locales; con base en un enfoque estadístico, se mostraron resultados positivos a transgenes en 6 muestras de una de las comunidades: cuatro de ellas eran de agricultores, uno vendía su semilla en la feria de productores más grande del municipio de Ocotlán de Morelos, los otros tres eran vecinos que participan en una red de intercambio de semillas; las otras dos provenían de tiendas locales (Diconsa y un mercado). En este mismo estudio, los autores plantean que los factores sociobiológicos son determinantes para la propagación transgénica dentro de una comunidad, por lo que las prácticas y los arreglos sociales también pueden usarse como un recurso para minimizar el potencial o la escala del flujo transgénico.⁸⁵¹

Un segundo reporte de 2017, indica que se analizaron muestras de maíces, predominantemente nativos, provenientes de 18 estados de la república, con un mayor esfuerzo de muestreo en Nayarit, Michoacán, Oaxaca y Puebla; obteniendo 10.7% de las muestras con resultados positivos a la presencia de marcadores transgénicos correspondientes a 12 estados: Chiapas, Colima, Ciudad de México, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Sinaloa, Tlaxcala y Veracruz.⁸⁵² Además, en 2017 se demostró la presencia de secuencias transgénicas en alimentos hechos a base de maíz, de alta demanda y de fácil acceso (tortillas, harinas, totopos, cereales para el desayuno y botanas), con una frecuencia de 82%.



En el caso de las tortillas, se detectaron transgénicos en 90% de todas las muestras analizadas, además 30% de éstas contenían residuos de glifosato.^{853, 854}

En otro, publicado en 2018, las muestras provenían de comunidades de Chiapas, Ciudad de México, Michoacán, Oaxaca y Veracruz, estados de la República con alta diversidad de variedades de maíz nativo, con frecuencias de 13%, 2%, 5%, 7% y 15%, respectivamente; el tamaño y distribución de las muestras fueron representativos de cada estado.⁸⁵⁵ Y el último de este conjunto, publicado en 2019, identificó la presencia de secuencias transgénicas en 11 de 192 muestras de maíces nativos del estado de Coahuila; revelando la presencia de transgenes a nivel intra e interpoblacional y advirtiendo de una situación crítica al haber una dispersión de las secuencias transgénicas notoriamente amplia en polígonos supuestamente protegidos por su condición de “centros de origen y diversidad”, decretada en el Acuerdo federal en esta materia.^{856, 857}

Con colectas de cuatro estados de la República (53 en Jalisco, 96 en Michoacán, 46 en Oaxaca y 20 en Puebla) se reportó, en 2023, la presencia de secuencias transgénicas detectando el gen *cry1Ab* en todos los estados con 14 muestras en Puebla, 24 en Oaxaca, 8 en Jalisco y 42 en Michoacán.⁸⁵⁸ En ese mismo año, se publicó que dentro de una comunidad de Oaxaca se ubicó la presencia de la secuencia transgénica t-NOS en 8 de 63 muestras; con hallazgos interesantes, a partir de las encuestas a los agricultores, sobre aspectos socio-culturales se identificaron posibles escenarios de la procedencia de los transgenes y se plantearon estrategias comunitarias de bioseguridad.⁸⁵⁹

En este punto, es importante mencionar que la gran mayoría de los estudios aquí referidos, con resultados positivos a la detección de transgenes en las variedades nativas de maíz en México, muestran la presencia de proteínas Cry o de transgenes que expresan la producción de éstas protoxinas insecticidas; mientras que los estudios más recientes ya no sólo se basan en el escrutinio (presencia/ausencia de transgenes), sino que cuantifican la presencia de transgenes de eventos específicos, especialmente los eventos comerciales más diseminados a nivel mundial: MON810 y NK603, resistente a insectos por la expresión de proteínas de acción insecticida y tolerante al herbicida glifosato, respectivamente.

Finalmente, en septiembre de 2024, las investigadoras responsables de un proyecto apoyado por el Conahcyt anunciaron que, a partir de un diseño de muestreo con representatividad a nivel nacional, se colectaron muestras de grano, semilla y harina de maíz, provenientes de centros de acopio, semilleras y harineras, en 23 estados de



la república. Sus análisis revelaron la presencia de transgenes en el 78% de las muestras de grano colectado, 16% de las de semilla y 6% de las harinas; con mayor frecuencia en: Puebla, Hidalgo, Morelos, Estado de México, Guanajuato y Jalisco, tanto para el grano como para la semilla, y en Oaxaca y la Península de Yucatán para las harinas. Además, al momento han analizado el 39% del total de muestras positivas a transgenes, en la búsqueda de residuos de dos plaguicidas altamente peligrosos, detectando glifosato y glufosinato de amonio en el 34% y 5%, respectivamente.⁸⁶⁰

Otros trabajos recientes se han abocado a la revisión y análisis del conjunto de los estudios de biomonitorio, concluyendo fehacientemente que:^{861,862}

- En México, existe la presencia no deseada de transgenes en distintas variedades de maíz; los estudios se han enfocado principalmente en los maíces nativos.
- Existe un gran desconocimiento sobre este fenómeno, a nivel nacional, y su dinámica, debido a la falta de monitoreos sistemáticos; a la fecha, se cuenta con estadísticos representativos de nueve estados de la República.
- Es indispensable que las autoridades en materia de bioseguridad realicen esfuerzos reales con cumplir sus obligaciones de monitoreo, inspección y vigilancia; con el propósito de mitigar el problema de la contaminación transgénica y sus consecuentes repercusiones ambientales, sociales, económicas y culturales, así como de proteger el acervo genético más diverso de maíz en el mundo, en beneficio de toda la humanidad.
- Las estrategias de bioseguridad deben incluir la participación completa y efectiva de las comunidades rurales, en especial las de los pueblos indígenas y los grupos campesinos que, en los hechos, son quienes se ven más impactadas por los daños asociados a los maíces GM y a su paquete tecnológico tóxico, al tiempo que son quienes han conservado y generado la diversidad biocultural de los maíces nativos de México y la riqueza genética de sus agroecosistemas.

Las actuaciones del gobierno federal ante las señales de contaminación transgénica han sido analizadas por integrantes de la comunidad científica.^{863,864,865,866} Algunos autores han apuntado que éstas se caracterizaron como “actuación de seriedad” (*performance of seriousness*, en inglés), en otras palabras, una simulación, sorda a las voces de las comunidades rurales y ciega a la complejidad del funcionamiento de los paisajes genéticos:^{867,868, 869,870}



- Dado que no aterrizaron en estrategias eficaces de bioseguridad, sino en una retórica vacía enfocada en tranquilizar a la sociedad mexicana respaldada: 1) con la elaboración de estudios a modo, sin considerar la amplia gama de datos de detección ni la diversidad de actores y culturas del conocimiento, y 2) con la creación de instituciones y normas que hacen un guiño a los estándares internacionales en materia ambiental y comercial.
- Mientras, basados en el sofisma de la posibilidad de la coexistencia, las acciones devinieron en medidas inútiles e inviables para la protección del maíz nativo y en controles débiles y sin efecto para la atención del problema de contaminación transgénica, pero, favorables para las transacciones comerciales, en especial, para las importaciones de granos provenientes del país vecino del norte.
- Contribuyeron a la imposición de una cultura hegemónica que se definió como “ciencia sólida” con metrologías y estándares serviles a la industria biotecnológica, cuyas dimensiones epistémica, ontológica y socioecológica resultan discriminatorias y hostiles para las culturas de las comunidades campesinas de México.
- Descuidaron por completo las voces de las comunidades rurales, ignoraron el funcionamiento dinámico, biocultural y extensivo de tipo red de los paisajes genéticos, y la fluidez y diversidad de los genomas del maíz.

No es posible la coexistencia de los maíces transgénicos con los nativos, tampoco con las plantas que son parientes silvestres o con las variedades híbridas, llamadas mejoradas.^{871, 872} La contaminación transgénica se da por:

1. El sistema de reproducción del maíz y la movilidad del polen de maíz. Esto hace referencia a que el polen puede viajar por varios cientos de metros por la acción del viento.
2. La distribución de razas nativas en el territorio nacional. Debido a que en todos los estados de nuestro país existen maíces nativos, estos quedan expuestos a la contaminación transgénica.
3. Las prácticas culturales de pueblos y comunidades indígenas, así como campesinos, conlleva un intercambio de semillas, dinámico y fluctuante, que implica su movilización en el territorio mexicano y en otros países, lo que ha permitido históricamente la diversificación del maíz. Si en el intercambio existen semillas contaminadas con transgenes, es probable que se esparza la contaminación a otros sitios de siembra.



4. El traslado de semillas transgénicas para su comercialización y procesamiento no garantiza que estas lleguen a su destino sin que haya fugas o derrames accidentales de este producto.
5. Posible siembra ilegal de maíz transgénico.

En paralelo al estudio de la presencia de transgenes en las poblaciones de maíz nativo y sus parientes silvestres, en estos años, se fortalecieron las hipótesis sobre la dinámica de las semillas de maíz y los mecanismos de dispersión de genes foráneos, como los transgénicos, en ellos podemos encontrar coincidencias respecto a que:

873, 874, 875, 876, 877

- La introducción de germoplasma foráneo en las comunidades es un fenómeno fluctuante que atiende a diferentes necesidades y costumbres, asociados a fenómenos económicos y sociales y aspectos culturales.
- Las semillas foráneas representan una fracción reducida en los lotes manejados por la mayoría de los agricultores tradicionales, aquellas que tienen alguna característica preferencial se difunden rápidamente.
- La pequeña fracción de las semillas introducidas contribuyen a la variabilidad en forma de diversidad de tipos maíz o a través de la introgresión a las variedades locales por hibridación.
- El flujo génico entre materiales introducidos y poblaciones nativas de maíz representa un medio efectivo para diseminar transgenes en caso de que estos estén en los granos de polen.
- Hay altas posibilidades de que la incorporación de semillas foráneas y las prácticas de manejo de las y los campesinos pudiera favorecer el flujo génico de los transgenes.
- El flujo de semillas entre los agricultores conduce a una difusión mucho más amplia de transgenes que lo esperado sólo por el movimiento del polen.
- Los planteamientos teóricos respecto a la eliminación de transgenes deben considerar las complejidades ecológicas, al tiempo que deben explorarse los procesos evolutivos y las prácticas agrícolas que podrían contribuir a reducir la contaminación transgénica de las poblaciones nativas de maíz.
- Existen potenciales efectos negativos de la liberación al ambiente del maíz GM en México para la diversidad biológica y cultural.
- Las decisiones de las autoridades sobre la importación y la circulación de materiales transgénicos en el territorio nacional influyen en forma determinante en el problema de la contaminación.





- Es necesario que la normativa en materia de bioseguridad incluya medidas que garanticen la protección de las especies de las que nuestro país es centro de origen y diversificación.
- Se ha demostrado la imposibilidad de la coexistencia entre el maíz GM y las variedades mexicanas (nativas, híbridas y sus parientes silvestres) sin que se presente contaminación transgénica.
- Es necesario considerar otros factores en los análisis, tales como los cambios socioeconómicos (p. e. la migración, la liberalización del comercio y la falta de apoyo a los agricultores mexicanos).
- Es necesario insistir en las conclusiones y recomendaciones reportadas en el informe de la CCA, en especial acerca de la moratoria y su expansión hacia las restricciones de la importación de grano de maíz GM viable.

Efectos sobre la riqueza biocultural

Tal como se ha visto hasta ahora, en México, el maíz tiene un gran valor cultural, biológico y económico debido a su largo camino de domesticación, diversificación y cultivo,⁸⁷⁸ que data de tiempos ancestrales y está presente hasta nuestros días. Además de ser en el país la principal fuente de alimento,⁸⁷⁹ el maíz ocupa más de la mitad del área total sembrada en México,⁸⁸⁰ ya que sustenta una forma de vida articulada entre la cultura y la naturaleza.⁸⁸¹

El cultivo del maíz se ha preservado a lo largo de diversas generaciones, depositado en gran medida en comunidades, mayoritariamente indígenas, o por pequeños agricultores quienes, a través de su cultura, técnicas, tecnologías, saberes y conocimientos, han garantizado la permanencia y mejora de este cultivo,⁸⁸² que se remonta aproximadamente a más de 9 mil años⁸⁸³ manteniendo distintas variedades, diferenciándose por su color, textura, sabor y peso. Tales variedades se han ido adaptando a las diversas condiciones de crecimiento desde bosques mesófilos de montañas hasta las costas.⁸⁸⁴ Ello representa que los agricultores tradicionales e indígenas sean los custodios de la biodiversidad del maíz nativo⁸⁸⁵ y que su defensa conlleve a la preservación de la propia identidad.⁸⁸⁶

El cultivo del maíz nativo ha persistido a pesar de que en los últimos 30 años se presentó una tendencia al abandono de las tierras y prácticas tradicionales⁸⁸⁷ por el fomento de las semillas híbridas, los proyectos y consecuencias de la llamada “Revolución verde” de los años 60 y 70, los efectos de la liberalización de las importaciones de maíz amarillo, esencialmente transgénico y de baja calidad



nutricional, entre otras razones.^{888,889} En el país, más del 40 % de la mano de obra agrícola total se dedica al cultivo de este maíz.⁸⁹⁰ La existencia de 59 razas nativas de México⁸⁹¹ se debe a diversos factores, los cuales están relacionados con la importancia biocultural que tiene el maíz. Hay una preferencia culinaria por las variedades nativas, por su uso ritual empleado en diversas ceremonias y festividades,⁸⁹² las técnicas de manejo, las formas de aprovechamiento,⁸⁹³ así como su empleo medicinal,⁸⁹⁴ entre otros.

El maíz, culturalmente, es un elemento fundacional, existen testimonios en restos arqueológicos y códices como en el Florentino o Mendocino⁸⁹⁵ o los procedentes de Calakmul⁸⁹⁶ de su empleo. Un ejemplo lo tenemos en las culturas mayas, el maíz es la base de su estructura social, la religión y está presente en general en el diario vivir. Expertos han considerado que el calendario maya se desarrolló a partir de la agricultura del maíz⁸⁹⁷ por lo que este grano es fundamental desde el mito de origen, el conteo del tiempo, hasta su producción material.⁸⁹⁸

Con relación al maíz como alimento, este se prepara fresco como elote o seco Tabla 3. La tortilla es la principal forma de elaboración como alimento, se considera el sostén de primera necesidad del 94% de la población mexicana, principalmente en las zonas rurales, donde su consumo es de 328 g diarios *per cápita*, ello hace que los mexicanos seamos los principales comensales de tortilla en el mundo, con un consumo cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas al año.⁸⁹⁹

En cuanto a lo biológico, los sistemas tradicionales como las milpas han desempeñado un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, porque conservan especies locales, cultivos nativos y germoplasmas.⁹⁰⁰ La observación, creatividad, experimentación y necesidad a lo largo del tiempo ha generado diversas adaptaciones de la propia milpa y con ello el cuidado de la naturaleza, un ejemplo de ello son las Milpas Intercaladas con Árboles Frutales (MIAF),⁹⁰¹ o las milpas con distinto grado de manejo de animales y plantas,⁹⁰² lo cual es una sinergia de la milpa tradicional y de diversos elementos bioculturales.

El entender, valorar y proteger los sistemas alimentarios locales, es decir, hacer el inventario de la diversidad de los recursos comestibles reales y potenciales disponibles, sus contribuciones nutricionales, los significados culturales y el contexto circundante a los ecosistemas, los paisajes que forman, los sistemas agroforestales, las especies y las variedades empleadas⁹⁰³ es uno de los primeros pasos para la comprensión y fortalecimiento de una soberanía alimentaria.⁹⁰⁴



No obstante, los complejos procesos políticos globales, de la mano de la priorización de un sistema económico que tiende a desvalorizar o monetarizar todos estos elementos, han puesto en riesgo los sistemas agroalimentarios, modificando la alimentación tradicional, sustituyéndola por alimentos procesados que, en la mayoría de los casos, no están elaborados a base de maíz.⁹⁰⁵ Este hecho, junto con otros factores como el abandono del campo, la pérdida de memoria biocultural y el cambio climático, son un factor de riesgo para la conservación de los maíces nativos.^{906, 907}

En términos generales, las fuentes disponibles de información globalizan al maíz blanco de México como equivalente a maíz de consumo humano, porque esa es la categorización internacional. Se invisibiliza que los maíces para consumo humano tienen diferentes coloraciones (blancos, cremosos, amarillos, azules, morados, negros, rojos, pintos, rosas, estriados, etc.) y texturas. Todos estos maíces nativos son erróneamente globalizados en las estadísticas como maíz blanco y demeritadas en su precio por sus coloraciones diferentes al blanco.

Estos maíces nativos son insustituibles para la cocina pluricultural mexicana, ningún maíz importado, blanco o amarillo, sirve para elaborar alguno de los diferentes preparados alimenticios a base de maíz, con la calidad organoléptica habitual y tradicional que hay en México. Por ejemplo, las tortillas en general, las tortillas, las tlayudas, el totopo Oaxaqueño, los tamales, el pozole, etc., así como bebidas como el pozol, el tejate, el tejuino, el tascalate, etc.

El maíz amarillo transgénico importado tiene uso forrajero en el país, así como en la industria de almidones, combustibles y otros usos. No obstante, tal como se mencionó antes, una investigación de 2018⁹⁰⁸ mostró que 82% de los alimentos derivados de maíz (tortillas, tostadas, harina, cereales y botanas) colectadas en supermercados, mercados y otros espacios de venta, contienen secuencias de maíz transgénico; particularmente, el 90.4% de las tortillas estudiadas contuvieron secuencias recombinantes de maíz transgénico, mientras que el 60% de esas muestras presentaron residuos de glifosato.

Al mismo tiempo, existe una estrecha relación entre los daños ambientales y los efectos adversos en las dinámicas sociales y económicas de una población. Las consecuencias socioeconómicas y culturales derivadas del uso de plaguicidas tóxicos como el glifosato pueden transformar drásticamente la vida de una región entera.⁹⁰⁹



Es importante destacar que la pérdida o desuso de las formas tradicionales de producción y, por ende, la disminución de la diversidad en la producción ha generado una homogeneización de los cultivos ha dejado de responder a las necesidades alimentarias locales y nacionales, dirigiendo la producción hacia el mercado internacional.⁹¹⁰

Las comunidades rurales son directamente afectadas por el uso del glifosato y otros pesticidas, a lo que se suma la baja generación de ingreso, las pocas oportunidades comerciales y las escasas fuentes de trabajo.⁹¹¹ La agricultura campesina, con diferentes dinámicas de producción ha sido impactada de forma negativa durante varias décadas por la agroindustria.⁹¹² En consecuencia, se han ido perdiendo prácticas tradicionales que permitían la recuperación de la funcionalidad de los ecosistemas.⁹¹³ En este sentido, la agricultura industrializada, pone en riesgo la riqueza biocultural y la agrobiodiversidad de cultivos tradicionales en México, provocando una reducción en el consumo de diversas especies en muchas zonas rurales,⁹¹⁴ alimentos que han sido parte de la base alimentaria y en otros casos, aprovechadas con fines medicinales y artesanales durante muchas generaciones, ya que se va limitando la disponibilidad de arvenses útiles para las comunidades.^{915, 916, 917}

Daños y riesgos para el ambiente y la diversidad biológica por la liberación al ambiente de maíz GM y el uso del glifosato

Ambiente

La producción de maíz transgénico se lleva a cabo mediante prácticas de monocultivo que son extensivas, en términos de uso de suelo, y altamente demandantes de recursos. La expansión de la frontera agrícola industrial de cultivos GM, ha implicado procesos de degradación ambiental, impactando el hábitat de diversas especies animales y vegetales, lo que resulta en la disminución de la biodiversidad. Además, estas prácticas propician el surgimiento de plagas y enfermedades, lo que aumenta los riesgos para la agricultura. Aunado a lo anterior, la producción de maíz transgénico genera una significativa emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático.^{918,919}

Asimismo, tal como se mencionó previamente, a nivel mundial se ha incrementado significativamente el uso de glifosato, asociado a la expansión de la agricultura industrial y al aumento de los cultivos transgénicos.^{920,921} No obstante, el monitoreo de los efectos ambientales de los HBG no se ha realizado consistente o





sistemáticamente, además, es común la ausencia de datos precisos sobre las cantidades de herbicidas hechos a base de glifosato que se venden o aplican en las regiones agrícolas en el mundo.⁹²²

Así, el expandido uso del glifosato en la agricultura también ha causado problemas ambientales, con efectos directos e indirectos, que han impactado considerablemente a la biodiversidad y los ecosistemas, particularmente, los efectos reportados implican afectaciones en la estructura y composición de las comunidades bióticas, alteraciones en las redes tróficas, así como daños de diversa índole sobre los nichos ecológicos y los hábitat de distintas especies, incluyendo aquellas consideradas de alta importancia para mantener el equilibrio ecológico del planeta, así como para el funcionamiento de los sistemas agroalimentarios, como los polinizadores y, de manera generalizada, los insectos.^{923, 924}

Impactos en suelo y agua

La introducción de transgénicos tolerantes a herbicidas ha llevado al aumento en el uso de glifosato. Esto ha ocasionado efectos indirectos en la ecología del suelo. Los cultivos GM y su paquete tecnológico asociado, que incluye plaguicidas altamente peligrosos como el glifosato, afectan negativamente a los microorganismos del suelo (hongos, bacterias, entre otros.), incluido el microbioma beneficioso que descompone la materia orgánica y ayuda en la descomposición de residuos vegetales; se altera la estructura y la salud del suelo, a largo plazo.^{925, 926, 927, 928, 929}

Se ha reportado que la persistencia de protoxinas Cry, contenidas en las plantas transgénicas Bt, afecta las interacciones con las bacterias, hongos y otros microorganismos del suelo, cuyo papel es fundamental en la descomposición de materia orgánica y en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, lo que ha traído consecuencias en la estructura y la funcionalidad de las comunidades microbianas.^{930, 931} Estas toxinas impactan la diversidad de organismos en el suelo, incluyendo a aquellos que desempeñan roles importantes en la regulación de plagas, como nematodos depredadores tales como *Caenorhabditis elegans*, *Eisenia fetida* y ácaros del suelo.^{932, 933, 934, 935} Algunos han indicado que la especie *C. elegans* presenta cierta sensibilidad a la proteína Cry1Ab del maíz transgénico Bt con afectaciones en el crecimiento y la reproducción.^{936, 937}

Los hongos parecen ser los organismos más afectados por las proteínas Cry en el suelo. La pérdida de hongos simbiotes en las raíces del maíz afecta la nutrición de la planta, además de que las hace más susceptibles a las plagas de insectos porque,



sin micorrizas, se presenta una disminución en la presencia de enemigos naturales de las plagas.⁹³⁸ Por ejemplo, se ha mostrado que los eventos de maíz transgénico Bt 11 y Bt 176, y sus residuos, disminuyeron la colonización micorrícica y afectaron negativamente al establecimiento de estos organismo por parte de endófitos autóctonos.⁹³⁹

En Estados Unidos se evaluaron los efectos del maíz Bt y sus residuos, en comparación con maíces no GM, en las comunidades eubacterianas rizosféricas, en el simbiote micorrícico *Glomus mosseae* y en la respiración del suelo. Los experimentos mostraron diferencias en las comunidades de eubacterias rizosféricas asociadas a las líneas de maíz y un nivel significativamente inferior de colonización micorrícica en las raíces del maíz Bt. En experimentos en invernadero, se detectaron diferencias entre las plantas de maíz Bt y no Bt en las comunidades de eubacterianas rizosféricas (tanto totales como activas), en las bacterias heterótrofas rizosféricas cultivables y en la colonización micorrícica. Además, los residuos vegetales de plantas transgénicas afectaron a la respiración de los organismos del suelo, a las comunidades bacterianas y al establecimiento de micorrizas por endófitos autóctonos.⁹⁴⁰

Por otro lado, en ambientes contaminados, parece haber un efecto sinérgico de los maíces transgénicos, pues se ha detectado que, en suelos contaminados con Cadmio, el maíz transgénico respondió de manera diferenciada a la inoculación de hongos micorrícicos, con una colonización del 14 al 33 %, mientras que el maíz no transgénico tuvo colonización micorrícica del 32 al 74 %.⁹⁴¹

En cuanto al glifosato, luego de su aplicación sobre los cultivos o las hierbas, su vía más frecuente de degradación es a través de los microorganismos, que transforman la molécula de glifosato en AMPA.⁹⁴² En distintos reportes se ha observado que la toxicidad asociada al AMPA es similar o mayor que la del glifosato,^{943,944,945,946} además de que tiene una mayor persistencia y movilidad en los cuerpos de agua y en suelos, por lo que tiende a acumularse durante más tiempo y, por tanto, a ser una fuente de exposición continua para los organismos presentes en suelos y agua contaminada.^{947,948,949,950}

También, se ha encontrado que tanto el glifosato como el AMPA son actualmente contaminantes ambientales muy extendidos que se encuentran en la atmósfera, los suelos, diversos sedimentos y ecosistemas microbianos (como biopelículas y tapetes microbianos), en una amplia gama de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, incluso en agua potable, en entornos urbanos, periurbanos y



agrícolas, así como en ambientes marinos.^{951,952,953,954,955,956,957} Adicionalmente, la acumulación del glifosato en fuentes de agua aumenta cuando las formulaciones contienen agentes surfactantes como el POEA y numerosos estudios han detectado también esta sustancia en plantas, suelo y agua, junto con el propio glifosato y el AMPA.^{958,959,960,961}

En un estudio de 2017, en el que se analizó la presencia de glifosato y AMPA en tierras de cultivo de la Unión Europea, se encontró que el glifosato y el AMPA estaban presentes en el 45% de los suelos muestreados, provenientes de once países y seis sistemas de cultivo.⁹⁶² Otro estudio de 2020, enfocado en analizar el riesgo ambiental global por el uso de glifosato, demostró que el 30 % de la superficie agrícola mundial presentó niveles detectables de glifosato como contaminante persistente, mientras que el AMPA fue persistente en el 93 % de esta superficie⁹⁶³. El periodo de vida media del glifosato, antes de degradarse y convertirse en AMPA, es de entre 2 y 215 días y presenta una vida media en suelo de 6 a 20 días y en agua de entre 2 y 91 días.⁹⁶⁴

Una vez acumulados en suelos y agua, el glifosato y su metabolito están expuestos a distintos fenómenos de transporte y movilización, lo que expande la contaminación ambiental, incluso a regiones en donde no se practica el uso de estos herbicidas. Diversos estudios experimentales y de seguimiento recientes confirman la movilización de glifosato y AMPA a través del viento y el agua.^{965,966,967,968} Bento y colaboradores demostraron en un experimento con un túnel de viento que los contenidos de AMPA y especialmente de glifosato eran particularmente altos en las fracciones de partículas más finas del suelo, que los humanos podemos inhalar directamente.⁹⁶⁹ Se han observado diferencias, según los sistemas de cultivo y los tipos de suelo, en cuanto a potenciales de transporte de glifosato y AMPA: los cultivos industriales no permanentes y los tubérculos muestran un mayor potencial de movilización, a través de la erosión causada por el viento, mientras que los cultivos permanentes y los cereales presentan las mayores movilizaciones a través de la erosión hídrica.⁹⁷⁰

Respecto a la situación nacional, reportes han demostrado la acumulación del glifosato en suelos y cuerpos de agua. Por ejemplo, en un estudio en colaboración entre Rendón von Osten y Arellano, se reportó la presencia de glifosato en aguas costeras de la Península de Yucatán, particularmente, en las cercanas a los sitios en donde hay mayor concentración de zonas agrícolas.⁹⁷¹ El glifosato puede filtrarse fácilmente al acuífero subterráneo, en el caso de Yucatán hay una extrema vulnerabilidad por las características del suelos y el anillo de cenotes





interconectados por canales subterráneos que transportan el agua llegando hasta la costa del golfo de México.^{972,973}

En otro estudio de Rendón se detectó glifosato en el agua subterránea y el agua para beber, en localidades de Hopelchén, Campeche.⁹⁷⁴ Por su parte, Ruiz Toledo y colaboradores encontraron el herbicida en diversos cuerpos de agua en Chiapas, algunos de estos al interior de Áreas Naturales Protegidas (ANP), además de pozos de agua para consumo humano.⁹⁷⁵

Esta acumulación ocurre también en el norte del país. Resulta preocupante que el glifosato se ha detectado en regiones terrestres prioritarias en donde no se practica la agricultura, tal es el caso de la región de distribución del perrito de las praderas en los estados de Coahuila y Nuevo León. Las muestras de suelo colectadas en Nuevo León presentaron concentraciones altas de glifosato, desde 5.9 hasta 13.5 mg/ga; las muestras de agua también presentaron concentraciones altas, incluso mayores a las permitidas por la agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos, establecida en 700 µg/L para agua potable.⁹⁷⁶

En cuanto al suelo, pese a que en un principio se argumentó que el glifosato actuaba únicamente sobre los organismos vegetales, afirmación que aún persiste en algunas comunidades académicas y en ciertas esferas del sector agrícola, actualmente, se sabe que la vía del shikimato está presente también en los microorganismos. El glifosato altera el crecimiento y la actividad microbianas en las especies procariontes susceptibles presentes en los suelos, además de facilitar la acumulación de shikimato en estos sitios.^{977,978,979,980} Se ha reportado que el glifosato es tóxico para bacterias y hongos presentes en los suelos, además de que las poblaciones de estos microorganismos se reducen al aumentar la concentración del herbicida.⁹⁸¹

Particularmente, existe evidencia sobre los efectos negativos del glifosato sobre las comunidades microbianas de la rizosfera, ciertas bacterias como las pseudomonas, involucradas en los ciclos de nutrientes en el suelo, como el carbono y el nitrógeno; así como en la producción del ácido indolacético, el cual es una de las fitohormonas más importantes para el desarrollo de las plantas.⁹⁸² Otras afectaciones a bacterias de la rizosfera se han documentado sobre el grupo las acidobacterias, las cuales reducen su abundancia relativa en ambientes con uso excesivo de glifosato, por ejemplo, en cultivos de maíz y soya transgénicos HT. Esta reducción se traduce en la disminución de procesos biogeoquímicos importantes para el crecimiento de las plantas.⁹⁸³





Otras bacterias de suma importancia en la agricultura son las que engloba el grupo llamado rizobia, el cual alberga a más de 35 especies en México, principalmente, de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* y *Mesorhizobium*; su importancia radica en la capacidad que tienen para fijar Nitrógeno atmosférico, cuando establecen relaciones simbióticas con plantas leguminosas y forman nódulos en sus raíces.⁹⁸⁴ En un estudio reciente, se encontró que el glifosato es inhibidor de crecimiento de la rizobia en los nódulos de las raíces de plantas de soya GM. La soja resistente y tratada con glifosato presentó menor contenido de clorofila, masa radicular, masa de nódulos, Nitrógeno total de la planta y actividad de la enzima nitrogenasa.⁹⁸⁵

Biodiversidad

La adopción generalizada de maíces transgénicos puede llevar a la pérdida de biodiversidad en los agroecosistemas. Esto podría tener implicaciones a largo plazo para la capacidad de los cultivos para sobrevivir a enfermedades, así como a su adaptabilidad.⁹⁸⁶ En este aspecto, se ha observado que plantas tratadas con glifosato resultaron más susceptibles a patógenos.⁹⁸⁷ La introducción de cultivos GM de tipo HT provoca cambios en la abundancia de arvenses, lo que a su vez afecta la disponibilidad de semillas, un importante recurso alimenticio para las aves de las tierras de cultivo.⁹⁸⁸ Las abejas también son afectadas por la disminución en la diversidad de arvenses debido a la disminución en la riqueza y abundancia de recursos florales, como el néctar y polen de dichas plantas.⁹⁸⁹

La plantación masiva de monocultivos transgénicos implica el flujo de genes entre los cultivos transgénicos, los no transgénicos y los parientes silvestres, el desarrollo de resistencia a los insectos y los impactos en la fauna del suelo y los organismos no objetivo.⁹⁹⁰ Particularmente, existe preocupación por el flujo de información genética que puede afectar a la biodiversidad.⁹⁹¹ Asimismo, la introducción de maíces transgénicos puede alterar el equilibrio ecológico en los agroecosistemas al afectar a organismos no blanco.^{992,993,994,995}

Por su parte, la acumulación y persistencia del glifosato, con la consecuente generación de AMPA, puede alterar la estructura y composición de las comunidades acuáticas y terrestres, lo que implica un riesgo ecológico notable que puede causar graves afectaciones a la biota que habita los ecosistemas.⁹⁹⁶ En el marco de la revisión necesaria para renovar el registro de herbicidas a base de glifosato, llevada a cabo cada 15 años por la EPA, se determinó que el 93% de las especies de plantas y animales (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos)



contenidas en el Acta de Especies en Riesgo (ESA) de ese país, así como el 96% de sus hábitats, se encuentran en riesgo debido a la aplicación del herbicida glifosato en ese país, aun cuando sea utilizado de acuerdo a las recomendaciones de la etiqueta y normativa dedicada al respecto.⁹⁹⁷ Lo reportado por la EPA, implica que la sobrevivencia de 1,800 especies de plantas y animales estaría comprometida por el uso actual que se hace de este herbicida que, por décadas, fue considerado por este mismo organismo como amigable con el medio ambiente.

Múltiples investigaciones científicas han demostrado cómo el uso de glifosato en distintos cultivos alrededor del mundo tiene efectos directos e indirectos sobre las poblaciones de diversos organismos no blanco, desde microorganismos como algas y protozoarios, así como hongos y bacterias benéficos, hasta organismos complejos como plantas y animales tanto invertebrados (p. e., insectos, micro artrópodos y arácnidos), como vertebrados (p.e., peces, anfibios y mamíferos).^{998,999}

Afectaciones a la biota acuática

Los ecosistemas acuáticos están fuertemente conectados con los paisajes agrícolas de su alrededor, en los cuales se utilizan compuestos químicos como plaguicidas que, en muchos casos, tienen efectos sobre grupos de organismos no blanco. La siembra de OGM asociada al uso de plaguicidas altamente peligrosos ha sido extensiva, sin embargo, las evaluaciones de riesgo que consideren a los organismos acuáticos invertebrados es escasa. De acuerdo con un metaanálisis realizado en 2018, hay 39 publicaciones que tratan sobre los OGM y su efecto en el medio acuático. La información disponible es limitada a pocas variedades agrícolas, eventos y organismo de ensayo. El análisis de los estudios sobre el destino de las toxinas lixiviadas, la degradación del material vegetal y la distribución de los residuos de cultivos en el hábitat acuático, no se han investigado suficientemente.¹⁰⁰⁰

Estudios posteriores, sugieren que la transferencia de subproductos de maíz transgénico de los campos agrícolas a los cursos de agua cercanos, después de la cosecha, es significativa y persiste hasta después del año de siembra. Los tejidos como hojas, tallos y mazorcas de maíz se convierten en una fuente de alimento detrital para organismos como los trituradores del ecosistema fluvial; por ejemplo, el cangrejo de río, *Faxonius rusticus*, cuyos individuos juveniles, alimentados con variedades de maíz Bt, presentaron menor crecimiento que los alimentados con controles negativos o con maíz resistente a glifosato.¹⁰⁰¹



Por su parte, la evidencia reciente señala los graves efectos que tienen el glifosato, el POEA, el AMPA y las formulaciones comerciales de HBG, sobre los ecosistemas marinos.¹⁰⁰² En un estudio se observó que estos compuestos inducen daño primario en el ADN de larvas de pez cebra y en células RTG-2. Todos estos compuestos son genotóxicos para larvas de pez cebra, y es el glifosato el que induce el mayor nivel de daño en el ADN.¹⁰⁰³ La genotoxicidad de este compuesto y de los productos comerciales que lo contienen, como el *Roundup Transorb*®, también fue reportado en células branquiales y eritrocitos de peces.¹⁰⁰⁴ También se ha reportado daño al ADN y alteraciones cromosomales en numerosas especies de peces e insectos.¹⁰⁰⁵

Asimismo, se ha observado en larvas de trucha arcoíris, que la exposición continua al glifosato, en las concentraciones ambientales existentes, representa un riesgo potencial durante las primeras etapas de vida de los peces, ya que generó comportamientos erráticos durante el nado; esto podría traer consecuencias perjudiciales en la respuesta de escape de distintas especies ante los depredadores u otros peligros. Además, en este mismo modelo, se han reportado efectos citotóxicos y de daño oxidativo al ADN de diferente magnitud, en estudios *in vivo* e *in vitro*.¹⁰⁰⁶

Los efectos adversos del herbicida *Roundup*® también conllevan afectaciones en la viabilidad de hemocitos, células indispensables en la respuesta inmune en invertebrados marinos.¹⁰⁰⁷ También se ha observado que, luego de la exposición *in vitro* a concentraciones subletales de HBG, hay una disminución en la capacidad fagocítica de algunos bivalvos y cangrejos marinos.¹⁰⁰⁸ En estos animales marinos se ha reportado que la exposición a glifosato causa la desestabilización de la membrana y afectaciones del sistema lisosómico, lo que afecta su capacidad para alimentarse y para filtrar contaminantes.¹⁰⁰⁹

El glifosato también está relacionado con afectaciones directas a las comunidades de microorganismos en cuerpos de agua dulce. De acuerdo con diferentes estudios, este herbicida es un contaminante común en cuerpos de agua dulce y está relacionado con modificaciones en la abundancia y la diversidad de especies tanto autotróficas como heterotróficas de plancton y organismos epilíticos.^{1010,1011,1012} A su vez, la modificación en el plancton y picoplancton puede estar relacionado con alteraciones en las redes tróficas en los ecosistemas acuáticos.¹⁰¹³ La atención en el monitoreo y el estudio de este fenómeno es especialmente apremiante, debido a que se consideraba que el glifosato poseía una vida media en agua relativamente corta, por lo que se suponían afectaciones ecológicas mínimas, y la nueva evidencia



demuestra, como se mencionó anteriormente, que la acumulación puede ser persistente y por tanto las afectaciones de mucha mayor importancia.

Además de las alteraciones observadas en las comunidades de microorganismos, el glifosato en conjunto con otros pesticidas -como el glufosinato, el endosulfán y el 2,4-D, es considerado como uno de los principales factores del declive de numerosas poblaciones de anfibios.¹⁰¹⁴ Un estudio desarrollado en Sudamérica, donde se evaluó la sobrevivencia y la movilidad de poblaciones de sapos en estanques con presencia de contaminación por herbicidas, llegó a la conclusión de que tanto el glifosato como otros herbicidas causaban tasas más elevadas en la mortalidad de poblaciones de estos anfibios.¹⁰¹⁵ La exposición de anfibios (*Scinax nasicus* y *Elachistocleis bicolor*) a la formulación comercial del herbicida dicamba causan alteraciones bioquímicas y lesiones en tejidos hepáticos y la función celular. La formulación mostró una alta biotoxicidad en las dos especies de anfibios después de una exposición a corto plazo.¹⁰¹⁶

Otro metaanálisis reciente, con datos de 21 países, evaluó la toxicidad en concentraciones reales de glifosato para organismos en ecosistemas de agua dulce. Se evaluaron los efectos en organismos de diferentes niveles tróficos, representados por una especie de alga, un crustáceo y un pez. Los resultados indican que el alga y el pez fueron más sensibles al glifosato al utilizar como parámetro la dosis letal media (DL₅₀). Los autores concluyen que las concentraciones mayores a la DL₅₀, en aguas superficiales, afectan a los productores primarios y, por tanto, se pone en riesgo la red trófica.¹⁰¹⁷ Por otro lado, un estudio ecotoxicológico demostró daños para algunas especies de bacterias marinas; simultáneamente, el glifosato demostró de ser moderadamente tóxico para crustáceos de agua dulce.¹⁰¹⁸

Efectos en diversos insectos clave

Los insectos y otros artrópodos juegan un papel crucial en el equilibrio ecológico y la estabilidad y resiliencia de los ecosistemas por su papel dentro de las redes tróficas. Las contundentes evidencias científicas que demuestran las afectaciones a insectos por el uso de diversos plaguicidas son altamente importantes y requieren atención urgente por parte de los Estados, la comunidad académica, los diferentes sectores de la población, debido a que estudios recientes han descrito un alarmante descenso en poblaciones de diversas especies de insectos a nivel mundial, lo que podría significar la alteración o desaparición total de los procesos ecológicos y servicios ecosistémicos de los que los insectos forman parte.^{1019, 1020, 1021, 1022} En el caso particular de México, este proceso pudiera significar una repercusión directa en la



resiliencia y estabilidad de la mayoría de los ecosistemas, pues de acuerdo con datos oficiales, nuestro país alberga alrededor de 48 mil especies de insectos, lo que nos convierte en uno de los países más diversos en lo que a este grupo respecta.¹⁰²³

Ya se ha mostrado antes que los cultivos GM de mayor uso a nivel mundial presentan dos rasgos principales: la tolerancia a herbicidas, principalmente al glifosato, y la resistencia a insectos con la producción endógena de proteínas tóxicas; estas propiedades pueden ser incluidas por separado o en conjunto en los eventos transgénicos.

Los transgénicos Bt actúan al haberseles modificado, mediante la inserción de genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, para la producción de protoxinas que operan en el intestino medio de los insectos, lo que da lugar a la formación de poros en la membrana intestinal y la intoxicación, causando septicemia y muerte.^{1024,1025,1026,1027} Existen varios tipos de proteínas Cry (como: CryIA, CryIB, CryIJ y Cry2Eb) las cuales son activas contra lepidópteros (mariposas y polillas), coleópteros (escarabajos), dípteros (moscas, mosquitos y otros), hemípteros (cigarras, pulgones, chinches y otros) e himenópteros (abejas, hormigas, avispas y otros).^{1028,1029}

Los cultivos que expresan estas toxinas insecticidas pueden afectar a organismos considerados plagas, pero, también a especies benéficas, incluidos los insectos entomófagos (parasitoides o depredadores), es decir insectos que parasitan o depredan a los insectos que se alimentan de los cultivos, y otros artrópodos que actúan como enemigos naturales de las plagas.^{1030,1031,1032}

Las avispas parasitoides son enemigos naturales de las principales plagas agrícolas y enfermedades transmitidas por artrópodos. La avispa parasitoide *Macrocentrus cingulum* se ha utilizado ampliamente para controlar las plagas de insectos *Ostrinia furnacalis* (barrenador asiático del maíz) y *O. nubilalis* (barrenador europeo del maíz).¹⁰³³ Esta última especie es común en México. Otra avispa endoparásita utilizada para el control de plagas es *Tetrastichus howardi*, se utiliza para el control del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*, una importante plaga del maíz en México.¹⁰³⁴ De acuerdo con un metaanálisis, realizado en 2009, los parasitoides de plagas son más susceptibles a las toxinas Cry que los depredadores de plagas, estos resultados se encontraron al comparar análisis de laboratorio en 27 especies de depredadores y 21 de parasitoides.¹⁰³⁵

En un estudio se evaluaron los efectos tóxicos de proteínas producidas por *Bacillus thuringiensis* en dos generaciones de *T. howardi*, parasitando *S. frugiperda*



resistente a Bt. La supervivencia de las avispas que se desarrollaron sobre las larvas de *S. frugiperda* de ambos sexos resultó afectada. Los organismos que lograron sobrevivir presentaron efectos negativos como: alteración del comportamiento de búsqueda de hospedadores, un menor desarrollo y reducción en la tasa de reproducción.¹⁰³⁶

Otro estudio, que se condujo usando maíz GM de tipo Bt (eventos 176 y Bt11), mostró afectaciones en la abundancia estacional del parasitoide especialista *Macrocentrus cingulum*, el cual es un endoparásito del gusano barrenador europeo. La abundancia de *M. cingulum* fue un 29-60% inferior en el maíz transgénico Bt, en comparación con el maíz no GM.¹⁰³⁷ Las larvas depredadoras de *Chrysoperla carnea* prefieren presas alimentadas con maíz no transgénico en lugar de maíz Bt, reduciendo así su exposición.¹⁰³⁸

Otra especie de avispa muy utilizada para el control del gusano *O. nubilalis*, es la *Trichogramma chilonis*. Las toxinas Bt causan toxicidad aguda sobre *T. chilonis*, así como alteraciones en la longevidad y el tiempo de estancia en los huevos de los hospederos, cuando las hembras de *T. chilonis* se alimentan con dosis subletales de esporas de bioinsecticidas de Bt.¹⁰³⁹

Los parasitoides himenópteros, por su parte, a menudo mostraron efectos negativos al parasitar hospedadores que se alimentaron de plantas transgénicas Bt, debido a la baja calidad de los hospedadores.¹⁰⁴⁰ En otros casos, la supervivencia, el período de desarrollo y el peso del capullo se vieron negativamente afectados en parasitoides como *Cotesia marginiventris*, *Aphidius* y *Parallorhogas pyralophagus*, cuando sus hospedadores se alimentaron con cultivos modificados genéticamente con Cry1Ab, Cry3A y Cry9C.^{1041,1042,1043}

Además, se ha observado que la abundancia de ciertos parasitoides himenópteros disminuyó en campos cultivados con algodón Bt.¹⁰⁴⁴ La presencia de la proteína Cry1Ac en el algodón tuvo un efecto de retraso en el desarrollo de los parasitoides himenópteros que se criaron en sus hospedadores, posiblemente debido a efectos subletales en estos últimos.¹⁰⁴⁵ En China, un parasitoide crucial para controlar el gusano del algodón *Microplitis mediator* experimentó una disminución en su supervivencia y un freno en su crecimiento cuando su presa, *Helicoverpa armigera*, se alimentó con polvo de hojas de algodón Bt que contenía Cry1Ac.¹⁰⁴⁶

En cuanto a insectos depredadores, en un estudio se encontró que las crisálidas de la mariquita *Chrysopa pallen* que se alimentaron con pulgones en algodón Bt GK12



eran más grandes y producían más huevos que las alimentadas en algodón Bt NuCOTN 99B, posiblemente, debido a diferencias en la calidad nutricional de las presas.¹⁰⁴⁷ Mientras que otro, se muestra que las catarinas de la especie *Adalia bipunctata*, expuestas a diferentes concentraciones de toxinas Cry1Ab y Cry3Bb activadas, registraron la mortalidad de larvas y pupas, así como afectaciones en el tiempo de desarrollo y la acumulación de masa corporal general, incluso en la concentración más baja, lo que hace evidente que el modo de acción de estas proteínas no es específico para los insectos plaga que se pretenden controlarla supuesta especificidad y el modo de acción de estas proteínas, ello tiene implicaciones para las poblaciones de ésta especie y sus funciones de control biológico de plagas, en ecosistemas de cultivos transgénicos.¹⁰⁴⁸

En campos de algodón Bt, se observó un aumento en la diversidad general de subcomunidades de plagas, pero una disminución en la diversidad de subcomunidades de enemigos naturales.¹⁰⁴⁹ Estos cambios en la densidad de enemigos naturales a menudo se relacionaron con la dinámica de las presas o causas indirectas mediadas por la planta. La longevidad de los depredadores *Orius tristicolor* y *Geocoris punctipes*, que se criaron con presas alimentadas con algodón Bt, disminuyó significativamente en un 27-28%.¹⁰⁵⁰

Por otro lado, tenemos los efectos del glifosato, asociado a los transgénicos HT. Varios estudios han mostrado los efectos subletales directos del herbicida sobre las comunidades de ácaros e insectos y, también, cómo el glifosato ejerce importantes efectos indirectos al eliminar especies vegetales relacionadas con el ciclo de vida de insectos y microartrópodos, por ejemplo, al ser fuentes de alimento, lugares de apareamiento u oviposición.^{1051,1052,1053}

Investigadores del Instituto Federal Suizo de Tecnología y de la Agencia para la Conservación de la Naturaleza de Alemania hicieron pruebas con larvas de crisopa *Chrysoperla carnea*, las cuales se alimentaron con dosis de HBG *WeatherMax*, de *Roundup*®, en concentraciones inferiores a las aplicaciones que se utilizan en los cultivos. Los resultados demostraron que los artrópodos tuvieron daños en su desarrollo, afectaciones a la formación de capullos y malformaciones letales masivas. Ello revela que existe toxicidad directa grave del glifosato en artrópodos no objetivo.¹⁰⁵⁴

La melanina tiene un rol importante en el sistema inmunológico de los insectos. Recientemente, se demostró que el glifosato inhibe la producción de melanina en insectos de dos especies distantes filogenéticamente, un díptero (*Anopheles*



gambiae) y un lepidoptero (*Galleria mellonella*). Este efecto actúa en detrimento en la salud en las dos especies estudiadas y sugiere el mismo efecto en un espectro más amplio de especies de insectos, haciéndolos más susceptibles a patógenos microbianos.¹⁰⁵⁵

En otros organismos, como el escarabajo de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*) el efecto de concentraciones ambientales y directas de HBG incrementa la probabilidad de mortandad de las larvas. Se concluye que, incluso en concentraciones de glifosato menores a las que probaron, la supervivencia de larvas de insectos herbívoros puede disminuir.¹⁰⁵⁶

Énfasis en los efectos perniciosos sobre insectos polinizadores

Pese a la gran importancia que tienen los polinizadores y, en particular, las abejas, muchas de las actividades antropogénicas amenazan su conservación. Un estudio de 2016 indica diez rubros en los que los gobiernos deberían enfocarse para proteger a los polinizadores y asegurar los servicios de polinización, uno de ellos señala a los cultivos GM como riesgos potenciales para los insectos polinizadores.¹⁰⁵⁷

En el mismo año, la Plataforma Intergubernamental sobre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (*IPBES*, por sus siglas en inglés) publicó el informe de evaluación de polinizadores, polinización y producción de alimentos. En este informe se señala que dentro los principales riesgos potenciales para los polinizadores se encuentran varias prácticas propias de la agricultura intensiva, tales como el uso de insecticidas y la siembra de cultivos GM.¹⁰⁵⁸ Se ha reportado que la visita de las abejas a los campos cultivados con canola modificada HT es reducida.^{1059,1060}

Los enfoques más novedosos para analizar los efectos de las proteínas Cry proponen escenarios realistas que incorporan interacciones entre las proteínas Cry y los plaguicidas normalmente presentes en el campo.¹⁰⁶¹ Conforme este campo de investigación crece es posible comprender mejor los efectos para los polinizadores, sean aislados o en interacción con otros agentes presentes en la agricultura como los plaguicidas.

En Brasil, se encontró que las larvas de la especie *Melipona quadri-fasciata*, al ingerir alimentos con proteínas Cry, presentaron un retraso en su desarrollo. Los efectos se intensificaron hasta ser letales al exponer a las larvas a las proteínas Cry junto con el glifosato.¹⁰⁶²



En los abejorros *Bombus terrestris* también se encontraron efectos negativos al alimentar a las obreras con jarabes con formulaciones Bt, que incluyen proteínas CryIAb, en concentraciones recomendadas para su uso en campo. Mientras que en abejas hubo mortandad y se observaron efectos negativos como la disminución de la tasa de reproducción.¹⁰⁶³

Para el caso del glifosato y otros plaguicidas altamente peligrosos, su uso se relaciona con la desaparición de plantas esenciales para diversas especies de insectos, lo que ha significado serias afectaciones a diversos polinizadores. Debido a su toxicidad, los plaguicidas representan un riesgo para las abejas, que varía dependiendo de la biología de la especie y de su capacidad para metabolizar toxinas.¹⁰⁶⁴ Expertos a nivel mundial han identificado que entre los factores que más contribuyen al declive de las abejas es la intoxicación causada por plaguicidas.^{1065,1066}

La polinización es fundamental para la regulación y el mantenimiento del equilibrio de los ecosistemas terrestres, para los sistemas agroalimentarios humanos y la vida en general en nuestro planeta. El grupo de las abejas está compuesto por aproximadamente 20,000 especies, la mayor parte son polinizadoras eficaces. Algunos estudios han señalado que el 70% de las 124 principales especies de plantas cultivadas en el mundo son dependientes de la polinización por insectos.^{1067,1068}

Particularmente, los herbicidas utilizados en las prácticas agrícolas representan un riesgo indirecto para las abejas nativas y otros polinizadores, porque reducen la abundancia y la diversidad de plantas con flores asociadas a los cultivos que proporcionan polen y néctar a los polinizadores.¹⁰⁶⁹ Por lo tanto, el uso de herbicidas repercute en la disminución y eliminación de estas especies de tan alta importancia ecológica, así como económica.¹⁰⁷⁰

La evidencia muestra que los efectos indirectos del glifosato afectan negativamente a los polinizadores por el daño a la flora presente en el ambiente agrícola.¹⁰⁷¹ Sin embargo, aún más alarmantes que estos efectos indirectos son los daños directos a la microbiota intestinal de las abejas y el aumento en la susceptibilidad a patógenos o malnutrición. Las afectaciones a la microbiota intestinal de las abejas han sido ampliamente documentadas, dichas afectaciones se basan en el hecho de que la ruta metabólica que es afectada por el glifosato (conocida como la vía del shikimato) se comparte con la mayor parte de las bacterias presentes en la microbiota.¹⁰⁷²

En el año 2018, se demostró que la exposición de abejas melíferas a concentraciones de glifosato presentes en ambientes agrícolas disminuyó la abundancia de las



principales especies de bacterias presentes en el intestino de las abejas, lo cual incrementó la mortalidad de los individuos expuestos posteriormente a un patógeno frecuente.¹⁰⁷³ Otros estudios han documentado que el desarrollo de larvas de abejas melíferas alimentadas con trazas de glifosato retrasó el crecimiento y provocó pesos menores en comparación con las alimentadas sin glifosato.¹⁰⁷⁴

Durante el pecoreo, las abejas pueden estar expuestas al glifosato vía polen, néctar, agua o polvo y transferir este contaminante a la colmena, lo que podría significar una variación en las tasas de mortalidad o una disminución en la productividad apícola,^{1075,1076,1077} además de una alteración significativa en la calidad de la miel. En un estudio, se detectó la presencia de residuos de glifosato en 27% de las muestras de miel tomadas directamente de la colmena y en 33% de las tomadas en sitios de comercialización.¹⁰⁷⁸

Se sabe que el glifosato afecta de manera transversal a las abejas, ya que provoca alteraciones en el desarrollo embrionario que se manifiestan en la edad adulta de las abejas y también afecta la capacidad de orientación y la navegación.¹⁰⁷⁹ Otros estudios reportan que la exposición a plaguicidas afecta la coordinación de actividades colectivas en el panal y la capacidad de asociación entre el aroma de la flor y la colecta de azúcar (néctar).¹⁰⁸⁰ También, se ha observado que el glifosato provoca cambios en el metabolismo y la microbiota intestinal de las abejas, disminuyendo el peso de las larvas y su tasa de supervivencia, generando mayor susceptibilidad a patógenos.^{1081,1082,1083,1084}

Otro efecto importante descrito recientemente es el que concierne al sueño en abejas. Fue detectado que la ingesta de una solución azucarada adicionada con glifosato provocó alteraciones en el patrón de sueño de las abejas, lo cual puede inducir un comportamiento errático y movimientos desorganizados que limitan su capacidad para localizar flores y recolectar polen.¹⁰⁸⁵

Por otro lado, la termorregulación es un proceso importante para el desarrollo de las pupas. Un estudio reciente demostró los efectos del glifosato en abejorros alimentados con dosis realistas de campo. Los efectos no se percibieron a nivel individual, sin embargo, a nivel de la colonia, se observó una disminución de la capacidad de los abejorros para mantener las temperaturas necesarias en la colmena, la temperaturas disminuyeron en un 25%. Esta disminución afecta el buen desarrollo de las pupas de los abejorros. Los autores concluyen que estos efectos pueden provocar el declive de estos organismos.¹⁰⁸⁶



Hablando de patógenos, existe evidencia de que la interacción entre glifosato y patógenos comunes de *A. mellifera*, como *Nosema microsporidia*, reduce significativamente la tasa de supervivencia de las abejas. La evidencia apunta a que el glifosato utilizado a gran escala en sistemas intensivos puede comprometer la supervivencia de *A. mellifera*.¹⁰⁸⁷

Los estudios mencionados previamente han probado los efectos de un solo compuesto, el glifosato en las abejas. No obstante, existen algunos estudios que han puesto a prueba las interacciones entre glifosato y otros plaguicidas comunes en la agricultura, como la cipermetrina (insecticida) y el difenoconazol (fungicida). Los resultados han mostrado efectos letales y sinérgicos entre estos agentes tóxicos. En entornos agrícolas, las poblaciones de abejas están expuestas a múltiples plaguicidas, por tanto, probar los efectos combinados o sinérgicos es una aproximación más realista.¹⁰⁸⁸

El caso especial de las mariposas monarca

Existe evidencia sobre las afectaciones de los cultivos de maíz transgénico de tipo Bt sobre las mariposas, debido a la actividad de las proteínas Cry.^{1089,1090} Estudios científicos han demostrado que el polen ha sido una vía de exposición para insectos no blanco y su consumo les afecta.¹⁰⁹¹ Especialmente, el caso de la mariposa monarca, *Danaus plexippus*, ha generado un debate intenso en torno al riesgo que representa la siembra de maíz GM y otros transgénicos para este emblemático polinizador.¹⁰⁹²

Esta especie, cuyas poblaciones migran anualmente entre Canadá, Estados Unidos y México, tiene un importante valor ecológico, social y cultural en nuestro país; sin embargo, su población se ha visto mermada de manera importante en la última década.^{1093,1094} Se ha observado una disminución de cerca del 58% del algodoncillo (*Asclepias spp.*) del que se alimenta el lepidóptero en los paisajes de Estados Unidos, durante la penúltima década; esta pérdida coincide con un aumento en el uso de herbicidas a base de glifosato junto con un incremento en la superficie destinada a la siembra de maíz y soya GM tolerantes al glifosato. La desaparición del algodoncillo común desembocó, entre otros factores, en un decaimiento del 81% de la población de mariposa monarca en los bosques templados mexicanos durante la época de hibernación.¹⁰⁹⁵

La evidencia apunta a que la supervivencia de las larvas de la mariposa monarca, hasta la adultez, se reduce con la exposición al polen de maíz transgénico Bt.¹⁰⁹⁶ La



exposición simultánea tanto a las anteras como al polen de maíz Bt tuvo un efecto aditivo que resultó en una disminución de la supervivencia de las larvas de la mariposa monarca.¹⁰⁹⁷ Este mismo efecto se observó en un tipo de escarabajo, *Propylea japonica*, cuando se alimentó con polen de arroz Bt.¹⁰⁹⁸

En otro estudio se señala que las larvas de mariposa monarca alimentadas con algodoncillo (*Asclepias curassavica* Griseb.), impregnado con polen del maíz Bt, ingieren un menor volumen de alimento, crecen más lentamente y experimentan mayores índices de mortalidad, en comparación con las larvas alimentadas en hojas impregnadas con polen de maíz no transgénico, o bien, en hojas de algodoncillo sin polen.¹⁰⁹⁹

También el glifosato es un factor de riesgo para las mariposas monarca. El uso de este plaguicidas altamente peligrosos ha sido determinado como una de las principales variables responsables de la disminución de la población en la especie. Este factor incluso tiene una responsabilidad mayor que la pérdida de superficie forestal o el uso de ciertos insecticidas.¹¹⁰⁰

Las afectaciones indirectas ejercidas por este agrotóxico pueden ser un factor determinante para el decaimiento de la especie. El glifosato y los HBG eliminan al algodoncillo; estos herbicidas contaminan el néctar del algodoncillo y dañan los sitios de hibernación de la monarca, por consecuencia, la especie es vulnerada y su población se ha visto reducida.^{1101,1102}

En otras mariposas se han presentado efectos negativos por glifosato, a nivel genético. En un ensayo realizado sobre la especie *Lycaena dispar*, los daños se observaron por un incremento a nivel de los micronúcleos de las células, lo cual indica una condición de inestabilidad genómica que puede resultar en una disminución en la vitalidad de las mariposas e incrementar el riesgo de extinción local de la población.¹¹⁰³

Otros efectos ambientales: generación de “súper plagas” y “súper malezas”

“Súper plagas”

Con la adopción generalizada de maíces transgénicos de tipo Bt y su uso continuo en los campos agrícolas surgió un desafío importante: la posibilidad de que las poblaciones de insectos considerados plaga desarrollaran resistencia a las proteínas



Bt. El desarrollo de resistencia de las plagas a las toxinas Cry, es una de las mayores amenazas del uso prolongado de cultivos GM.¹¹⁰⁴

Cuando las poblaciones de plagas desarrollan resistencia a las proteínas Bt, significa que estas proteínas ya no son efectivas para controlarlas, así es como se ha adoptado el término de "súper plagas". Éstas pueden sobrevivir y reproducirse lo que resulta en daños severos a los cultivos y pérdidas económicas para los agricultores. Además, esta resistencia de insectos a proteínas Bt puede heredarse, lo que aumenta su prevalencia en el campo.

Desde hace más de 10 años existe evidencia de que diversas plagas, para las que se utilizaban los maíces transgénicos Bt como medio de control, han desarrollado tolerancia a las toxinas Cry (Cry1F, Cry1F, Cry1Ab, Cry1Ab, Cry3Bb1, Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb1, Cry2Ab2, Vip3Aa20, Cry1Aby mCry3A). Un estudio experimental llevado a cabo en Estados Unidos encontró que las toxinas Cry no tuvieron efecto sobre la especie de plaga *Helicoverpa zea*, en cuanto a la reducción en el peso de las larvas, el número de insectos que entraron en el estadio de pupa, el peso de las pupas, el tiempo transcurrido hasta la eclosión y el número de pupas capaces de eclosionar con éxito hasta la edad adulta.¹¹⁰⁵

En países tropicales ha ocurrido el mismo fenómeno, en este caso en la especie *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero del maíz), que ha mostrado resistencia al evento transgénico TC1507, que produce la proteína Cry1F supuestamente para proporcionar protección a este tipo de plagas, además de otros lepidópteros. En evaluaciones controladas en laboratorio se encontró que *S. frugiperda* recolectada en parcelas de maíz transgénico Bt, presentaba una menor sensibilidad a la proteína Cry1F que las poblaciones de otras regiones. En respuesta a este incidente de resistencia, los proveedores tecnología han suspendido las ventas comerciales de maíz TC1507 en Puerto Rico, a la espera de una posible reversión a la susceptibilidad.¹¹⁰⁶

En Colombia, también se ha encontrado resistencia de *Spodoptera frugiperda*, a las variedades transgénicas de maíz que liberan la toxina Cry1F. En un estudio se dedujo que la endotoxina no ejerció un control total sobre las poblaciones, lo que sugiere que estos insectos podrían generar una alta resistencia a las plantas con la endotoxina Cry1F.¹¹⁰⁷



A continuación, se enlistan los resultados de otras investigaciones científicas donde se demuestra la resistencia a proteínas Cry, presentes en cultivos GM, en diferentes insectos, ahora considerados “súper plagas”:

- Siete especies de lepidópteros y una de coleópteros han desarrollado resistencia a las plantas transgénicas que producen proteínas Bt insecticidas.¹¹⁰⁸
- El cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*, ha desarrollado mecanismos de resistencia a los insecticidas organofosforados, piretroides y diamidas, así como a la proteína Cry1F;¹¹⁰⁹ resistencia cruzada, seleccionada con maíz transgénico, a Cry2Ab2, lo que provoca resistencia a los cultivos Bt que expresan proteínas similares;¹¹¹⁰ resistencia a las proteínas Cry1Fa y Cry1A, en poblaciones de Puerto Rico, Estados Unidos y Brasil;¹¹¹¹ resistencia a las proteínas insecticidas Cry1 en Sudamérica;¹¹¹² resistencia a la proteína Vip3Aa20 del maíz Bt en Sudamérica;¹¹¹³ resistencia a la proteína Cry1F del evento de maíz GM TC1507 con algunas cepas que mostraron altos niveles de resistencia cruzada a Cry1A.105 y Cry1Ab;¹¹¹⁴ también, resistencia a la proteína Cry1Fa2, así como resistencia cruzada con otras proteínas Cry1A, en Puerto Rico, Estados Unidos (Rico, Florida y Carolina del Norte), Brasil y Argentina.^{1115, 1116, 1117, 1118}
- El barrenador africano del tallo del maíz ha desarrollo de resistencia, particularmente en maíces transgénicos Bt que expresan la proteína Cry1Ab.¹¹¹⁹ Además, existe resistencia del barrenador europeo del maíz, *Ostrinia nubilalis*, a las proteínas Bt.^{1120, 1121}
- Resistencia de *Diabrotica barberi* a los maíces que expresan las proteínas Cry3Bb y Cry34/35Ab1 en América del Norte.¹¹²² Mientras que las poblaciones de campo de *Diabrotica virgifera virgifera* poseen resistencia a las proteínas Cry3Bb1 y mCry3A del maíz transgénico, y resistencia cruzada entre estos dos tipos de maíz Bt. Además, de resistencia al maíz eCry3.1Ab y resistencia cruzada entre Cry3Bb1, mCry3A y eCry3.1Ab.¹¹²³
- El gusano de la cápsula, *Helicoverpa zea*, ha demostrado ser resistente a las proteínas Cry1 y Cry2, con distintos niveles de dominancia y recesividad en función de la concentración proteica.¹¹²⁴ La misma especie ha desarrollado resistencia a las proteínas Bt, con niveles de resistencia a Cry1Ac de hasta 1000 veces;¹¹²⁵ resistencia dominante al Cry1Ac y resistencia cruzada mínima al Cry2Ab;¹¹²⁶ resistencia a Cry1A.105 y Cry2Ab2 entre 22 poblaciones de campo recolectadas en maíz Bt;¹¹²⁷ altos niveles de resistencia a la proteína Vip3Aa



utilizada en el maíz y algodón Bt transgénicos, piramidados con proteínas Cry1 y Cry2, en Estados Unidos;¹¹²⁸ y resistencia desarrollada a la proteína Vip3Aa.¹¹²⁹ En las poblaciones australianas de *Helicoverpa punctigera* se ha observado una resistencia desarrollada a las proteínas Bt, específicamente a la proteína Cry2Ab del algodón Bollgard II;¹¹³⁰ resistencia a las proteínas Vip3 en poblaciones australianas de *H. armigera* y *H. punctigera*.¹¹³¹

- El gusano rosado, *Pectinophora gossypiella*, ha desarrollado resistencia a la toxina Cry2Ab, asociada a mutaciones en el gen ABCA2;¹¹³² y resistencia a las proteínas Cry1Ac y Cry2Ab2 del algodón GM, en India.^{1133, 1134}
- Hay resistencia a Cry1Ac en *Trichoplusia sp.* debido a mutaciones multigénicas.¹¹³⁵

“Súper malezas”

La expansión de los cultivos GM tolerantes a herbicidas también ha provocado desequilibrios, las plantas arvenses han evolucionado desarrollando alta tolerancia a los herbicidas que forman parte del paquete tecnológico de los transgénicos.^{1136,1137} El modelo agrícola intensivo con altas dosis de herbicidas y la expansión de la frontera agrícola han provocado una alta presión de selección para las arvenses, convertidas en “súper yerbas” o “malezas agresivas”.¹¹³⁸ A su vez, la aparición de estas variedades vegetales ha traído como consecuencia un incremento de la dosis de glifosato aplicada a lo largo del ciclo agrícola, así como el uso de combinaciones de éste con otros herbicidas que resultan más tóxicos, esto conlleva a más efectos perniciosos para la salud humana y el ambiente en un círculo vicioso insostenible con altos costos en términos de salud, ecológicos, económicos y sociales.¹¹³⁹

Esta resistencia se ha atribuido al uso del glifosato en agricultura sin labranza, a pequeña y gran escala, y en agricultura intensiva bajo monocultivo, tanto de cultivos GM como de variedades convencionales.^{1140, 1141} Algunas variedades resistentes han sido el resultado de una evolución gradual de las especies arvenses expuestas al herbicida, otras han aparecido debido al flujo de genes de los cultivos transgénicos tolerantes al glifosato hacia sus parientes silvestres.¹¹⁴² Actualmente, a través de la plataforma de la *International Survey of Herbicide Resistant Weeds*, se han reportado 317 casos de 47 especies con resistencia a glifosato, en 29 países, y dicha lista presenta una tendencia ascendente con nuevas especies resistentes cada año.^{1143, 1144, 1145, 1146}





En el caso de maíces transgénicos, diseñados para ser resistentes a herbicidas específicos, existe el riesgo de que la selección de malezas resistentes a estos herbicidas se acelere.¹¹⁴⁷ Entre las principales se encuentran: *Amaranthus tuberculatus*, *Amaranthus spinosus*, *Amaranthus rudis*, *Amaranthus palmeri*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida*, *Bassia scoparia*, *Chloris virgata*, *Chloris truncata*, *Conyza bonariensis*, *Digitaria insularis*, *Echinochloa colona*, *Eleusine indica*, *Erigeron canadensis*, *Lolium multiflorum*, *Lolium rigidum*, *Poa annua* y *Sorghum halepense*.^{1148,1149,1150,1151,1152,1153,1154,1155,1156,1157,1158,1159,1160,1161,1162,1163,1164} En México están reportadas algunas especies que han desarrollado resistencia: *Leptochloa virgata*, *Bidens pilosa*, *Steinchisma laxum*, *Aster squamatus* y *Amaranthus palmeri*.¹¹⁶⁵

Cabe mencionar que las arvenses son plantas silvestres que crecen al interior y en los bordes de las parcelas que son consideradas como “malas yerbas” bajo el modelo de agricultura industrial, contrario a la visión integral de la agricultura tradicional y la agroecología que las considera benéficas al ser una fuente de nutrientes adicional al momento de descomponerse y una forma de mantener la humedad del suelo, además de tener diversos usos agrícolas, medicinales, alimentarios (como quelites para humanos o forrajes para animales), ceremoniales, ornamentales y artesanales.

3.3 Evidencia sobre afectaciones agronómicas y otras consideraciones socioeconómicas relacionadas con los cultivos GM y el glifosato

Los sistemas agrícolas industrializados de producción de alimentos han demostrado tener diversos impactos negativos. Esta forma de agricultura representa una de las actividades humanas que más han transformado la biósfera, siendo la causa de degradación de los suelos, deforestación, agotamiento de recursos de agua y contaminación química; además, debido a su pobre diversidad ecológica y genética, es extremadamente vulnerable a plagas, enfermedades y al cambio climático. Por todas estas características la agricultura industrializada representa uno de los mayores riesgos para la salud humana y ambiental.¹¹⁶⁶

Tal como se ha mostrado en acápite anteriores, los monocultivos de OGM tienen efectos perjudiciales en el ambiente, la biodiversidad y pueden afectar la composición de plagas de una región. Este tipo de alteraciones en las dinámicas de los ecosistemas también tienen impactos económicos. En un estudio, conducido en cultivos de soya y maíz de Estados Unidos, donde más del 90% son eventos transgénicos, se observó que hay una reducción en la composición de insectos benéficos en un 24%, lo que tuvo un costo para los productores de





aproximadamente 58 millones de dólares, al año, por la disminución de los rendimientos y el incremento en el uso de pesticidas.¹¹⁶⁷

Con independencia de los rendimientos que pueda presentar la agricultura industrializada, cabe decir que las características inherentes de los sistemas agrícolas industrializados conllevan impactos económicos negativos. La pérdida y alteración de la biodiversidad a causa de los monocultivos, el impacto a la salud por el uso de agroquímicos, la poca disponibilidad de nutrientes, el desarrollo de malezas y plagas resistentes; representan un riesgo económico muy alto debido a que los daños ambientales y a la salud que provocan pueden llegar a costar hasta billones de dólares anuales.¹¹⁶⁸

Por lo tanto, este sistema no resulta rentable en términos de salud humana, animal y ambiental, pero tampoco en términos económicos. Continuar con la aceptación de los sistemas agrícolas industrializados a base de glifosato y OGM, representa asumir un estado de alta vulnerabilidad e incertidumbre social en el largo plazo. Las personas que más padecen las externalidades sociales de estos sistemas alimentarios insostenibles son los grupos sociales más vulnerables quienes viven en mayores condiciones de pobreza y precariedad, así como de desnutrición, en muchas ocasiones por no tener acceso a los alimentos a pesar de su disponibilidad.¹¹⁶⁹

Ahora, la pandemia de la enfermedad COVID-19 ha evidenciado con mayor fuerza los riesgos y daños globales causados por los sistemas industrializados de alimentos.¹¹⁷⁰ Ante ello, se presenta con mayor fuerza la necesidad de promover sistemas alimentarios agroecológicos que favorecen la salud de la población, pues producen alimentos saludables, diversificados y sin agrotóxicos. Además, son sistemas alimentarios con mayor resiliencia ecológica debido a que favorecen las interacciones biológicas de los ecosistemas al basarse en sistemas de policultivos e impulsan la autonomía de los agricultores para que no dependan de agroinsumos comercializados por oligopolios.¹¹⁷¹

Un estudio mostró que, durante los primeros meses de la pandemia, los sistemas agroecológicos en diferentes regiones de Latinoamérica fueron esenciales para enfrentar positivamente los impactos en la producción y consumo de alimentos, gracias a su dinamismo, adaptabilidad y biodiversidad.¹¹⁷² Por ejemplo, en Argentina, la red de actores agroecológicos experimentó un crecimiento significativo durante la pandemia, destacándose prácticas como la producción de composta, el intercambio de semillas y la integración de programas gubernamentales.¹¹⁷³ De



manera similar, en Guatemala, el compromiso con las organizaciones campesinas y las prácticas agroecológicas contribuyeron a la resiliencia de las comunidades rurales frente al impacto económico generado por la pandemia.¹¹⁷⁴ En el caso de Uruguay se potencializaron prácticas agroecológicas y posibles vías de transición para los ganaderos familiares.¹¹⁷⁵

Depositar la producción de alimentos en la agricultura industrializada, con una fuerte dependencia de insumos químicos, es absolutamente riesgoso en términos económicos, pero, por sus fuertes impactos, también lo es en términos ambientales, sociales y culturales.¹¹⁷⁶ En particular, por los riesgos ambientales y a la salud que conlleva el uso de glifosato, ha crecido la preocupación internacional por evaluar alternativas a su uso. Por ejemplo, el gobierno de Francia ha evaluado alternativas para el manejo de malezas mediante métodos físicos o mecánicos como la labranza, la aplicación de prácticas culturales de siembra, además de recomendar investigaciones para el desarrollo de sistemas mecánicos de control de malezas y de bioherbicidas.¹¹⁷⁷

Asimismo, grupos de científicos y agrónomos han modelado diferentes escenarios de cultivo en ambientes limitados de herbicidas. En Australia se empleó un modelo para realizar simulaciones a 10 años con el fin de evaluar el manejo de malezas, la productividad y la rentabilidad con y sin glifosato. El modelo mostró que es posible mantener los rendimientos sin que se utilice glifosato durante la siembra temprana. Además, se recalcó la importancia de fomentar la investigación multidisciplinaria para el desarrollo de estrategias con uso limitado de pesticidas y con menor impacto ambiental.¹¹⁷⁸

Efectos económicos por el control de “súper malezas”

Tal como se menciona antes, se ha observado y estudiado que las arvenses han generado resistencia a herbicidas de diferentes tipos de acción, como el glifosato, lo que representa una amenaza importante en la productividad, la salud, la calidad y la rentabilidad de los cultivos.¹¹⁷⁹ Se tiene ampliamente documentado que el glifosato y los HBG pierden efectividad a causa de que las plantas que se pretende controlar desarrollan resistencia al agrotóxico.¹¹⁸⁰ Esto aumenta la necesidad de utilizar mayores cantidades de herbicida para que éste pueda cumplir con su objetivo, hecho que ha sido descrito, por ejemplo, para los productores de soya resistente a glifosato en EUA, quienes emplean un 28% más de herbicida.¹¹⁸¹ La resistencia a herbicidas representa uno de los riesgos económicos más importantes para la agricultura basada en el uso de herbicidas.^{1182,1183}



El problema de que las arvenses desarrollen resistencia al glifosato ha surgido como un nuevo frente crítico en los debates sobre la sostenibilidad en la producción agrícola, que han afectado a cientos de millones de hectáreas de tierras de cultivo en diferentes regiones el mundo.¹¹⁸⁴ El impacto económico del manejo de la resistencia de las arvenses está relacionado con la necesidad de elevar los costos de producción con más herbicidas, así como con las pérdidas en el rendimiento de los cultivos, causadas por la competencia.¹¹⁸⁵ Resulta complicado estimar el impacto económico total de la resistencia a los herbicidas en la actividad agrícola.¹¹⁸⁶

Por otro lado, se ha demostrado que una medida de gran efectividad para evitar el desarrollo de resistencia a herbicidas ha sido el empleo de prácticas culturales de cultivo, la eliminación manual de malezas, la rotación de cultivos y los sistemas de labranza convencional. En los sistemas agrícolas resistentes a glifosato en EUA, Brasil y Argentina donde no se realizan prácticas de manejo agrícola integrado, se ha presentado una evolución de malezas resistentes a herbicidas.¹¹⁸⁷

Afectaciones en cultivos no GM

Otro argumento utilizado históricamente para sustentar el uso de glifosato ha sido que fortalece a la agricultura conservacionista y no ocasiona daños a otros tipos de agricultura. Sin embargo, en enero de 2021, se publicó un estudio pionero en demostrar que la agricultura basada en agroquímicos (ABA) afecta a las áreas circundantes en donde se desarrolla agricultura agroecológica, lo anterior, por efecto de la movilidad de los plaguicidas en el suelo. Se tomaron muestras de 19 herbicidas, incluidos tres metabolitos derivados; en el 90% de las muestras se encontraron glifosato y AMPA en los suelos donde se practica ABA; lo alarmante es que en el 32% de los terrenos en los que se desarrolla agricultura agroecológica, también se encontraron dichos compuestos, a una distancia de 300m con respecto al límite de los campos de ABA. Lo anterior, demuestra que el sistema agroecológico estudiado es alcanzado y contaminado con plaguicidas, tanto por la vecindad con el sistema convencional, pero también por estar ubicado en una región dominada por agricultura basada en agroquímicos.¹¹⁸⁸

Afectaciones económicas en pesquerías



Cualquier herbicida utilizado en la agricultura es susceptible de ser arrastrado a los ecosistemas acuáticos, por la escorrentía del agua y la erosión del suelo, desde tierras de cultivo hacia lugares adyacentes, contaminando ríos, arroyos, lagos y zonas costeras; esta situación genera vulnerabilidad de la población que depende económicamente de estos ecosistemas de zonas pesqueras.^{1189, 1190}

Una vez en los ecosistemas acuáticos, los pesticidas causan pérdidas en la pesca de varias maneras. En altas concentraciones en el agua, matan directamente a los peces; con dosis bajas pueden matar alevines de peces altamente susceptibles o la eliminación de alimentos esenciales para peces, como insectos y otros invertebrados. Por otro lado, debido a que las restricciones de seguridad prohíben la captura o venta de pescado contaminado con residuos de pesticidas, dicho pescado no se puede comercializar y es una pérdida económica para la población.^{1191, 1192} Las pesquerías son recursos valiosos, pues los peces proporcionan servicios de alimentación para los seres humanos. También, brindan beneficios a los ciudadanos a través de ganancias financieras directas o disfrute recreativo, proporcionando fuentes de trabajo para pescadores comerciales y minoristas.¹¹⁹³

Afectaciones económicas en apicultura

Las abejas melíferas y las abejas silvestres son fundamentales para la polinización de frutas, verduras y otros cultivos, son esenciales para la producción de alrededor de un tercio de los cultivos del mundo. Los efectos económicos negativos de la disminución de los polinizadores, antes señalada, por uso de glifosato y otros plaguicidas son incalculables. Tan solo se estima que los beneficios económicos que brindan los polinizadores para la agricultura de E.E. U.U. es de alrededor de \$40 mil millones al año.¹¹⁹⁴ Dada la disminución en las poblaciones de abejas, los agricultores han tenido que recurrir al alquiler de colmenas de abejas para la polinización de sus cultivos, incrementando los costos de la producción. En diferentes regiones de México, los plaguicidas han sido detectados en la miel, lo que acarrea efectos socioeconómicos negativos a los productores rurales, que derivan en problemas de comercialización y subsiguiente quiebra y pérdida de empleos de muchos apicultores, pues una de las principales limitantes para la comercialización de miel es la presencia de residuos químicos.¹¹⁹⁵

Impactos económicos por contaminación de agua potable



Finalmente, es importante destacar los costos por contaminación en el agua de uso doméstico, derivados del uso de glifosato y otros plaguicidas. La contaminación de las aguas subterráneas con pesticidas es de gran preocupación ya que alrededor de la mitad de la población humana obtiene el agua de consumo doméstico de pozos y una vez contaminadas las aguas subterráneas, los residuos de plaguicidas permanecen durante largos períodos de tiempo.¹¹⁹⁶ Aparte de los altos riesgos para la salud humana, la contaminación del agua para el uso doméstico con plaguicidas, implica altos costos gubernamentales para el muestreo y monitoreo, estimándose en alrededor de \$1,100 por año por pozo.^{1197,1198, 1199} A lo anterior, se suma el alto costo de la limpieza y tratamiento del agua para lograr eliminar los pesticidas y hacerla útil para el uso humano, lo que resulta imposible de costear para el sector público.^{1200, 1201}



**GOBIERNO DE
MÉXICO**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

Fundamentación y motivación

El “Expediente científico sobre el maíz genéticamente modificado y sus efectos. Efectos del maíz GM sobre la salud humana, el ambiente y la diversidad biológica, incluida la riqueza biocultural de los maíces nativos en México” fue elaborado a partir de una petición de la Subsecretaría de Comercio Exterior como parte de la colaboración del Conahcyt en la atención a la controversia sobre el maíz transgénico en el marco del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC). Lo anterior, con fundamento en el artículo 63, fracción I de la Ley general en materia de humanidades, ciencias, tecnología e innovación.

El documento fue realizado bajo la dirección de María Elena Álvarez-Buylla Roces, coordinado por Erica L. Hagman Aguilar, a partir de los insumos aportados por (orden alfabético): Eva Bermúdez García, Leonardo Calzada Peña, René Cerritos Flores, Diana Patricia Gómez Zárate, Erica L. Hagman Aguilar, María Elena Mondragón Tintor, Brisa Yunuen Orozco López, Humberto Peraza Villarreal, Gimena Pérez Ortega, Leonardo Lima Valdés, Consuelo López López, Jovani Ruíz Toledo, Ronald Sánchez Carrillo, Alejandra Sánchez Jiménez, Selene Sánchez Mendoza, Nancy Serrano Silva, Cinthia Valentina Soberanes Gutiérrez y Eric Vides Borrell.

Se hace un especial agradecimiento a José Fausto Rivero Cruz y a Mariana Beatriz Ávila López por sus comentarios a algunas secciones del documento; al personal de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de la Secretaría de Economía que envió comentarios al primer borrador; y a Yaretzet Amiyatzin Ibarra Rojas y Nehibi Gisella Mendoza Méndez por su invaluable apoyo en la revisión del formato de la literatura citada.

Versión final, actualizada a septiembre de 2024.



Literatura citada

- ¹ Nelson, D. L., Cuchillo Foix, C. M., Lehninger, A. L. y Cox, M. M. (2005). *Lehninger: Principios de Bioquímica* (4ª ed.). Omega.
- ² NIH. (s/f). *Talking Glossary of Genomic and Genetic Terms*. National Human Genome Research Institute. national institute of health. <https://www.genome.gov/genetics-glossary>
- ³ Wang, H. D. y P. Allard. (2021). Challenging dogmas: how transgenerational epigenetics reshapes our views on life. *J Exp Zool A Ecol Integr Physiol*, 337(1), 70–74. doi: <https://doi.org/10.1002%2Fjez.2465>
- ⁴ Krebs, E. J., Goldstein, S. E. y Kilpatrick T. S. (2011). *Lewin's genes X*. Jones & Bartlett Learning.
- ⁵ Javlonka, E. y Lamb M. J. (2006). *Evolution in Four Dimensions. Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. The MIT Press.
- ⁶ Weinhold B. (2006). Epigenetics: the science of change. *Environmental Health Perspect*, 114(3), A160-167. doi: 10.1289/ehp.114-a160
- ⁷ Braude, S. y Low, B. S. (2010). *An Introduction to Methods and Models in Ecology, Evolution, and Conservation Biology*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvc4qbm>
- ⁸ Haberer, G., Young, S., Bharti, A. K., Gundlach, H., Raymond, C., Fuks, G., Butler, E., Wing, R. A., Rounsley, S., Birren, B., Nusbaum, C., Mayer, K. F. y Messing, J. (2005). Structure and architecture of the maize genome. *Plant Physiology*, 139(4), 1612-1624. doi: 10.1105/pp.105.068718.
- ⁹ NCBI. (2023). *Homo sapiens* [Conjunto de datos]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/9606/>
- ¹⁰ Burmeister, A. R. (2015). Horizontal gene transfer. *Evolution, medicine, and public health*, 2015, 193–194. <https://doi.org/10.1093/emph/eov018>
- ¹¹ Bushman, F. (2002) *Lateral DNA Transfer: Mechanisms and Consequences*. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- ¹² Fuchsman, C. A., Collins, R. E., Rocap, G. y Brazelton, W. J. (2017). Effect of the environment on horizontal gene transfer between bacteria and archaea. *PeerJ*, 5, e3865. <https://doi.org/10.7717/peerj.3865>
- ¹³ Boto, L. (2009). Horizontal gene transfer in evolution: facts and challenges. *Proceedings. Biological Sciences*, 277(1863), 819–827. doi: 10.1098/rspb.2009.1679.
- ¹⁴ Nelson, D. L., Cuchillo Foix, C. M., Lehninger, A. L. y Cox, M. M. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁵ Futuyma, D. J. (2013). *Evolution*. (3ª ed.). Sinauer.
- ¹⁶ Darwin, C. (2011). *The origin of species*. William Collins.
- ¹⁷ Futuyma, D. J. (2013). *Op. cit.*
- ¹⁸ Fuchsman, C. A., Collins, R. E., Rocap, G. y Brazelton, W. J. (2017). *Op. Cit.*
- ¹⁹ Boto, L. (2009). *Op. Cit.*
- ²⁰ Bandopadhyay, R., Haque, I., Singh, D. y Mukhopadhyay, K. (2010). Levels and Stability of Expression of Transgenes. *Transgenic Crop Plants: Principles and Development* (pp. 145–186). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04809-8_5
- ²¹ Gophna, U. (2013). *Lateral gene transfer in evolution*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7780-8>
- ²² Chen, I., Christie, P. J. y Dubnau, D. (2005). The Ins and Outs of DNA Transfer in Bacteria. *Science*, 310(5753), 1456–1460. <https://doi.org/10.1126/science.1114021>
- ²³ Schouten, H. J., Krens, F. A. y Jacobsen, E. (2006). Cisgenic plants are similar to traditionally bred plants: international regulations for genetically modified organisms should be altered to exempt cisgenesis. *EMBO reports*, 7(8), 750–753. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400769>
- ²⁴ Jube, S. y Borthakur, D. (2007). Expression of bacterial genes in transgenic tobacco: methods, applications and future prospects. *Electronic journal of biotechnology*, 10(3), 452–467. <https://doi.org/10.2225/vol10-issue3-fulltext-4>
- ²⁵ Redenbaugh, K., Hiatt, W., Martineau, B., Kramer, M., Sheehy, R., Sanders, R., Houck, C. y Emlay, D. (1992). *Safety Assessment of Genetically Engineered Fruits and Vegetables: A Case Study of the Flavr Savr Tomato*. CRC Press.
- ²⁶ Flores-Mireles, A. L., Eberhard, A. y Winans, S. C. (2012). Agrobacterium tumefaciens can obtain sulphur from an opine that is synthesized by octopine synthase using S-methylmethionine as a substrate. *Molecular microbiology*, 84(5), 845–856. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2012.08061.x>
- ²⁷ Braun, A. C. y Laskaris, T. (1942). Tumor formation by attenuated crown-gall bacteria in the presence of growth promoting substances. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 28(11), 468–477. doi:10.1073/pnas.28.11.468
- ²⁸ Gelvin, S.B. (2003). Agrobacterium-mediated plant transformation: the biology behind the "gene-jockeying" tool. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 67, 16–37. doi: 10.1128/MMBR.67.1.16-37.2003.
- ²⁹ Rech, E. L., Vianna, G. R. y Aragao, F. J. (2008). High-efficiency transformation by biolistics of soybean, common bean and cotton transgenic plants. *Nature Protocols*, 3(3), 410–418. <https://doi.org/10.1038/nprot.2008.9>
- ³⁰ Sanford, J. C. (2000). The development of the biolistic process. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 36(5), 303–308. <https://doi.org/10.1007/s11627-000-0056-9>
- ³¹ Bio-Rad Laboratories. (2000). Helios Gene Gun System (Instruction manual) (Catalog numbers 165-2431 and 165-2432). <https://www.bio-rad.com/webroot/web/pdf/lsr/literature/M1652411.pdf>
- ³² Taylor, N. J. y Fauquet, C. M. (2002). Microparticle bombardment as a tool in plant science and agricultural biotechnology. *DNA and Cell Biology*, 21(12), 963–977. <https://doi.org/10.1089/104454902762053891>



- ³³ Yang, G., Lee, Y. H., Jiang, Y., Kumpatla, S. P. y Hall T. C. (2005). Organization, not duplication, triggers silencing in a complex transgene locus in rice. *Plant Molecular Biology*, 58(3), 351-366. <https://doi.org/10.1007/s11103-005-5101-y>
- ³⁴ Breyer, D., Kopertekh, L. y Reheul, D. (2014). Alternatives to antibiotic resistance marker genes for in vitro selection of genetically modified plants—scientific developments, current use, operational access and biosafety considerations. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 33(4), 286-330. <https://doi.org/10.1080/07352689.2013.870422>
- ³⁵ Tropp, B. E. (2012). *Molecular biology: genes to proteins* (4^a ed.). Jones & Bartlett Learning.
- ³⁶ Liu, D. (2009). Design of gene constructs for transgenic maize. *Methods in Molecular Biology*, 526, 3–20. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-494-0_1
- ³⁷ Convention on Biological Diversity. (2017). *Living Modified Organism identity. MON-87427-7. Maize modified for tissue selective glyphosate tolerance*. Biosafety Clearing House. <https://bch.cbd.int/en/database/ORG/BCH-ORGA-SCBD-246/6>
- ³⁸ Breyer, D., Kopertekh, L. y Reheul, D. (2014). *Op. Cit.*
- ³⁹ MON1445 [GM approval data base]. (s/f). International service for the acquisition of agri-biotech applications. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/event/>
- ⁴⁰ Breyer, D., Kopertekh, L. y Reheul, D. (2014). *Op. Cit.*
- ⁴¹ Kikkert, J. R. (1993). The Biolistic® PDS-1000/He Device. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 33, 221-226. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02319005>
- ⁴² Podevin, N. y du Jardin, P. (2012). Possible consequences of the overlap between the CaMV 35S promoter regions in plant transformation vectors used and the viral gene VI in transgenic plants. *GM Crops & Food*, 3(4), 296-300. <https://doi.org/10.4161/gmcr.21406>
- ⁴³ Novak, W. K. y Haslberger, A. G. (2000). Substantial equivalence of antinutrients and inherent plant toxins in genetically modified novel foods. *Food Chemical Toxicology*, 38(6), 473-83. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(00\)00040-5](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(00)00040-5)
- ⁴⁴ Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2000). *Aspectos relativos a la inocuidad de los alimentos de origen vegetal genéticamente modificados*. https://www.fao.org/fileadmin/templates/agns/pdf/topics/ec_june2000_es.pdf
- ⁴⁵ Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *Statistics*. <https://www.fao.org/statistics/en/>
- ⁴⁶ Heinemann, J. A., Massaro, M., Coray, D. S., Agapito-Tenfen, S. Z. y Wen, J. D. (2013). Sustainability and innovation in staple crop production in the US Midwest. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 12, 71-88. <http://dx.doi.org/10.1080/14735903.2013.806408>
- ⁴⁷ NASEM. (2016). *Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects*. The National Academies Press. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. <https://doi.org/10.17226/23395>
- ⁴⁸ González, M. A. y Ávila, C. J. F. (2014). El maíz en Estados Unidos y en México. Hegemonía en la producción de un cultivo. *Argumentos*, 27(75), 215-237.
- ⁴⁹ Márquez-Sánchez, F. (2009). From maize native varieties to transgenic hybrids: II. Hybridization. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 6(2), 161-176.
- ⁵⁰ Polanco-Jaime, A. y Puentes-González, A. (2013). La siembra comercial de maíz transgénico en México en el marco de la biotecnología y la política pública. En E. R. Álvarez-Buylla y A. Piñeyro-Nelson (Coords), *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 187-230). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ⁵¹ Gurian-Sherman, D. (2009). *Failure to yield: Evaluating the performance of genetically engineered crops*. Union of Concerned Scientists.
- ⁵² Ma, B. L. y Subedi, K. D. (2005). Development, yield, grain moisture and nitrogen uptake of Bt corn hybrids and their conventional near-isolines. *Field Crops Research*, 93(2-3), 199-211.
- ⁵³ Khaipho-Burch, M., Cooper, M., Crossa, J., de Leon, N., Holland, J., Lewis, R., McCouch, S., Murray, S. C., Rabbi, I., Ronald, P., Ross-Ibarra, J., Weigel, D. y Buckler, E. S. (2023). Genetic modification can improve crop yields — but stop overselling it. *Nature*, 621, 470-473. <https://doi.org/10.1038/d41586-023-02895-w>
- ⁵⁴ Fernandez-Cornejo, J., Wechsler, S., Livingston, M. y Mitchell, L. (2014). Genetically Engineered Crops in the United States. *Department of Agriculture, Economic Research Service*, 162, p. 12.
- ⁵⁵ Hug, K. (2008). Genetically modified organisms: do the benefits outweigh the risks?. *Medicina*, 44(2), p. 87. <https://doi.org/10.3390/medicina44020012>
- ⁵⁶ Bravo, V. E. (2014). Los cultivos transgénicos y los paradigmas científicos de los que emergen a la luz de los derechos de la naturaleza. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (16), 54-75.
- ⁵⁷ Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Agricultural production statistics 2000–2021*. <https://www.fao.org/3/cc3751en/cc3751en.pdf>
- ⁵⁸ Popkin, B. M., Adair, L. S. y Ng, S. W. (2012). Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. *Nutrition reviews*, 70, 3-21. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00456.x>
- ⁵⁹ McCrory, M. A., Harbaugh, A. G., Appeadu, S. y Roberts, S. B. (2019). Fast-food offerings in the United States in 1986, 1991, and 2016 show large increases in food variety, portion size, dietary energy, and selected micronutrients. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 119(6), 923-933. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.12.004>



- ⁶⁰ Abrams, S. A., Albin, J. L., Landrigan, P. J., Committee on nutrition, Council on environmental health and climate change. (2023). Use of genetically modified organism (GMO)- containing food products in children. *Pediatrics*, 153. <https://doi.org/10.1542/peds.2023-064774>
- ⁶¹ Vega, M. N., Ponce, R. R., Martínez, Y., Carrasco, O. y Cerritos, R. (2018). Implications of the Western Diet for Agricultural Production, Health and Climate Change. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00088>
- ⁶² Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). *Food consumption nutrients spreadsheet*.
- ⁶³ Neupane, D. (2015). Junk Food and Food Insecurity in Developing Countries. *Health for All*, 2, 6–8. <https://nepjol.info/index.php/JHFA/article/view/11892>
- ⁶⁴ Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47(5), 881–898. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>
- ⁶⁵ Abrams, S. A., Albin, J. L., Landrigan, P. J., Committee on nutrition, Council on environmental health and climate change. (2023). *Op. cit.*
- ⁶⁶ Dionglay, C. (2022). *Commercially available biotech crops and where to find them*. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. <https://www.isaaa.org/blog/entry/default.asp?BlogDate=5/11/2022>
- ⁶⁷ Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s/f). *Crops and livestock products*. FAOSTAT. Recuperado en diciembre de 2023. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- ⁶⁸ Dionglay, C. (11 de mayo de 2022). *Op. cit.*
- ⁶⁹ ISAAA. (2016). *Brief 55: Global status of commercialized biotech/GM crops: 2019*. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/default.asp>
- ⁷⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *Estimating global and country-level employment in agrifood systems*. En *FAO Statistics Working Paper Series (Vols. 23–24)*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc4337en>
- ⁷¹ ISAAA. (s.f.). *GM Events with Glyphosate herbicide tolerance* [Online GM approval data base]. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. <https://www.org/gmapprovaldatabase/gmtrait/default.asp?TraitID=2&GMTrait=Glyphosate%20herbicide%20tolerance>
- ⁷² ISAAA. (s.f.). *GM Approval Database* [Base de datos]. International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. Recuperado en diciembre de 2023. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>
- ⁷³ ISAAA. (s.f.). *Op. Cit.*
- ⁷⁴ USDA. (2023). *Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S* [Conjunto de datos]. Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/data-products/adoption-of-genetically-engineered-crops-in-the-u-s/>
- ⁷⁵ Ibrahim, M. A., Griko, N., Junker, M. y Bulla, L. A. (2010). *Bacillus thuringiensis: a genomics and proteomics perspective*. *Bioengineered bugs*, 1, 31–50. <https://doi.org/10.4161/bbug.1.1.10519>
- ⁷⁶ Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, Zeigler, D. R. y Dean, D. H. (1998). *Bacillus thuringiensis and its pesticidal crystal proteins*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(3), 775–806. <https://doi.org/10.1128/mmr.62.3.775-806.1998>
- ⁷⁷ Li, J. D., Carroll, J. y Ellar, D. J. (1991). Crystal structure of insecticidal delta-endotoxin from *Bacillus thuringiensis* at 2.5 Å resolution. *Nature*, 353(6347), 815–821. <https://doi.org/10.1038/353815a0>
- ⁷⁸ Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. R. y Dean, D. H. (1998). *Op. Cit.*
- ⁷⁹ Wei, J. Z., Hale, K., Carta, L., Platzer, E., Wong, C., Fang, S. C. y Aroian, R. V. (2003). *Bacillus thuringiensis crystal proteins that target nematodes*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), 2760–2765. <https://doi.org/10.1073/pnas.0538072100>
- ⁸⁰ Palma, L., Muñoz, D., Berry, C., Murillo, J. y Caballero, P. (2014). *Bacillus thuringiensis toxins: an overview of their biocidal activity*. *Toxins*, 6(12), 3296–3325. <https://doi.org/10.3390/toxins6123296>
- ⁸¹ Bravo, A., Gómez, I., Conde, J., Muñoz-Garay, C., Sánchez, J., Miranda, R., Zhuang, M., Gill, S. S. y Soberón, M. (2004). Oligomerization triggers binding of a *Bacillus thuringiensis* CryIAb pore-forming toxin to aminopeptidase N receptor leading to insertion into membrane microdomains. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1667, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2004.08.013>
- ⁸² Liu D. (2009). *Op. Cit.*
- ⁸³ Buffin, D. y Jewell, T. (2001). Health and Environmental Impacts of Glyphosate. The implications of increased use of glyphosate in association with genetically modified crops. *The Pesticide Action Network Reino Unido*, p. 40.
- ⁸⁴ Duke, S. y F. Dayan. (2011). Bioactivity of Herbicides. En M. Moo-Young (2ª ed.), *Comprehensive Biotechnology*. Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-08-088504-9.00273-7
- ⁸⁵ BCH. (s.f.). *Modified Organism MON-Ø4Ø32-6 - Roundup Ready™ soybean* [Base de datos]. Biosafety Clearing-House. Recuperado en junio de 2020 de <http://bch.cbd.int/database/record.shtml?documentid=14796>
- ⁸⁶ Herrmann, K. M. y Weaver, L. M. (1999). The shikimate pathway. *Annual review of plant biology*, 50, 473–503. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.473>
- ⁸⁷ Carreón Zuñiga, M. A. (1994). Field Trials with Transgenic Plants: The Regulatory History and Current Situation in Mexico. En Krattiger, A.F. y A. Rosemarin (Eds.). *Biosafety for Sustainable Agriculture: Sharing Biotechnology Regulatory Experiences of the Western Hemisphere* (pp. 207–213). ISAAA: Ithaca & SEI: Stockholm.

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ⁸⁸ Sandoval, V. D. (2017). *Treinta años de transgénicos en México* (pp. 3-4). Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano.
- ⁸⁹ CIBIOGEM. (2021). *Autorizaciones emitidas por organismo de 1995 a 2021*. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/ensayos-productos-autorizados-por-cultivo-1988-2005>
- ⁹⁰ Sandoval, V. D. (2017). *Op. Cit.*
- ⁹¹ CIBIOGEM (s.f.). *Registro Nacional de OGM*. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/registro-nacional-bioseguridad-ogms>
- ⁹² Serratos, J. A. H. (2009). Bioseguridad y dispersión de maíz transgénico en México. *Ciencias*, 92-93, 133-134
- ⁹³ CIBIOGEM (s.f.). *Registro. Op. Cit.*
- ⁹⁴ CIBIOGEM (2021). *Solicitudes de permisos de liberación de 2020*. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/solicitudes/permisos-de-liberacion/solicitudes-de-permisos-de-liberacion-2020>
- ⁹⁵ CIBIOGEM (s.f.). *Registro. Op. Cit.*
- ⁹⁶ CIBIOGEM. (s.f.). *Ídem.*
- ⁹⁷ CIBIOGEM. (s.f.). *Ídem.*
- ⁹⁸ Mesnage, R. V. V. y Antoniou, M. (2018). Roundup ready! Glyphosate and the current controversy over the world's leading herbicide. En *Encyclopedia of the Anthropocene*. Elsevier.
- ⁹⁹ Baer, K. N. y Marcel, B. J. (2014). Glyphosate (3^a ed.). En *Encyclopedia of Toxicology* (pp. 767-769). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00148-2>
- ¹⁰⁰ Valavanidis, A. (2018). *Glyphosate, the most widely used herbicide. Health and safety issues. Why scientists differ in their evaluation of its adverse health effects.*
- ¹⁰¹ Tang, Q., Tang, J., Ren, X. y Li, C. (2020). Glyphosate exposure induces inflammatory responses in the small intestine and alters gut microbial composition in rats. *Environmental Pollution*, 261, 114129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114129>
- ¹⁰² Mesnage, R., Benbrook, C. y Antoniou, M. N. (2019). Insight into the confusion over surfactant co-formulants in glyphosate-based herbicides. *Food and Chemical Toxicology*, 128, 137-145. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.053>
- ¹⁰³ Novotny, E. (2022). Glyphosate, Roundup and the failures of regulatory assessment. *Toxics*, 10(6), p. 321. <https://doi.org/10.3390/toxics10060321>
- ¹⁰⁴ Jungers G., Portet-Koltalo, F., Cosme J. y Seralini, G. E. (2022). Petroleum in pesticides: a need to change regulatory toxicology. *Toxics*, 10(11), 670. <https://doi.org/10.3390/toxics10110670>
- ¹⁰⁵ Mesnage, R., Benbrook, C. y Antoniou, M. N. (2019). *Op. cit.*
- ¹⁰⁶ Benachour, N. y Seralini, G. E. (2009). Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chemical Research In Toxicology*, 22, 97-105. <https://doi.org/10.1021/tx800218n>
- ¹⁰⁷ Simasotchi, C., Chissey, A., Jungers, G., Fournier, T., Seralini, G-E. y Gil, S. (2021). A Glyphosate-based formulation but not glyphosate alone alters human placental integrity. *Toxics*, 9(9), p. 220. <https://doi.org/10.3390/toxics9090220>
- ¹⁰⁸ EPA. (1997). *Pesticide Regulation Notice 97-6: Use of Term «Inert» in the Label Ingredients Statement*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/pesticide-registration/prn-97-6-use-term-inert-label-ingredients-statement>
- ¹⁰⁹ Maggi, F., la Cecilia, D., Tang, F. H. M. y McBratney, A. (2020). The global environmental hazard of glyphosate use. *The Science of the Total Environment*, 717, 137167. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137167>
- ¹¹⁰ Mañas, F., Peralta, L., Raviolo, J., García, O. H., Weyers, A., Ugnia, L., Gonzalez, C. M., Larripa, I. y Gorla, N. (2009). Genotoxicity of AMPA, the environmental metabolite of glyphosate, assessed by the Comet assay and cytogenetic tests. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(3), 834-837. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.09.019>
- ¹¹¹ Bai, S. H. y Ogbourne, S. M. (2016). Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 18988-19001, <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7425-3>.
- ¹¹² CIBIOGEM. (s.f.). *Efectos nocivos del herbicida glifosato*. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/documentos-y-actividades-en-bioseguridad/repositorio-glifosato>
- ¹¹³ Rossi, E. M. (2018). *Antología Toxicológica del Glifosato* (5^a ed.). Naturaleza de Derechos. <https://imagenagropecuaria.com/revista/wp-content/uploads/2020/05/antologia5.pdf>
- ¹¹⁴ ISAAA. (s.f.). *Op. Cit. GM Approval database.*
- ¹¹⁵ ISAAA. (s.f.). *Ídem. GM Approval database.* Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. (s.f.). *Ídem.*
- ¹¹⁶ USDA. (2023). *Op. Cit. Adoption of Genetically Engineered Crops in the U.S.*
- ¹¹⁷ Cibiogem. (s.f.). *Op. Cit. Registro*
- ¹¹⁸ ISAAA. (2018). *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2018. Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications.* <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/default.asp>
- ¹¹⁹ Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(3). <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>



- ¹²⁰ Woodburn, A. T. (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science*, 56(4), 309-312. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1526-4998\(200004\)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/(SICI)1526-4998(200004)56:4<309::AID-PS143>3.0.CO;2-C)
- ¹²¹ Duke, S. O. y Powles, S. B. (2008). Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science*, 64(4), 319-325. <https://doi.org/10.1002/ps.1518>
- ¹²² Mesnage, R., Clair, E., Gress, S., Then, C., Székács, A. y Séralini, G. E. (2013). Cytotoxicity on human cells of Cry1Ab and Cry1Ac Bt insecticidal toxins alone or with a glyphosate-based herbicide. *Journal Applied Toxicology*, 33(7), 695-699. <https://doi.org/10.1002/jat.2712>
- ¹²³ González-Ortega, E., Piñeyro-Nelson, A., Gómez-Hernández, E., Monterrubio-Vázquez, E., Arleo, M., Dávila-Velderrain, J. y Álvarez-Buylla, E. R. (2017). Pervasive presence of transgenes and glyphosate in maize-derived food in Mexico. *Agroecology and sustainable food systems*, 41(9-10), 1146-1161. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1372841>
- ¹²⁴ Xu, J., Smith, S., Smith, G., Wang, W. y Li, Y. (2019). Glyphosate contamination in grains and foods: An overview. *Food Control*, 106, 106710. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106710>
- ¹²⁵ LEISA. (s.f.). Glifosato presente en trigo, la avena y frijoles. <http://www.leisa-al.org/web/index.php/lasnoticias/alimentacion-saludable/1391-qlifosato-presente-en-trigo-la-avena-y-frijoles>
- ¹²⁶ Gillam, C. (2017). *FDA Tests confirm oatmeal, baby foods contain residues of Monsanto weed killer hoffpost*. Huffspot. https://www.huffpost.com/entry/fda-tests-confirm-oatmeal_b_12252824
- ¹²⁷. EWG. (2018). *New round of EWG testing finds glyphosate in kids' breakfast foods from Quaker Oats, General Mills*. Environmental Working Group. <https://www.ewg.org/childrenshealth/22275/new-round-ewg-testing-finds-glyphosate-kids-breakfast-foods-quaker-oats>
- ¹²⁸ EWG. (2021). Environmental Working Group. *Shopper's guide to pesticides in produce*. <https://www.ewg.org/foodnews/summary.php>
- ¹²⁹ Monsanto. (2016). *Preharvest Staging guide*. <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2016/09/Monsanto-application-guide-for-preharvest.pdf>
- ¹³⁰ Bøhn, T., Cuhra, M., Traavik, T., Sanden, M., Fagan, J. y Primicerio, P. (2014). Compositional differences in soybeans on the market: Glyphosate accumulates in Roundup Ready GM soybeans. *Food Chemistry*, 153, 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.054>
- ¹³¹ Rubio, F., Guo, E. y Kamp, L. (2014). Survey of glyphosate residues in honey, corn and soy products. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 5, 249. DOI: 10.4172/2161-0525.1000249
- ¹³² Zoller, O., Rhyn, P., Rupp, H., Zarn, J. A. y Geiser, C. (2018). Glyphosate residues in Swiss market foods: Monitoring and risk evaluation. *Food Additives and Contaminants: Part B, Surveillance*, 11(2), 83-91. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1419509>
- ¹³³ Cook, K. (2019). *Glyphosate in Beer and Wine*. CalPIRG Education Fund. https://pirg.org/wp-content/uploads/2022/07/WEB_CAP_Glyphosate-pesticide-beer-and-wine_REPORT_022619.pdf
- ¹³⁴ Noori, J. S., Dimaki, M., Mortensen, J. y Svendsen, W. E. (2018). Detection of glyphosate in drinking water: a fast and direct detection method without sample pretreatment. *Sensors*, 18(9), 2961. <https://doi.org/10.3390/s18092961>
- ¹³⁵ Myers, J. P., Antoniou, M.N., Blumberg, B., Carroll, L., Colborn, T., Everett, L. G., Hansen, M., Landrigan, P. J., Lanphear, B. P., Mesnage, R., Vandenberg, L. N., vom Saal, F. S., Welshons, W. V. y Benbrook, C. M. (2016). Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: a consensus statement. *Environmental Health*, 15(19). <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>
- ¹³⁶ Torretta, V., Katsoyiannis, I. A., Viotti, P. y Rada, E. C. (2018). Critical review of the effects of glyphosate exposure to the environment and humans through the food supply Chain. *Sustainability*, 10(4), 950. <https://doi.org/10.3390/su10040950>
- ¹³⁷ Kolakowski, B. M., Miller, L., Murray, A., Leclair, A., Bietlot, H. y van de Riet, J. M. (2020). Analysis of glyphosate residues in foods from the Canadian retail markets between 2015 and 2017. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(18), 5201-5211. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b07819>
- ¹³⁸ Bøhn, T. y Millstone, E. (2019). The introduction of thousands of tonnes of glyphosate in the food chain-an evaluation of glyphosate tolerant soybeans. *Foods*, 8(12), 669. <https://doi.org/10.3390/foods8120669>
- ¹³⁹ Abrams, S. A., Albin, J. L., Landrigan, P. J., Committee on nutrition, Council on environmental health and climate change. (2023). *Op. cit.*
- ¹⁴⁰ Jarrell, Z. R., Ahammad, M. U. y Benson, A. P. (2020). Glyphosate-based herbicide formulations and reproductive toxicity in animals. *Veterinary and Animal Science*, 10, 100126. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2020.100126>
- ¹⁴¹ Krüger, M., Schledorn, P., Schrödl, W., Hoop, H-W., Lutz, W. y Sheata, A. A. (2014). Detection of Glyphosate residues in animals and humans. *Environmental & Analytical Toxicology*, 4(2), 1000210. doi: 10.4172/2161-0525.1000210
- ¹⁴² Krüger, M., Schrödl, W., Neuhaus, J. y Shehata, A. (2013). Field investigations of Glyphosate in urine of danish dairy cows. *Environmental & Analytical Toxicology*, 3(5), 1000186. doi: 10.4172/2161-0525.1000186
- ¹⁴³ Schnabel, K., Schmitz, R., von Soosten, D., Frahm, J., Kersten, S., Meyer, U., Breves, G., Hackenberg, R., Spitzke, M. y Dänicke, S. (2017). Effects of glyphosate residues and different concentrate feed proportions on performance, energy metabolism and health characteristics in lactating dairy cows. *Archives of Animal Nutrition*, 71(6), 413-427. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1391487>



- ¹⁴⁴Schrödl, W., Krüger, S., Konstantinova-Müller, T., Sheata, A. A., Rulff, R. y Krüger, M. (2014). Possible effects of Glyphosate on mucorales abundance in the rumen of dairy cows in Germany. *Current Microbiology*, 69, 817–823. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0656-y>
- ¹⁴⁵ von Soosten, D., Meyer, U., Hüther, L., Dänicke, S., Lahrssen-Wiederholt, M., Schafft, H., Spolders, M. y Breves, G. (2016). Excretion pathways and ruminal disappearance of glyphosate and its degradation product aminomethylphosphonic acid in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5318–5324. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10585>
- ¹⁴⁶ Gillezeau, C., van Gerwen, M., Shaffer, R. M., Rana, I., Zhang, L., Sheppard, L. y Taioli, E. (2019). The evidence of human exposure to glyphosate: a review. *Environmental Health*, 18(2). <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0435-5>
- ¹⁴⁷ Gandhi, K., Khan, S., Patrikar, M., Markad, A., Kumar, N., Choudhari, A., Sagar, P. y Indurkar, S. (2021). Exposure risk and environmental impacts of glyphosate: Highlights on the toxicity of herbicide co-formulants. *Environmental Challenges*, 4, 100149. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100149>
- ¹⁴⁸ Grau, D., Grau, N., Gascuel, Q., Paroissin, C., Stratonovitch, C., Lairon, D., Devault, D. A. y Di Cristofaro, J. (2022). Quantifiable urine glyphosate levels detected in 99% of the French population, with higher values in men, in younger people, and in farmers. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(22), 32882–32893. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18110-0>
- ¹⁴⁹ NCHS. (2022). *Glyphosate (GLYP) - Urine (SSGLYP_H)*. National Health and Nutrition Examination Survey [Base de datos]. National Center of Health Statistics En CDC. https://www.cdc.gov/Nchs/Nhanes/2013-2014/SSGLYP_H.htm
- ¹⁵⁰ Chang, V. C., Andreotti, C., Ospina, M., Parks, C. G., Liu, D., Shearer, J. J., Rothman, N., Silverman, D. T., Sandler, D. P., Calafat, A. M., Beane Freeman, L. E. y Hofmann, J. N. (2023). Glyphosate exposure and urinary oxidative stress biomarkers in the Agricultural Health Study. *Journal of the National Cancer Institute*, 115(4), 394–404. <https://doi.org/10.1093/jnci/djac242>
- ¹⁵¹ Parvez, S., Gerona, R. R., Proctor, C., Friesen, M., Ashby, J. L., Reiter, J. L., Lui, Z. y Winchester, P. D. (2018). Glyphosate exposure in pregnancy and shortened gestational length: a prospective Indiana birth cohort study. *Environmental Health*, 17(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0367-0>
- ¹⁵² Lesseur, C., Pirrotte, P., Pathak, K. V., Manservigi, F., Mandrioli, D., Belpoggi, F., Panzacchi, S., Li, Q., Barrett, E. S., Nguyen, R. N. H, Sathyanarayana, S., Swan, S. H. y Chen, J. (2021). Maternal urinary levels of glyphosate during pregnancy and anogenital distance in newborns in a US multicenter pregnancy cohort. *Environmental Pollution*, 280, 117002. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117002>
- ¹⁵³ Acquavella, J., Alexander, B., Mandal, J., Gustin, C., Baker, B., Chapman, P. y Bleeke, M. (2004). Glyphosate Biomonitoring for farmers and their families: results from the farm family exposure study. *Environmental Health Perspectives*, 112(3), 321–326. <https://doi.org/10.1289/ehp.6667>
- ¹⁵⁴ Mills, P. J., Kania-Korwel, I., Fagan, J., McEvoy, L. K., Laughlin, G. A. y Barrett-Connor, E. (2017). Excretion of the Herbicide Glyphosate in Older Adults Between 1993 and 2016. *JAMA*, 318(16), 1610–1611. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.11726>
- ¹⁵⁵ Franke, A. A., Li, X., Shvetsov, Y. B. y Lai, J.F. (2021). Pilot study on the urinary excretion of the glyphosate metabolite aminomethylphosphonic acid and breast cancer risk: The Multiethnic Cohort study. *Environmental Pollution*, 277, 116848. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116848>
- ¹⁵⁶ Maina, L. (2015). Ratas de laboratorio: veinte años de glifosato en Argentina. *Soberanía alimentaria, biodiversidad y culturas*, (21), 24–29.
- ¹⁵⁷ Verzeñassi, D., Vallini, A., Fernández, F., Ferrazini, L., Lasagna, M., Sosa, A. J. y Hough, G. E. (2023). Cancer incidence and death rates in Argentine rural towns surrounded by pesticide-treated agricultural land. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 20, 101239. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2023.101239>
- ¹⁵⁸ Camiccia, M., Candiotta, L. Z. P., Gaboardi, S. C., Panis, C. y Kottwitz, L. B. M. (2022). Determination of glyphosate in breast milk of lactating women in a rural area from Paraná state, Brazil. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 55, e12194. <https://doi.org/10.1590/1414-431X2022e12194>
- ¹⁵⁹ Santana, R. (2020). *Mayas denuncian la siembra de soya y maíz transgénico en Hopelchén, Campeche*. Cencos. <https://cencos.com.mx/2020/12/mayas-denuncian-la-siembra-de-soya-y-maiz-transgenico-en-hopelchen-campeche/>
- ¹⁶⁰ Rendon-von, O. J. y Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: a survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6), 595. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>
- ¹⁶¹ Polanco-Minaya, H. (2006). *Efecto de la exposición crónica a plaguicidas sobre la calidad de semen y el perfil de hormonas hipofisarias y sexuales en trabajadores agrícolas de la comunidad de Muna, Yucatán, México*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán].
- ¹⁶² Rodríguez-Chan, A. G. (2006). *Exposición crónica a plaguicidas agrícolas y efectos neurológicos en agricultores de Muna, Yucatán*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán].
- ¹⁶³ Pérez-Herrera, N., Polanco-Minaya, H., Salazar-Arredondo, E., Solís-Heredia, M. J., Hernández, O. I., Rojas-García, E., Alvarado-Mejía, J., Borja-Aburto, V. H. y Quintanilla-Vega, B. (2008). PON1Q192R genetic polymorphism modifies organophosphorous pesticide effects on semen quality and DNA integrity in agricultural Workers from southern Mexico. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 230(2), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2008.02.021>



- ¹⁶⁴ Sánchez-Guerra, M. A. (2007). *Participación de los polimorfismos CYP1A*1F, CYP2B*22 y CYP3A4*18 en la susceptibilidad a los efectos neurológicos causados por la exposición ocupacional a plaguicidas organofosforados* [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional].
- ¹⁶⁵ Pérez-Herrera, N. E., Alvarado-Mejía, J. A., Castillo-Burguete, M. T., González-Navarrete, R. L. y Quintanilla-Vega, M. B. (2012). Efectos reproductivos en agricultores expuestos a plaguicidas en Muna, Yucatán. En Cedillo, L. A. y Cano- Robles, F. K. (comps.), *Género, Ambiente y Contaminación por Sustancias Químicas* (pp. 79-94). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología.
- ¹⁶⁶ Sierra-Díaz, E., Celis-de la Rosa, A. J., Lozano-Kasten, F., Trasande, L., Peregrina-Lucano, A. A., Sandoval-Pinto, E. y Gonzalez-Chavez H. (2019). Urinary pesticide levels in children and adolescents residing in two agricultural communities in Mexico. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 562.
- ¹⁶⁷ Lozano-Kasten, F., Sierra-Díaz, E., Chavez, H. G., Peregrina Lucano, A. A., Cremades, R., y Pinto, E. S. (2021). Seasonal urinary levels of glyphosate in children from agricultural communities. *Dose-Response*, 19(4), 15593258211053184. <https://doi.org/10.1177/15593258211053184>
- ¹⁶⁸ Ruiz-Velazco, N. G., Lozano-Kasten, F. J., Guzman-Torres, H. y Mejía-Sánchez, A. I. (2022). Social determinants and chronic kidney disease of undetermined origin in childhood: Its communication and understanding described by families in Lake Chapala, Mexico. *Frontiers in Nephrology*, 2, 962887. <https://doi.org/10.3389/fneph.2022.962887>
- ¹⁶⁹ Lozano-Kasten, F., Sierra-Díaz, E., Chavez, H. G., Peregrina Lucano, A. A., Cremades, R., y Pinto, E. S. (2021). *Op. Cit.*
- ¹⁷⁰ Liu, J., Wang, L., Li, S., Lin, Z., Yang, G. y Miao, Z. (2024). Association of urine glyphosate levels with renal injury biomarkers in children living close to major vegetable-producing regions in China. *Science of The Total Environment*, 912, 168677. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168677>
- ¹⁷¹ Maina, L. (2015). *Op. Cit.*
- ¹⁷² Ferreira, C., Duarte, S. C., Costa, E., Pereira, A. M., Silva, L. J., Almeida, A. y Pena, A. (2021). Urine biomonitoring of glyphosate in children: Exposure and risk assessment. *Environmental Research*, 198, 111294. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111294>
- ¹⁷³ Grau, D., Grau, N., Gascuel, Q., Paroissin, C., Stratonovitch, C., Lairon, D., Devault, D. A. y Di Cristofaro, J. (2022). *Op. Cit.*
- ¹⁷⁴ Stajniko, A., Snoj, T. J., Kosjek, T., Mazej, D., Jagodic, M., Eržen, I. y Horvat, M. (2020). Seasonal glyphosate and AMPA levels in urine of children and adolescents living in rural regions of Northeastern Slovenia. *Environment International*, 143, 105985. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105985>
- ¹⁷⁵ Mesnage, R., Bowyer, R. C. E., El Balkhi, S., Saint-Marcoux, F., Gardere, A., Ducarmon, Q. R., Geelen, A. R., Zwitterink, R. D., Tsoukalas, D., Sarandi, E., Paramera, E. I., Spector, T., Steves, C. J. y Antoniou, M. N. (2022). Impacts of dietary exposure to pesticides on faecal microbiome metabolism in adult twins. *Environmental Health*, 21, 46. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00860-0>
- ¹⁷⁶ Kongtip, P., Nankongnab, N., Phupancharoensuk, R., Palarach, C., Sujirarat, D., Sangprasert, S., Sermsuk, M., Sawattrakool, N. y Woskie, S. R. (2017). Glyphosate and paraquat in maternal and fetal serums in Thai women. *Journal of Agromedicine*, 22(3), 282–289. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1319315>
- ¹⁷⁷ Gillezeau, C., van Gerwen, M., Shaffer, R. M., Rana, I., Zhang, L., Sheppard, L. y Taioli, E. (2019). *Op. Cit.*
- ¹⁷⁸ Niemann, L., Sieke, C., Pfeil, R. y Solecki, R. (2015). A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 10, 3–12. <https://doi.org/10.1007/s00003-014-0927-3>
- ¹⁷⁹ Gillezeau, C., van Gerwen, M., Shaffer, R. M., Rana, I., Zhang, L., Sheppard, L. y Taioli, E. (2019). *Op. Cit.*
- ¹⁸⁰ Guzman-Torres, H., Sandoval-Pinto, E., Cremades, R., Ramírez-de-Arellano, A., García-Gutiérrez, M., Lozano-Kasten, F., & Sierra-Díaz, E. (2023). Frequency of urinary pesticides in children: a scoping review. *Frontiers in Public Health*, 11, 1227337. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1227337>
- ¹⁸¹ Chang, F., Simcik, M. F. y Capel, P. D. (2011). Occurrence and fate of the herbicide glyphosate and its degradate aminomethylphosphonic acid in the atmosphere. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 30(3), 548-555. <https://doi.org/10.1002/etc.431>
- ¹⁸² Scribner, E. A., Battaglin, W. A., Gilliom, R. J. y Meyer, M. T. (2007). Concentrations of glyphosate, its degradation product, aminomethylphosphonic acid, and glufosinate in ground- and surface-water, rainfall, and soil samples collected in the United States, 2001-06. U.S. *Geological Survey Scientific Investigations Report 2007-5122*, p. 111. <https://doi.org/10.3133/sir20075122>
- ¹⁸³ Sharkey, A. M., Hartig, A. M., Dang, A. J., Chatterjee, A., Williams, B. J. y Parker, K. M. (2022). Amine volatilization from herbicide salts: implications for herbicide formulations and atmospheric chemistry. *Environmental Science & Technology*, 56(19), 13644-13653. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c03740>
- ¹⁸⁴ Maina, L. (2015). *Op. Cit.*
- ¹⁸⁵ Verzeñassi, D., Vallini, A., Fernández, F., Ferrazini, L., Lasagna, M., Sosa, A. J. y Hough, G. E. (2023). *Op. Cit.*
- ¹⁸⁶ Peruzzo, P. J., Porta, A. A. y Ronco, A. E. (2008). Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution*, 156, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.015>
- ¹⁸⁷ Lutri, V. F., Matteoda, E., Blarasin, M., Aparicio, V., Giacobone, D., Maldonado, L., Becher, F., Cabrera, A., y Giuliano, J. (2020). Hydrogeological features affecting spatial distribution of glyphosate and AMPA in groundwater and surface water in an

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx



100
AÑO DE
2024
Felipe Carrillo
PUERTO
RENERGENTE DEL PROLETARIADO.
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR
DEL MAYOR



- agroecosystem. Córdoba, Argentina. *Science of The Total Environment*, 771, 134557. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134557>
- ¹⁸⁸ Alonso, L. L., Demetrio, P. M., Agustina Etchegoyen, M. y Marino, D. J. (2018). Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. *Science of The Total Environment*, 645, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.134>
- ¹⁸⁹ Mac Loughlin, T. M., Peluso, L. y Marino, D. J. G. (2017). Pesticide impact study in the peri-urban horticultural area of Gran La Plata, Argentina. *Science of The Total Environment*, 598, 572-580. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.116>
- ¹⁹⁰ Fernandes, G., Aparicio, V. C., Bastos, M. C., De Gerónimo, E., Labanowski, J., Prestes, O. D., Zanella, R. y dos Santos, D. R. (2019). Indiscriminate use of glyphosate impregnates river epilithic biofilms in southern Brazil. *Science of The Total Environment*, 651, 1377-1387. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.292>
- ¹⁹¹ Arellano-Aguilar, O. y Rendón-von, J.O. (2016). *La Huella de los Plaguicidas en México*. Greenpeace.
- ¹⁹² La Jornada. (20 de octubre de 2021). Denuncian en Profepa siembra ilegal de soya y maíz en Campeche. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/10/20/sociedad/denuncian-en-profepa-siembra-ilegal-de-soya-y-maiz-en-campeche/#>
- ¹⁹³ Rendón-von Osten, J. y Dzul-Caamal, R. (2017). Glyphosate residues in groundwater, drinking water and urine of subsistence farmers from intensive agriculture localities: a survey in Hopelchén, Campeche, Mexico. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 14(6), 595. <https://doi.org/10.3390/ijerph14060595>
- ¹⁹⁴ González-Ortega, E. y Fuentes-Ponce, M. (2022). Dinámica del glifosato en el suelo y sus efectos en la microbiota. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 54197. <https://doi.org/10.20937/rica.54197>
- ¹⁹⁵ Sierra-Díaz, E., Celis-de la Rosa, A.J., Lozano-Kasten, F., Trasande, L., Peregrina-Lucano, A.A., Sandoval-Pinto, E. y Gonzalez-Chavez H. (2019). *Op. Cit.*
- ¹⁹⁶ Gómez, M. (2001). *Implicaciones ambientales y sociales de las fumigaciones aéreas con glifosato en Colombia: El ejemplo de la Sierra Nevada de Santa Marta*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma Latinoamericana]. p. 71.
- ¹⁹⁷ Corte Constitucional de Colombia. (2017). *Sentencia T-236 de 2017*. Secretaría Jurídica Distrital. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=82833>
- ¹⁹⁸ USDA. (2023). *Recent Trends in GE Adoption* [Conjunto de datos]. Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/data-products/adoption-of-genetically-engineered-crops-in-the-u-s/recent-trends-in-ge-adoption/>
- ¹⁹⁹ Domingo, J. L. (2000). Health risks of gm foods: many opinions but few data. *Science*, 288(5472), 1748-1749. <https://doi.org/10.1126/science.288.5472.1748>
- ²⁰⁰ OMS/FAO. (2000). *Op. Cit. Aspectos relativos*
- ²⁰¹ Druker, S. (2015). Genes alterados verdad adulterada. Como la empresa de los alimentos modificados genéticamente ha trastocado la ciencia corrompido a los gobiernos y engañado a la población. Icaria.
- ²⁰² Domingo, J. L. (2000). *Op. cit.*
- ²⁰³ Domingo, J. L. (2000). *Ídem*.
- ²⁰⁴ Fares, N. H. y El-Sayed, A. K. (1998). Fine structural changes in the ileum of mice fed on delta-endotoxin-treated potatoes and transgenic potatoes. *Natural Toxins*, 6(6), 219-233. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1522-7189\(199811/12\)6:6<219::aid-nt30>3.0.co;2-k](https://doi.org/10.1002/(sici)1522-7189(199811/12)6:6<219::aid-nt30>3.0.co;2-k)
- ²⁰⁵ Brake, J. y Vlachos, D. (1998). Evaluation of transgenic event 176 "Bt" corn in broiler chickens. *Poultry Science*, 77(5), 648-53. <https://doi.org/10.1093/ps/77.5.648>
- ²⁰⁶ OMS/FAO. (2000). *Op. Cit. Aspectos relativos*
- ²⁰⁷ Bernstein, I. L., Bernstein, J. A., Miller, M., Tierzieva, S., Bernstein, D. I., Lummus, Z., Selgrade, M. K., Doerfler, D. L. y Seligy, V. L. (1999). Immune responses in farm workers after exposure to Bacillus thuringiensis pesticides. *Environmental Health Perspectives*, 107(7), 575-582. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107575>
- ²⁰⁸ Rubio-Infante, N. y Moreno-Fierros, L. (2016). An overview of the safety and biological effects of Bacillus thuringiensis Cry toxins in mammals. *Journal of Applied Toxicology*, 36(5), 630-648. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(03\)00142-x](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(03)00142-x)
- ²⁰⁹ Robinson, C., Antoniou, M. y Fagan, J. (2015). *GMO Myths and Truths: a citizen's guide to the evidence on the safety and efficacy of genetically modified crops and foods*. (3ª ed.) Chelsea Green Publishing.
- ²¹⁰ Shaban, N. Z., Helmy, M. H., El-Kersh, M. A. y Mahmoud, B. F. (2003). Effects of Bacillus thuringiensis toxin on hepatic lipid peroxidation and free-radical scavengers in rats given alpha-tocopherol or acetylsalicylate. *Comparative Biochemistry and Physiology. Toxicology & Pharmacology: CBP*, 135(4), 405-414. [https://doi.org/10.1016/s1532-0456\(03\)00142-x](https://doi.org/10.1016/s1532-0456(03)00142-x)
- ²¹¹ Mezzomo, B. P., Miranda-Vilela, A. L., de Souza, I. F., Barbosa, L. C. P., Portilho, F. A., Lacava, Z. G. M. y Grisolia, C. K. (2013). Hematotoxicity of Bacillus thuringiensis as Spore-crystal Strains Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac or Cry2Aa in Swiss Albino Mice. *Journal of Hematology & Thromboembolic Diseases*, 104. doi:10.4172/jhtd.1000104
- ²¹² Santos-Vigil, K. I., Ilhuicatzí-Alvarado, D., García-Hernández, A. L., Herrera-García, J. S., & Moreno-Fierros, L. (2018) Study of the allergenic potential of Bacillus thuringiensis Cry1Ac toxin following intra-gastric administration in a murine model of food-allergy. *International Immunopharmacology*, 61, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2018.05.029>
- ²¹³ CDCP. (2001). *Investigation of human health effects associated with potential exposure to genetically modified corn*. Centers for Disease Control and Prevention, CDC. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/142549>.



- ²¹⁴ Bucchini, L. y Goldman, L.R. (2002). Starlink corn: a risk analysis. *Environmental Health Perspectives*, 110, 5-13. <https://doi.org/10.1289/ehp.021105>
- ²¹⁵ CDCP. (2001). *Op. Cit.*
- ²¹⁶ Bernstein, J. A., Bernstein, I. L., Bucchini, L., Goldman, L. R., Hamilton, R. G., Lehrer, S., Rubin, C. y Sampson, H. (2003). Clinical and laboratory investigation of allergy to genetically modified foods. *Environmental Health Perspectives*, 111(8), 1114-1121. <https://doi.org/10.1289/ehp.5811>
- ²¹⁷ Vázquez, R. I., Moreno-Fierros, L., Neri-Bazán, L., De La Riva, G. A. y López-Revilla, R. (1999). Bacillus thuringiensis CryIAC protoxin is a potent systemic and mucosal adjuvant. *Scandinavian Journal of Immunology*, 49(6), 578-84. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3083.1999.00534.x>
- ²¹⁸ Vázquez-Padrón, R. I., Moreno-Fierros, L., Neri-Bazán, L., de la Riva, G. A. y López-Revilla, R. (1999) Intragastric and intraperitoneal administration of CryIAC protoxin from Bacillus thuringiensis induces systemic and mucosal antibody responses in mice. *Life Sciences*, 64(21), 1897-1912. [https://doi.org/10.1016/s0024-3205\(99\)00136-8](https://doi.org/10.1016/s0024-3205(99)00136-8)
- ²¹⁹ Moreno-Fierros, L., Ruiz-Medina, E. J., Esquivel, R., López-Revilla, R. y Piña-Cruz, S. (2003). Intranasal CryIAC protoxin is an effective mucosal and systemic carrier and adjuvant of Streptococcus pneumoniae polysaccharides in mice. *Scandinavian Journal of Immunology*, 57, 45-55. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3083.2003.01190.x>
- ²²⁰ Jarillo-Luna, A., Moreno-Fierros, L., Campos-Rodríguez, R., Rodríguez-Monroy, M. A., Lara-Padilla, E., & Rojas-Hernández, S. (2008). Intranasal immunization with Naegleria fowleri lysates and CryIAC induces metaplasia in the olfactory epithelium and increases IgA secretion. *Parasite Immunology*, 30, 31-8. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.2007.00999.x>
- ²²¹ Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture. USDA. (2023). *Op. Cit.* Adoption...
- ²²² Domingo J. L. (2007). Toxicity studies of genetically modified plants: a review of the published literature. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 47(8), 721-33. <https://doi.org/10.1080/10408390601177670>
- ²²³ Domingo, J. L. (2007). *Ídem.*
- ²²⁴ Domingo, J. L. (2007). *Ídem.*
- ²²⁵ Domingo, J. L. (2007). *Ídem.*
- ²²⁶ Magaña-Gómez, J. A., Cervantes, G. L., Yepiz-Plascencia, G. y de la Barca, A. M. (2008). Pancreatic response of rats fed genetically modified soybean. *Journal of Applied Toxicology*. 28(2), 217-2 26. <https://doi.org/10.1002/jat.1319>
- ²²⁷ Finamore, A., Roselli, M., Britti, S., Monastra, G., Ambra, R., Turrini, A. y Mengheri, E. (2008). Intestinal and peripheral immune response to MON810 maize ingestion in weaning and old mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(23), 11533-11539. <https://doi.org/10.1021/jf802059w>
- ²²⁸ Magaña-Gómez, J. A., Cervantes, G. L., Yepiz-Plascencia, G. y de la Barca, A. M. (2008). *Op. cit.*
- ²²⁹ Magaña-Gómez, J. A., Cervantes, G. L., Yepiz-Plascencia, G. y de la Barca, A. M. (2008). *Ídem.*
- ²³⁰ Hammond, B., Lemen, J., Dudek, R., Ward, D., Jiang, C., Nemeth, M. y Burns, J. (2006). Results of a 90-day safety assurance study with rats fed grain from corn rootworm-protected corn. *Food and Chemical Toxicology*, 44, 147- 160. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.06.008>
- ²³¹ Séralini, G. E., Cellier, D. y de Vendomois, J. S. (2007). New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52(4), 596-602. <https://doi.org/10.1007/s00244-006-0149-5>
- ²³² Sagstad, A., Sanden, M., Haugland, Ø., Hansen, A. C., Olsvik, P. A. y Hemre, G. I. (2007). Evaluation of stress- and immune-response biomarkers in Atlantic salmon, Salmo salar L., fed different levels of genetically modified maize (Bt maize), compared with its near-isogenic parental line and a commercial suprex maize. *Journal of Fish Diseases*, 30(4), 201-212. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2007.00808.x>
- ²³³ Kiliç, A. y Akay, M. T. (2008). A three generation study with genetically modified Bt corn in rats: Biochemical and histopathological investigation. *Food and Chemical Toxicology*, 46(3), 1164-70. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.11.016>
- ²³⁴ Velimirov, A., Binter, C. y Zentek, J. (2008). *Biological effects of transgenic maize NK603xMON810 fed in long term reproduction studies in mice.* (Vol. 3). Forschungsberichte der Sektion IV/ Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend.
- ²³⁵ de Vendômois, J. S., Roullier, F., Cellier, D. y Séralini, G. E. (2009). A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *International Journal of Biological Sciences*, 5(7), 706-726. <https://doi.org/10.7150/ijbs.5.706>
- ²³⁶ Domingo, J. L. y Giné Bordonaba, J. (2011). A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environment International*, 37(4), 734-42. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.01.003>
- ²³⁷ Walsh, M. C., Buzoianu, S. G., Gardiner, G. E., Rea, M. C., Ross, R. P., Cassidy, J. P. y Lawlor P. G. (2012). Effects of short-term feeding of Bt MON810 maize on growth performance, organ morphology and function in pigs. *The British Journal of Nutrition*, 107(3), 364-371. <https://doi.org/10.1017/S0007114511003011>
- ²³⁸ Walsh, M.C., Buzoianu, S. G., Gardiner, G. E., Rea, M. C., Gelencsér, E., Jánosi, A., Epstein, M. M., Ross, R.P. y Lawlor P. G. (2011). Fate of transgenic DNA from orally administered Bt MON810 maize and effects on immune response and growth in pigs. *PLoS One*, 6(11), e27177. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027177>
- ²³⁹ Carman, J. A., Vlieger, H. R., Steeg, L. J. V., Sneller, V. E., Robinson, G. W., Clinch-Jones, C. A., Haynes, J. I. y Edwards, J. W. (2013). A long-term toxicology study on pigs fed a combined genetically modified (GM) soy and GM maize diet. *Journal of Organic Systems*, 8, 38-54. Disponible en <https://www.organic-systems.org/journal/8/1/8106.pdf>.



- ²⁴⁰ El-Shamei, Z. S., Gab-Alla, A.A., Shatta, A. A., Moussa, E. A. y Rayan, A. M. (2012). Histopathological changes in some organs of male rats fed on genetically modified corn (Ajeeb YG). *Journal of American Science*, 8(10), 684-696.
- ²⁴¹ Gab-Alla, A. A., El-Shamei, Z. S., Shatta, A. A., Moussa, E. A. y Rayan, A. M. (2012). Morphological and biochemical changes in male rats fed on genetically modified corn (Ajeeb YG). *Journal of American Science*, 8(9), 1117- 1123.
- ²⁴² Mesnage, R., Clair, E., Gress, S., Then, C., Székács, A. y Séralini, G. E. (2013). *Op. Cit.*
- ²⁴³ Gu, J., Krogdahl, Å., Sissener, N. H., Kortner, T. M., Gelencser, E., Hemre, G. I. y Bakke, A. M. (2013). Effects of oral Bt-maize (MON810) exposure on growth and health parameters in normal and sensitised Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *The British Journal of Nutrition*, 109(8), 1408-23. <https://doi.org/10.1017/S000711451200325X>
- ²⁴⁴ Mesnage, R., Agapito-Tenfen, S. Z., Vilperte, V., Renney, G., Ward, M., Séralini, G. E., Nodari, R. O. y Antoniou, M. N. (2016). An integrated multiomics analysis of the NK603 Roundup-tolerant GM maize reveals metabolism disturbances caused by the transformation process. *Nature*, 6, 37855. <https://doi.org/10.1038/srep37855>
- ²⁴⁵ Kiliçgün, H., Gürsul, M., Sunar, M. y Gökşen, G. (2013). The comparative effects of genetically modified maize and conventional maize on rats. *Journal of Clinical and Analytical Medicine*, 4(2), 136-139. doi:10.4328/JCAM.983
- ²⁴⁶ Andreassen, M., Rocca, E., Bøhn, T., Wikmark, O. G., van den Berg, J., Løvik, M., Traavik, T. y Nygaard, U. C. (2015). Humoral and cellular immune responses in mice after airway administration of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab and MON810 cry1Ab-transgenic maize. *Food and Agricultural Immunology*, 26(4), 521-537. <https://doi.org/10.1080/09540105.2014.988128>
- ²⁴⁷ Linn, M. D. y Moore, P. A. (2014). The effects of bt corn on rusty crayfish (*Orconectes rusticus*) growth and survival. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 67(3), 436-43. <https://doi.org/10.1007/s00244-014-0061-3>
- ²⁴⁸ Séralini, G. E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D. y de Vendômois, J. S. (2014). Republished study: long-term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. *Environmental Sciences Europe*, 26, 14. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0014-5>
- ²⁴⁹ Séralini, G. E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D. y de Vendômois, J. S. (2014). *Op. cit.*
- ²⁵⁰ Séralini, G. E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D. y de Vendômois, J. S. (2014). *idem.*
- ²⁵¹ Séralini, G. E., Mesnage, R., Defarge, N., Gress, S., Hennequin, D., Clair, E., Malatesta, M. y de Vendômois, J. S. (2013). Answers to critics: Why there is a long term toxicity due to a Roundup-tolerant genetically modified maize and to a Roundup herbicide. *Food and Chemical Toxicology*, 53, 476-483. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.11.007>
- ²⁵² Wisner Baum. (s.f.). *Secret documents. Monsanto Papers*. <https://www.wisnerbaum.com/toxic-tort-law/monsanto-roundup-lawsuit/monsanto-papers/>
- ²⁵³ Wisner Baum. (2019). *The monsanto papers-master chart*. <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/Monsanto%20Roundup%20pages/Secret%20Documents/monsanto-documents-chart-101217.pdf>
- ²⁵⁴ Cibiogem. (s/f). *Documentos de juicios por daños punitivos relacionados con el uso del glifosato (Monsanto papers)*. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. <https://conahcyt.mx/cibiogem/index.php/7-blog/968-monsanto-papers>
- ²⁵⁵ Oraby, H., Kandil, M., Shaffie, N. y Ghaly, I. (2015). Biological impact of feeding rats with a genetically modified-based diet. *Turkish Journal of Biology*, 39(2), 11. <https://doi.org/10.3906/biy-1406-61>
- ²⁵⁶ Glöckner, G. y Séralini, G. E. (2016). Pathology reports on the first cows fed with Bt176 maize (1997–2002). *Scholarly Journal of Agricultural Science*, 6, 1-8. <http://www.scholarly-journals.com/SJAS>
- ²⁵⁷ Ibrahim, M. A. y Okasha, E. F. (2016). Effect of genetically modified corn on the jejunal mucosa of adult male albino rat. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 68(10), 579-588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.etp.2016.10.001>
- ²⁵⁸ Zdziarski, I. M., Caporaloni, J. A. y Edwards, J. W. (2018). Histopathological investigation of the stomach of rats fed a 60% genetically modified corn diet. *Food and Nutrition Sciences*, 9(6), 763-796. <https://doi.org/10.4236/fns.2018.96058>
- ²⁵⁹ Hemre, G. I., Sanden, M., Bakke-McKellep, A. M., Sagstad, A. y Krogdahl, A. (2005). Growth, feed utilization and health of Atlantic salmon *Salmo salar* L. fed genetically modified compared to non-modified commercial hybrid soybeans. *Aquaculture Nutrition*, 11(3), 157–167. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2005.00328.x>
- ²⁶⁰ Malatesta, M., Caporaloni, C., Rossi, L., Battistelli, S., Rocchi, M. B., Tonucci, F. y Gazzanelli, G. (2002). Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean. *Journal of Anatomy*, 201(5), 409–415. <https://doi.org/10.1046/j.0021-8782.2002.00103.x>
- ²⁶¹ Malatesta, M., Biggiogera, M., Manuali, E., Rocchi, M. B., Baldelli, B. y Gazzanelli, G. (2003). Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on genetically modified soybean. *European Journal of Histochemistry*, 47(4), 385–388.
- ²⁶² Malatesta, M., Caporaloni, C., Gavaudan, S., Rocchi, M. B., Serafini, S., Tiberi, C. y Gazzanelli, G. (2002). Ultrastructural morphometrical and immunocytochemical analyses of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean. *Cell Structure and Function*, 27(4), 173–180. <https://doi.org/10.1247/csf.27.173>
- ²⁶³ Vecchio, L., Cisterna, B., Malatesta, M., Martin, T. E. y Biggiogera, M. (2004). Ultrastructural analysis of testes from mice fed on genetically modified soybean. *European Journal of Histochemistry*, 48(4), 448–454.
- ²⁶⁴ Magaña-Gómez, J. A., Cervantes, G. L., Yepiz-Plascencia, G. y de la Barca, A. M. (2008). *Op. Cit.*



- ²⁶⁵ Tudisco, R., Lombardi, P., Bovera, F., d'Angelo, D., Cutrignelli, M. I., Mastellone, V., Terzi, V., Avallone, L. y Infascelli, F. (2006). Genetically modified soya bean in rabbit feeding: detection of DNA fragments and evaluation of metabolic effects by enzymatic analysis. *Animal Science*, 82(2), 193-199. doi:10.1079/ASC200530
- ²⁶⁶ Bakke-McKellep AM, Koppang EO, Gunnes G, et al. Histological, digestive, metabolic, hormonal and some immune factor responses in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., fed genetically modified soybeans. *J Fish Dis*. 2007;30:65-79.
- ²⁶⁷ Sanden, M., Berntssen, M. H., Krogdahl, A., Hemre, G. I. y Bakke-McKellep, A. M. (2005). An examination of the intestinal tract of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr fed different varieties of soy and maize. *Journal of Fish Diseases*, 28(6), 317-330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2005.00618.x>
- ²⁶⁸ Magaña-Gómez, J. A. y de la Barca, A. M. (2009). Risk assessment of genetically modified crops for nutrition and health. *Nutrition Reviews*, 67, 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00130.x>
- ²⁶⁹ Tudisco, R., Calabro, S., Cutrignelli, M. I., Moniello, G., Grossi, M., Mastellone, V., Lombardi, P., Pero, M. E. y Infascelli, F. (2015). Genetically modified soybean in a goat diet: Influence on kid performance. *Small Ruminant Research*, 126, 67-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.01.023>
- ²⁷⁰ Taheri, H., Mesgari-Abbasi, M., Khordadmehr, M., Rahimi Mamaghani, A., y Abbasalizad-Farhangi, M. (2024). Effect of Genetically Modified Soybean Oil Consumption on Biochemical and Histological Changes of Liver and Kidney in Rats. *Int J Drug Res Clin*. 2: e11. doi: 10.34172/ijdr.2024.e11
- ²⁷¹ Seralini, G-E. (2009). *Effects on health and environment of transgenic (or GM) Bt brinjal* By Pr. CRIIGEN.
- ²⁷² Shen, C., Yin, X. C., Jiao, B. Y., Li, J., Jia, P., Zhang, X. W., Cheng, X. H., Lan, H. D., Hou, W. B., Fang, M., Li, X., Fei, Y. T., Robinson, N. y Liu, J. P. (2022). Evaluation of adverse effects/events of genetically modified food consumption: a systematic review of animal and human studies. *Environmental Sciences Europe*, 34, 8. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00578-9>
- ²⁷³ OECD. (1992). *Safety evaluation of foods derived by Modern biotechnology. Concepts and principles*. Organisation for Economic Cooperation and Development. <https://www.oecd.org/science/biotrack/41036698.pdf>
- ²⁷⁴ Ladics, G. S., Bartholomaeus, A., Bregitzer, P., Doerrer, N. G., Gray, A., Holzhauser, T., Jordan, M., Keese, P., Kok, E., Macdonald, P., Parrott, W., Privalle, L., Raybould, A., Rhee, S. Y., Rice, E., Romeis, J., Vaughn, J., Wal, J. M. y Glenn, K. (2015). Genetic basis and detection of unintended effects in genetically modified crop plants. *Transgenic Research*, 24(4), 587-603. <https://doi.org/10.1007/s11248-015-9867-7>
- ²⁷⁵ OMS/FAO. (2000). *Op. Cit. Aspectos...*
- ²⁷⁶ Benevenuto, R. F., Venter, H. J., Zanatta, C. B., Nodari, R. O. y Agapito-Tenfen, S. Z. (2022). Alterations in genetically modified crops assessed by omics studies: systematic review and meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 120, 325-337. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.01.002>
- ²⁷⁷ Choze, R., Alcantara, G. B., Alves Filho, E.deG., e Silva, L. M., Faria, J. C. y Lião, L. M. (2013). Distinction between a transgenic and a conventional common bean genotype by ¹H HR-MAS NMR. *Food Chemistry*, 141(3), 2841-2847. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.123>
- ²⁷⁸ Baker, J. M., Hawkins, N. D., Ward, J. L., Lovegrove, A., Napier, J. A., Shewry, P. R. y Beale, M. H. (2006). A metabolomic study of substantial equivalence of field-grown genetically modified wheat. *Plant Biotechnology Journal*, 4(4), 381-92. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2006.00197.x>
- ²⁷⁹ Bushey, D. F., Bannon, G. A., Delaney, B. F., Graser, G., Hefford, M., Jiang, X., Lee, T. C., Madduri, K. M., Pariza, M., Privalle, L. S., Ranjan, R., Saab-Rincon, G., Schafer, B. W., Thelen, J. J., Zhang, J. X. y Harper, M. S. (2014). Characteristics and safety assessment of intractable proteins in genetically modified crops. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 69(2), 154-170. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.03.003>
- ²⁸⁰ Bucchini, L. y Goldman, L.R. (2002). *Op. Cit. Starlink corn...*
- ²⁸¹ Levandi, T., Leon, C., Kaljurand, M., Garcia-Cañas, V. y Cifuentes, A. (2008). Capillary electrophoresis time-of-flight mass spectrometry for comparative metabolomics of transgenic versus conventional maize. *Analytical Chemistry*, 80(16), 6329- 6335. <https://doi.org/10.1021/ac8006329>
- ²⁸² Herrero, M., Ibáñez, E., Martín-Alvarez, P. J. y Cifuentes, A. (2007). Analysis of chiral amino acids in conventional and transgenic maize. *Analytical Chemistry*, 79(13), 5071-5077. <https://doi.org/10.1021/ac070454f>
- ²⁸³ Levandi, T., Leon, C., Kaljurand, M., Garcia-Cañas, V. y Cifuentes, A. (2008). *Op. Cit.*
- ²⁸⁴ Agapito-Tenfen, S. Z., Guerra, M. P., Wikmark, O. G. y Nodari, R. O. (2013). Comparative proteomic analysis of genetically modified maize grown under different agroecosystems conditions in Brazil. *Proteome Science*, 11, 46. <https://doi.org/10.1186/1477-5956-11-46>
- ²⁸⁵ Agapito-Tenfen, S. Z., Guerra, M. P., Nodari, R. O. y Wikmark, O. G. (2020). Untargeted proteomics-based approach to investigate unintended changes in genetically modified maize used for food and feed purposes. *Preprints*, 2020110367. <https://doi.org/10.20944/preprints202011.0367.v1>
- ²⁸⁶ Mesnage, R., Agapito-Tenfen, S. Z., Vilperte, V., Renney, G., Ward, M., Seralini, G. E., Nodari, R. O. y Antoniou, M. N. (2016). *Op. Cit.*
- ²⁸⁷ Benevenuto, R. F., Venter, H. J., Zanatta, C. B., Nodari, R. O. y Agapito-Tenfen, S. Z. (2022). *Op. cit.*
- ²⁸⁸ Benevenuto, R. F., Zanatta, C. B., Waßmann, F., Eckerstorfer, M. F. y Agapito-Tenfen, S. Z. (2023). Integration of omics analyses into GMO risk assessment in Europe: a case study from soybean field trials. *Environmental Sciences Europe*, 35, 14. <https://doi.org/10.1186/s12302-023-00715-6>



- ²⁸⁹ Benevenuto, R. F., Zanatta, C. B., Waßmann, F., Eckerstorfer, M. F. y Agapito-Tenfen, S. Z. (2023). *Ídem*.
- ²⁹⁰ Heinemann, J. A., Kurenbach, B. y Quist, D. (2011). Molecular profiling- a tool for addressing emerging gaps in the comparative risk assessment of GMOs. *Environment International*, 37(7), 1285-1293. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.05.006>
- ²⁹¹ Christ, B., Pluskal, T., Aubry, S. y Weng, J. K. (2018). Contribution of untargeted metabolomics for future assessment of biotech crops. *Trends in Plant Science*, 23(12), 1047-1056. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.09.011>
- ²⁹² Raybould, A., Holt, K. y Kimber, I. (2019). Using problem formulation to clarify the meaning of weight of evidence and biological relevance in environmental risk assessments for genetically modified crops. *GM Crops & Food*, 10(2), 63-76. <https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1621615>
- ²⁹³ Delaney, B., Hazebroek, J., Herman, R., Juberg, D. y Storer, N. P. (2019). Untargeted metabolomics are not useful in the risk assessment of GM crops. *Trends in Plant Science*, 24(5), 383-384. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2019.03.002>
- ²⁹⁴ Pant, A., Das, B. y Bhadra, R. K. (2020). CTX phage of *Vibrio cholerae*: Genomics and applications. *Vaccine*, 38, A7-A12. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2019.06.034>
- ²⁹⁵ Martínez-Chavarría, L. C., Sagawa, J., Irons, J., Hinz, A. K., Lemon, A., Graça, T., Downs, D. M. y Vadyvaloo, V. (2020). Putative horizontally acquired genes, highly transcribed during *Yersinia pestis* flea infection, are induced by hyperosmotic stress and function in aromatic amino acid metabolism. *Journal of bacteriology*, 202(11), e00733-19. <https://doi.org/10.1128/JB.00733-19>
- ²⁹⁶ Nielsen, K. M. y Daffonchio, D. (2007). Unintended horizontal transfer of recombinant DNA. En T. Traavik y L. L. Ching (Eds.), *Biosafety first: holistic approaches to risk and uncertainty in genetic engineering and genetically modified organisms*. Tapir Academic Publishers.
- ²⁹⁷ Álvarez-Buylla, E. (2004). Aspectos ecológicos, biológicos y de agrobiodiversidad de los impactos del maíz transgénico. Preparado para el secretariado de la comisión para la cooperación ambiental de América del Norte. Como parte de la Iniciativa del Artículo 13: Maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México. 24 pp. https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/16634/mod_folder/content/0/CTSTG_Cientificos_en_contra_Impactos_del_MaizTransgen_Elena_Alv.Buylla_Inst.Eco.UNAM_35361.pdf?forcedownload=1
- ²⁹⁸ Nielsen, K. M., Bones, A. M., Smalla, K. y van Elsas, J. D. (1998). Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria: A rare event?. *FEMS Microbiology Reviews*, 22(2), 99-103. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1998.tb00362.x>
- ²⁹⁹ Rizzi, A., Raddadi, N., Sorlini, C., Nordgrd, L., Nielsen, K. M. y Daffonchio, D. (2012). The stability and degradation of dietary DNA in the gastrointestinal tract of mammals: implications for horizontal gene transfer and the biosafety of GMOs. *Critical Reviews In Food Science and Nutrition*, 52(2), 142-161. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.499480>
- ³⁰⁰ WHO. (2007). Critically important antimicrobials for human medicine: Categorization for the development of risk management strategies to contain antimicrobial resistance due to nonhuman antimicrobial use. World Health Organization. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/43765/9789241595742_eng.pdf?sequence=1
- ³⁰¹ Nadal, A., De Giacomo, M., Einspanier, R., Kleter, G., Kok, E., McFarland, S., Onori, R., Paris, A., Toldrà, M., van Dijk, J., Wal, J. M. y Pla, M. (2018). Exposure of livestock to GM feeds: Detectability and measurement. *Food and Chemical Toxicology*, 117, 13-35. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.08.032>
- ³⁰² Oraby, H. A., Kandil, M. H., Hassan, A. A. M. y Al-Sharawi, H. A. (2014). Addressing the issue of horizontal gene transfer from a diet containing genetically modified components into rats tissues. *African Journal of Biotechnology*, 13(48), 4410-4418.
- ³⁰³ Oraby, H. A. S., Aboul-Maaty, N. A. F., Al-Sharawi, H. A. y Osman, N. M. (2022). Horizontal transfer of antibiotic resistance genes into microflora and blood cells in rats fed on GM-diet. *Bulletion of the National Research Centre*, 46, 268. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00956-0>
- ³⁰⁴ ISAAA. (s/f). *GM Events with Antibiotic resistance*. [Online GM approval data base]. <https://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/gmtrait/default.asp?TraitID=19&GMTrait=Antibiotic%20resistance>
- ³⁰⁵ Spisák, S., Solymosi, N., Ittész, P., Bodor, A., Kondor, D., Vattay, C., Barták, B. K., Sipos, F., Galamb, O., Tulassay, Z., Szállási, Z., Rasmussen, S., Sicheritz-Ponten, T., Brunak, S., Molnár, B. y Csabai, I. (2013). Complete genes may pass from food to human blood. *PLoS One*, 8(7), e69805. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069805>
- ³⁰⁶ Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E. y Sheppard, L. (2019). Exposure to glyphosate-based herbicides and risk for non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis and supporting evidence. *Mutation research. Reviews in mutation research*, 781, 186-206. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>
- ³⁰⁷ Kim, J., Leon, M. E., Schinasi, L. H., Baldi, I., Lebailly, P., Freeman, L. E. B., Nordby, K. C., Ferro, G., Monnereau, A., Brouwer, M., Kjaerheim, K., Hofmann, J. N., Straif, K., Kromhout, H., Schüz, J. y Togawa, K. (2023). Exposure to pesticides and risk of Hodgkin lymphoma in an international consortium of agricultural cohorts (AGRICOH). *Cancer Causes & Control* 34(11), 995-1003. <https://doi.org/10.1007/s10552-023-01748-1>
- ³⁰⁸ Hardell, L., Carlberg, M., Nordström, M. y Eriksson, M. (2023). Exposure to phenoxyacetic acids and glyphosate as risk factors for non-Hodgkin lymphoma- pooled analysis of three Swedish case-control studies including the sub-type hairy cell leukemia. *Leukemia & lymphoma*, 64(5), 997-1004. <https://doi.org/10.1080/10428194.2023.2190434>
- ³⁰⁹ Swanson, N. L., Leu, A., Abrahamson, J. y Wallet, B. (2014). Genetically engineered crops, glyphosate and the deterioration of health in the United States of America. *Journal of Organic Systems*, 9(2), 6-37.
- ³¹⁰ Seneff, S., Swanson, N. y Li, C. (2015). Aluminum and glyphosate can synergistically induce pineal gland pathology: connection to gut dysbiosis and neurological disease. *Agricultural Sciences*, 6, 42-70. doi:10.4236/as.2015.61005.

Av. Swanson, N. L., Leu, A., Abrahamson, J. y Wallet, B. (2014). *Op. Cit.*

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ³¹² Austin, A. L. y Luján, L. L. (2019). *El pasado indígena*. Fondo de Cultura Económica.
- ³¹³ De Tapia, E. M. (1997). La domesticación del Maíz. *Arqueología Mexicana*, 5, 34-39.
- ³¹⁴ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- ³¹⁵ Rivera-Núñez, T. (2020). Agroecología histórica maya en las tierras bajas de México. *Ethnoscientia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology*, 5(1). <http://dx.doi.org/10.18542/ethnoscientia.v5i1.10284>
- ³¹⁶ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ³¹⁷ Márquez-Sánchez, F. (2009). *Op. cit.*
- ³¹⁸ Hodgkin, T., Rana, R., Tuxill, J., Balma, D., Subedi, A., Mar, I., Karamura, D., Valdivia, R., Collado, L., Latournerie, L., Sadiki, M., Sawadogo, M., Brown, A. H. D. y Jarvis, D. I. (2007). *Sistemas de semillas y diversidad genética de los cultivos en sistemas agrícolas*. En D. I. Jarvis, C. Padoch y H. D. Cooper (Eds), Manejo de la Biodiversidad en los Ecosistemas Agrícolas (pp. 77-116). <https://doi.org/10.7312/jarv13648-006>
- ³¹⁹ Márquez-Sánchez, F. (2009). *Op. Cit.*
- ³²⁰ Arellano, J. L. V., Virgen, J. V., Rojas, I. M. y Avila, M. A. P. (2011). H-70: Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del Altiplano Central de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4), 619-626.
- ³²¹ Burgos, J. A. D. (2019). Mecanismos de tolerancia al ataque de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en poblaciones de maíz nativo del estado de Yucatán [Tesis de maestría, Institución de enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas]. Colegio de Postgraduados.
- ³²² Espinosa-Calderón, A., Tadeo-Robledo, M., Zamudio-González, B., Virgen-Vargas, J., Turrent-Fernández, A., Rojas-Martínez, I., Gómez-Montiel, N., Sierra-Macías, M., López-López, C., Palafox-Caballero, A., Vázquez-Carrillo, G., Rodríguez-Montalvo, F., Canales-Islas, E. I., Zaragoza-Esparza, J. A., Martínez-Yañez, B., Valdivia-Bernal, R., Cárdenas-Marcelo, A. L., Mora-García, K. Y. y Martínez-Núñez, B. (2018). H-47 AE, híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Revista fitotecnia mexicana*, 47(1), 87-89. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v47n1/0187-7380-rfm-41-01-87.pdf>
- ³²³ INIFAP. (2022). *Desarrolla INIFAP híbridos y variedades de maíz aptos para la industria de la masa y la tortilla*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/desarrolla-inifap-hibridos-y-variedades-de-maiz-aptos-para-la-industria-de-la-masa-y-la-tortilla>
- ³²⁴ Macías-Estrada, P., Orozco-González, F., Castellanos-Pérez, G., Castillo-Rosales, A., Ortega-Ortega, A., Malvar, R. A. y Jiménez-Galindo, J. C. (2023). Sitotroga cerealella-resistant mexican maize races (*Zea mays* L.), new sources of resistance for commercial maize breeding. *Cereal Research Communications*, 57(2), 425-436. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00302-0>
- ³²⁵ Robledo, M. T., Calderón, A. E., Islas, E. I. C., Vargas, J. V., Santillán, A. M., Fernández, A. T. y Velazquez, K. E. A. (2022). Kuautili puma: híbrido varietal de maíz de grano amarillo para altitudes de 2200 a 2600 msnm. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(4), 527-527. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.527>
- ³²⁶ Sánchez, E. I. (2021). Selección de líneas de maíz tolerantes a la sequía mediante marcadores morfológicos y moleculares *ssr*. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Morelos]. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1378>
- ³²⁷ Zamudio, G. B., Félix, R. A., Martíne, G. A., Galvão, J. C. C., Espinosa, C. A. y Robledo, M. T. (2018). Producción de híbridos de maíz con urea estabilizada y nutrición foliar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(6), 1231-1244. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v9n6/2007-0934-remexca-9-06-1231.pdf>
- ³²⁸ SIAP. (2023). *Balanza disponibilidad/consumo a septiembre de 2022*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Sader. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- ³²⁹ SIAP. (2023). *Ídem*.
- ³³⁰ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Ídem*.
- ³³¹ Conahcyt. (2021). *Comunicado 225: Impulsan procesos agrícolas libres de agroquímicos y glifosato*. Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías. <https://conahcyt.mx/impulsan-procesos-agricolas-libres-de-agroquimicos-y-glifosato/>
- ³³² Conahcyt. (2021). *Ídem*.
- ³³³ Ortega-Paczka, R. (2003). La diversidad del maíz en México. En: Esteva, G. y Marielle, C. (Coords.). *Sin maíz no hay país* (pp. 123-154). Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Museo Nacional de Culturas Populares.
- ³³⁴ Ortega-Paczka, R. (2021). *Estudios de diversidad, conservación in situ y mejoramiento de maíces nativos en México*. México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- ³³⁵ Goodman, M. M. y Bird, R. M. (1977). The races of maize IV: tentative grouping of 219 Latin American races. *Economic Botany*, 37, 204-221. <https://doi.org/10.1007/BF02866591>
- ³³⁶ Kato, T. A. Y. (1996). Revisión del estudio de la introgresión entre maíz y teocintle. En Serratos, J. A., Willcox, M. C. y Castillo, F. *Flujo Genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico* (48-57). El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- ³³⁷ Iltis, H. H. y Doebley, J. F. (1980). Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *American Journal of Botany*, 67(6), 994-1004. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1980.tb07731.x>
- ³³⁸ Conaculta. (2004). *Pueblo de maíz: la cocina ancestral de México*. Coordinación de Patrimonio Cultural, Desarrollo y Turismo. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.



- ³³⁹ Álvarez-Buylla, E. R., Carrillo-Trueba, C., Olivé, L. y Piñeyro-Nelson, A. (2013). Introducción. En E. Álvarez-Buylla, y A. Piñeyro (Coords.). *El Maíz en Peligro ante los Transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 15-24). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ³⁴⁰ Kato, Y. A., R. Ortega-Paczka, E. Boege, A. Wegier, J. A. Serratos-Hernández, V. Alavez, L. Jardón-Barbolla, L. Moyers y D. Ortega-Del Vecchyo. (2013). Origen y diversidad del maíz. En E. Álvarez-Buylla, y A. Piñeyro (Coords.). *El Maíz en Peligro ante los Transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 25-60). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ³⁴¹ Hernández, J. A. S. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. Review. <https://www.funsepa.net/guatemala/docs/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- ³⁴² Márquez-Sánchez, F. (2009). *Op. cit.*
- ³⁴³ FAO. (1993). Composición química y valor nutricional del maíz. En *El maíz en la nutrición humana*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S03.htm>
- ³⁴⁴ Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- ³⁴⁵ Boege, E. (2008). *Ídem*.
- ³⁴⁶ Guillén-Pérez, L. A., Sánchez-Quintanar, C., Mercado-Domenech, S. y Navarro-Garza, H. (2002). Análisis de atribución causal en el uso de semilla criolla y semilla mejorada de maíz. *Agrociencia*, 36(3), 377-387.
- ³⁴⁷ Turiján-Altamirano, T., Damián-Huato, M. A., Ramírez-Valverde, B., Juárez-Sánchez, J. P. y Estrella-Chulím, N. (2012). Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José Chiapa, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1085-1110.
- ³⁴⁸ Boege, E. (2008). *Op. cit.*
- ³⁴⁹ Hernández, X. E. (1987). *Xolocotzia. Obras de Efraim Hernández Xolocotzi*. Universidad Autónoma de Chapingo.
- ³⁵⁰ Astier, M., Odenthal, G., Patricio, C. y Orozco-Ramírez, Q. (2019). Handmade tortilla production in the basins of lakes Pátzcuaro and Zirahuén, Mexico. *Journal of Maps*, 15, 52-57. <https://doi.org/10.1080/17445647.2019.1576553>
- ³⁵¹ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ³⁵² Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Ídem*.
- ³⁵³ Canuto, J. C. (1998). *Agricultura ecológica en Brasil: perspectivas socioecológicas*. Universidad de Córdoba.
- ³⁵⁴ Sostenibles y Area de Tecnicas Agropecuarias. (1998). *Trofobiosis*.
- ³⁵⁵ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ³⁵⁶ Hernández, J. A. S. (2009). *Op. Cit.*
- ³⁵⁷ Hernández, P. K. P. (2010). *Maíz transgénico*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de Tesis. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3530412>
- ³⁵⁸ Hernández, P. K. P. (2010). *Ídem*.
- ³⁵⁹ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). Comparison of nutritional properties and bioactive compounds between industrial and artisan fresh tortillas from maize landraces. *Current Research in Food Science*, 3, 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.05.004>
- ³⁶⁰ FAO. (1993). *Op. Cit.*
- ³⁶¹ FAO. (1993). *Ídem*.
- ³⁶² Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. Fondo Editorial Biogénesis, 185-209.
- ³⁶³ FAO. (1993). *Op. Cit.*
- ³⁶⁴ Pech, E. M. K., Cortés, J. O. M., Gómez, J. L. S., Flores, I. R. I., Duch, E. S. y Moreno, L. L. (2020). Los maíces nativos de la Península de Yucatán: la maravilla en sus colores. *Desde El Herbario CICY*, 12, 74-79.
- ³⁶⁵ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁶⁶ Pech, E. M. K., Cortés, J. O. M., Gómez, J. L. S., Flores, I. R. I., Duch, E. S. y Moreno, L. L. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁶⁷ García-Sempere, A., Morales, H., Hidalgo, M., Ferguson, B. G., Rosset, P. y Nazar-Beutelspacher, A. (2019). Food sovereignty in the city?: a methodological proposal for evaluating food sovereignty in urban settings. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(10), 1145-1173. doi: 10.1080/21683565.2019.1578719
- ³⁶⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. (1993). *Op. Cit.*
- ³⁶⁹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. INIFAP. (2022). *Op. Cit.*
- ³⁷⁰ Singh, N., Singh, S. y Shevkani, K. (2019). Maize: composition, bioactive constituents, and unleavened bread. En V. R. Preedy y R. R. Watson (Eds), *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention* (pp. 111-121). Academic Press.
- ³⁷¹ Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L. y García, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *LWT- Food Science and Technology*, 42(6), 1187-1192. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>
- ³⁷² Navarro, A., Torres, A., Fernández-Aulis, F. y Peña, C. (2018). Bioactive compounds in pigmented maize. En Amanullah y S. Fahad (Eds.), *Corn. Production and Human Health in Changing Climate* (pp. 69-92). IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.74074
- ³⁷³ Lopez-Martinez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C. H., Parkin, K. L. y García, H. S. (2009). *Op. Cit.*
- ~~374~~ Navarro, A., Torres, A., Fernández-Aulis, F. y Peña, C. (2018). *Op. Cit.*



- ³⁷⁵ Pozo-Insfran, D., Serna Saldívar, S. O., Brenes, C. H. y Talcott, S. T. (2013). Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chemistry*, 84(2), 162–168. doi: 10.1094/CCHEM-84-2-0162
- ³⁷⁶ Uriás-Lugo, D. A., Heredia, J. B., Serna-Saldívar, S. O., Muy-Rangel, M. D. y Valdez-Torres, J. D. (2015). Total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity of native and elite blue maize hybrids (*Zea mays* L.). *CyTA Journal of Food*, 13(3), 336–339. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2014.980324>
- ³⁷⁷ Salinas, Y. M., Saavedra, S. A., Soria, J. R. y Espinosa, E. T. (2008). Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos cultivados en el Estado de México. *Agricultura Técnica en México*, 34(3), 357–364.
- ³⁷⁸ Cázares-Sánchez, E., Chávez-Servía, J. L., Salinas-Moreno, Y., Castillo-González, F. y Ramírez-Vallejo, P. (2015). Variación en la composición del grano entre poblaciones de maíz (*Zea mays* L.) nativas de Yucatán, México. *Agrociencia*, 49, 15–30.
- ³⁷⁹ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁸⁰ Ortega-Beltran, A., Guerrero-Herrera, M. D., Ortega-Corona, A., Vidal-Martinez, V. A. y Cotty, P. J. (2014). Susceptibility to aflatoxin contamination among maize landraces from Mexico. *Journal of Food Protection*, 77(9), 1554–1562. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-474>
- ³⁸¹ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁸² Mendoza-Díaz, S., Ortiz-Valerio, M. del C., Castaño-Tostado, E., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gómez, M., Campos-Vega, R. y Loarca-Piña, G. (2012). Antioxidant capacity and antimutagenic activity of anthocyanin and carotenoid extracts from nixtamalized pigmented creole maize races (*Zea mays* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 67(4), 442–449. <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0326-9>
- ³⁸³ Jing, P., Bomser, J. A., Schwartz, S. J., He, J., Magnuson, B. A. y Giusti, M. M. (2008). Structure– function relationships of anthocyanins from various anthocyanin-rich extracts on the inhibition of colon cancer cell growth. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(20), 9391–9398. <https://doi.org/10.1021/jf8005917>
- ³⁸⁴ De la Parra, C., Saldívar, S. O., y Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4177–4183. <https://doi.org/10.1021/jf063487p>
- ³⁸⁵ Serna-Saldívar, S. O., Gutiérrez-Urbe, J. A., Mora-Rochin, S. y García-Lara, S. (2013). Potencial nutraceutico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 36(3-A): 295–304. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000500006&lng=es&lng=es
- ³⁸⁶ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁸⁷ De la Parra, C., Saldívar, S. O., y Liu, R. H. (2007). *Op. Cit.*
- ³⁸⁸ Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Camelo-Méndez, G. A., Paredes-López, O. y Figueroa-Cárdenas, J. D. D. (2015). Effect of the nixtamalization process on the dietary fiber content, starch digestibility, and antioxidant capacity of blue maize tortilla. *Cereal Chemistry*, 92(3), 265–270. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-06-14-0139-R>
- ³⁸⁹ Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁹⁰ Gutiérrez-Urbe, J. A., Rojas-García, C., García-Lara, S. y Serna-Saldívar, S. O. (2014). Effects of lime-cooking on carotenoids present in masa and tortillas produced from different types of maize. *Cereal Chemistry*, 91(5), 508–512.
- ³⁹¹ Martínez, P. H. Y., Hernández, D. S., Reyes, M. C. A. y Vázquez, C. G. (2013). El género *Aspergillus* y sus micotoxinas en maíz en México: problemática y perspectivas. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(2), 126–146.
- ³⁹² Colín-Chávez, C., Virgen-Ortiz, J. J., Serrano-Rubio, L. E., Martínez-Téllez, M. A. y Astier, M. (2020). *Op. Cit.*
- ³⁹³ Herrero, M., Ibáñez, E., Martín-Alvarez, P. J. y Cifuentes, A. (2007). *Op. Cit.*
- ³⁹⁴ Levandi, T., Leon, C., Kaljurand, M., Garcia-Cañas, V. y Cifuentes, A. (2008). *Op. Cit.*
- ³⁹⁵ De la Parra, C., Saldívar, S. O., y Liu, R. H. (2007). *Op. Cit.*
- ³⁹⁶ Singh, N., Singh, S. y Shevkani, K. (2019). *Op. Cit.*
- ³⁹⁷ Navarro, M. (2015). *Luchas por lo común. Antagonismo social contra el despojo capitalista de los bienes naturales en México*. Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades.
- ³⁹⁸ Gálvez, A. (2022). *Comer con el TLC. Comercio, políticas alimentarias y destrucción de México*. Fondo de Cultura Económica e Ítaca.
- ³⁹⁹ Pan American Health Organization. (2015). *Ultra-processed foods and beverages in Latin America: Trends, effect on obesity and implications for public policy*. Washington, D.C. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/7699/9789275118641_eng.pdf
- ⁴⁰⁰ Popkin, B. M., Adair, L. S. y Ng, S. W. (2012). *Op. Cit.*
- ⁴⁰¹ McCrory, M. A., Harbaugh, A. G., Appeadu, S. y Roberts, S. B. (2019). *Op. Cit.*
- ⁴⁰² Abrams, S. A., Albin, J. L., Landrigan, P. J., Committee on nutrition, Council on environmental health and climate change. (2023). *Op. cit.*
- ⁴⁰³ Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2020). Agroecology and the reconstruction of a post-COVID-19 agriculture. *The Journal of Peasant Studies*, 47(5), 881–898. <https://doi.org/10.1080/03066150.2020.1782891>
- ⁴⁰⁴ Abrams, S. A., Albin, J. L., Landrigan, P. J., Committee on nutrition, Council on environmental health and climate change. (2023). *Op. cit.*
- ⁴⁰⁵ Baker, P., Machado, P., Santos, T., Sievert, K., Backholer, K., Hadjidakou, M., Friel, S., Russell, C., Huse, O., Bell, C., Scrinis, G., Worsley, A., Friel, S. y Lawrence, M. (2020). Ultra-processed foods and the nutrition transition: Global, regional and national



- trends, food systems transformations and political economy drivers. *Obesity Reviews*, 27(12), e13126. <https://doi.org/10.1111/obr.13126>
- ⁴⁰⁶ Matos, R. A., Adams, M. y Sabaté, J. (2021). Review: The consumption of ultra-processed foods and non-communicable diseases in Latin America. *Frontiers in Nutrition*, 8, 622714. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.622714>
- ⁴⁰⁷ CCA. (2004). *Maíz y biodiversidad. Efectos del maíz transgénico en México*. Comisión para la Cooperación Ambiental.
- ⁴⁰⁸ CCA. (2004). *Ídem*.
- ⁴⁰⁹ Sánchez, G. J. J. (2011). *Diversidad del Maíz y el Teocintle* (Informe de proyecto). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- ⁴¹⁰ Cruz, H. E. y Verdelet, G. I. (2007). Tortillas de maíz: una tradición muy nutritiva. *Revista de Divulgación Científica y Tecnología de la Universidad de Veracruz*, 20(3), 1-3.
- ⁴¹¹ FAO. (2022). *Balances de alimentos (2010-)*. [Base de datos en línea]. FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FBS>
- ⁴¹² Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). *Ídem*.
- ⁴¹³ Valavanidis, A. (2018). *Op. Cit.*
- ⁴¹⁴ Tang, Q., Tang, J., Ren, X. y Li, C. (2020). *Op. Cit.*
- ⁴¹⁵ . OMS/FAO. (2019). *Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. Directrices sobre los Plaguicidas Altamente Peligrosos*. Organización Mundial de la Salud y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/CA2894ES>
- ⁴¹⁶ Mesnage, R., Benbrook, C. y Antoniou, M. N. (2019). *Op. cit.*
- ⁴¹⁷ Benachour, N. y Seralini, G-E. (2009). *Op. cit.*
- ⁴¹⁸ Simasotchi, C., Chissey, A., Jungers, G., Fournier, T., Seralini, G-E. y Gil, S. (2021). *Op. cit.*
- ⁴¹⁹ Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N. y Seralini, G. E. (2005). Differential effects of glyphosate and roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives*, 113(6), 716-20. <https://doi.org/10.1289/ehp.7728>
- ⁴²⁰ Jungers G., Portet-Koltalo, F., Cosme J. y Seralini, G. E. (2022). *Op. cit.*
- ⁴²¹ Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J. y Seralini, G. E. (2018). Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, 5, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.12.025>
- ⁴²² Mohamed, F., Endre, Z. H., Pickering, J. W., Jayamanne, S., Palangasinghe, C., Shahmy, S., Chathuranga, U., Wijerathna, T., Shihana, F., Gawarammana, I. y Buckley, N. A. (2016). Mechanism-specific injury biomarkers predict nephrotoxicity early following glyphosate surfactant herbicide (GPSH) poisoning. *Toxicology Letters*, 258, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2016.06.001>
- ⁴²³ Lee, H. L., Chen, K. W., Chi, C. H., Huang, J. J. y Tsai, L. M. (2000). Clinical presentations and prognostic factors of a glyphosate-surfactant herbicide intoxication: a review of 131 cases. *Academic Emergency Medicine*, 7(8), 906-910. <https://doi.org/10.1111/j.1553-2712.2000.tb02069.x>
- ⁴²⁴ Revelo, D. (2005). *Impacto de las fumigaciones aereas con glifosato en el Putumayo*. CAJAR. <https://www.colectivodeabogados.org/impacto-de-las-fumigaciones-aereas-con-glifosato-en-el-putumayo/>
- ⁴²⁵ Ortiz, A. (2017). Los efectos del herbicida glifosato en Argentina: "¿Cuánto crecimiento del PIB justifica el cáncer?". *El diario*. https://www.eldiario.es/desalambre/efectos-glifosato-Argentina_0_619438193.html
- ⁴²⁶ Benedetti, D., Nunes, E., Sarmiento, M., Porto, C., Dos Santos, C. E., Dias, J. F. y da Silva, J. (2013). Genetic damage in soybean workers exposed to pesticides: evaluation with the comet and buccal micronucleus cytome assays. *Mutation Research*, 752(1-2), 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2013.01.001>
- ⁴²⁷ Heu, C., Elie-Caille, C., Mougey, V., Launay, S. y Nicod, L. (2012). A step further toward glyphosate-induced epidermal cell death: involvement of mitochondrial and oxidative mechanisms. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 34(2), 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2012.02.010>
- ⁴²⁸ Mesnage, R., B. Bernay y Seralini, G. E. (2013). Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. *Toxicology*, 313(2-3), 122-128. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2012.09.006>
- ⁴²⁹ Cibiochem. (s.f). *Op. cit.* Efectos nocivos del herbicida glifosato.
- ⁴³⁰ Vandenberg, L. N., Colborn, T., Hayes, T. B., Heindel, J. J., Jacobs, D. R., Jr, Lee, D. H., Shioda, T., Soto, A. M., vom Saal, F. S., Welshons, W. V., Zoeller, R. T. y Myers, J. P. (2012). Hormones and endocrine-disrupting chemicals: low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocrine Reviews*, 33(3), 378-455. <https://doi.org/10.1210/er.2011-1050>
- ⁴³¹ IARC.(2015). *Monograph on Glyphosate*. International Agency for Research on Cancer. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono112-10.pdf>
- ⁴³² IARC. (2016). *Q&A on Glyphosate*. International Agency for Research on Cancer. https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/11/OA_Glyphosate.pdf
- ⁴³³ Benbrook, M. C. (2019). How did the US EPA and IARC reach diametrically opposed conclusions on the genotoxicity of glyphosate-based herbicides?. *Environmental Sciences Europe*, 31, 2. <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-018-0184-7>
- ⁴³⁴ ATSDR. (2020). Agency for Toxic Substances and Disease Registry. En *Toxicological Profile for Glyphosate*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp214.pdf>





- ⁴³⁵ Rana, I., Nguyen, P. K., Rigutto, G., Louie, A., Lee, J., Smith, M. T. y Zhang, L. (2023). Mapping the key characteristics of carcinogens for glyphosate and its formulations: A systematic review. *Chemosphere*, 339, 139572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139572>
- ⁴³⁶ Leñero, M. M. J., Solís, G.H. C. y García de la Torre, G. S. (2012). Estudios de cohorte. En A. Villa, L. Moreno y G. García (Eds.), *Epidemiología y estadística en salud pública* (pp. 114- 128). McGraw-Hill Interamericana.
- ⁴³⁷ Mañas, F., Peralta, L., Raviolo, J., García Ovando, H., Weyers, A., Ugnia, L., Gonzalez Cid, M., Larripa I. y Gorla, N. (2009). *Op. Cit.*
- ⁴³⁸ Monroy, C. M., Cortés, A.C., Sicard, D.M. y de Restrepo, H.G. (2005). Cytotoxicity and genotoxicity of human cells exposed in vitro to glyphosate. *Biomedica*, 25(3), 335-345.
- ⁴³⁹ Verzeñassi, D., Vallini, A., Fernandez, F., Ferrazini, L., Lasagna, L. Sosa, A. y Hough, G. (2023). *Op. Cit.*
- ⁴⁴⁰ Nagy, K., Tessema, R. A., Budnik, L. T. y Balá, A. (2019). Comparative cyto- and genotoxicity assessment of glyphosate and glyphosate-based herbicides in human peripheral white blood cells. *Environmental Research*, 179(Pt B), 108851. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108851>.
- ⁴⁴¹ Woźniak, E., Reszka, E., Jabłońska, E., Balcerczyk, A., Broncel, M. y Bukowska, B. (2020) Glyphosate affects methylation in the promoter regions of selected tumor suppressors as well as expression of major cell cycle and apoptosis drivers in PBMCs (in vitro study). *Toxicology In Vitro*, 63, 104736. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2019.104736>.
- ⁴⁴² Lucia, R. M., Huang, W. L., Pathak, K. V., McGilvrey, M., David-Dirgo, V., Alvarez, A., Goodman, D., Masunaka, I., Odegaard, A. O., Ziogas, A., Pirrotte, P., Norden-Krichmar, T. M. y Park, H. L. (2022). Association of glyphosate exposure with blood dna methylation in a cross-sectional study of postmenopausal women. *Environmental health perspectives*, 130(4), 47001. <https://doi.org/10.1289/EHP10174>
- ⁴⁴³ Uribe-Yunda, D. F. y Cortes-Mancera, F. M. (2014). Metilación del ADN: implicaciones en carcinogénesis. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 33, 81-93.
- ⁴⁴⁴ Woźniak, E., Reszka, E., Jabłońska, E., Balcerczyk, A., Broncel, M. y Bukowska, B. (2020). *Op. cit.*
- ⁴⁴⁵ Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E. y Sheppard, L. (2019). *Op. Cit.*
- ⁴⁴⁶ Guyton K. Z., Loomis, D., Grosse, Y., Ghissassi, F. E., Benbrahim-Tallaa, Lamia., Guha, N., Scocciati, C., Mattock, H., Straif, K. y International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group, IARC, Lyon, France. (2015). Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. *The Lancet Oncology*, 16(5), 490-491. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70134-8](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70134-8)
- ⁴⁴⁷ Potti, A., Panwalkar, A.W. y Langness, E. (2003). Prevalence of pesticide exposure in young males (≤50 years) with adenocarcinoma of the prostate. *Journal of Carcinogenesis*, 2, 4. <https://doi.org/10.1186/1477-3163-2-4>
- ⁴⁴⁸ Potti, A. y Sehgal, I. (2005). Exposure to pesticides increases levels of uPA and uPAR in pre-malignant human prostate cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 19(2), 215-219. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2004.04.010>
- ⁴⁴⁹ Weisenburger, D. D. (2021). A Review and update with perspective of evidence that the herbicide glyphosate (Roundup) is a cause of non-hodgkin lymphoma. *Clinical Lymphoma, Myeloma & Leukemia*, 21(9), 621-630. <https://doi.org/10.1016/j.clml.2021.04.009>
- ⁴⁵⁰ Eskenazi, B., Gunier, R. B., Rauch, S., Kogut, K., Perito, E. R., Mendez, X., Limbach, C., Holland, N., Bradman, A., Harley, K. G., Mills, P. J. y Mora, A. M. (2023). Association of Lifetime Exposure to Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid (AMPA) with Liver Inflammation and Metabolic Syndrome at Young Adulthood: Findings from the CHAMACOS Study. *Environmental Health Perspectives*, 131(3), 37001. <https://doi.org/10.1289/EHP11721>
- ⁴⁵¹ Benbrook, C., Mesnage, R. y Sawyer, W. (2023). Genotoxicity assays published since 2016 shed new light on the oncogenic potential of glyphosate-based herbicides. *Agrochemicals*, 2, 47-68. <https://doi.org/10.3390/agrochemicals2010005>
- ⁴⁵² Chang, V. C., Andreotti, G., Ospina, M., Parks, C. G., Liu, D., Shearer, J. J., Rothman, N., Silverman, D. T., Sandler, D. P., Calafat, A. M., Beane Freeman, L. E. y Hofmann, J. N. (2023). *Op. Cit.*
- ⁴⁵³ El-Shenawy, N. S. (2009). Oxidative stress responses of rats exposed to Roundup and its active ingredient glyphosate. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28(3), 379-385. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2009.06.001>
- ⁴⁵⁴ Hong, Y., Yang, X., Huang, Y., Yan, G. y Cheng, Y. (2018). Assessment of the oxidative and genotoxic effects of the glyphosate-based herbicide roundup on the freshwater shrimp, *Macrobrachium nipponensis*. *Chemosphere*, 210, 896-906. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.069>
- ⁴⁵⁵ Qiu, S., Fu, H., Zhou, R., Yang, Z., Bai, G. y Shi, B. (2020). Toxic effects of glyphosate on intestinal morphology, antioxidant capacity and barrier function in weaned piglets. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187, 109846. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109846>.
- ⁴⁵⁶ Malatesta, M., Perdoni, F., Santin, G. Battistelli, S., Muller, S. y Biggiogera, M. (2008). Hepatoma tissue culture (HTC) cells as a model for investigating the effects of low concentrations of herbicide on cell structure and function. *Toxicology In Vitro*, 22(8), 1853-1860. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2008.09.006>
- ⁴⁵⁷ Mesnage, R., Teixeira, M., Mandrioli, D., Falcioni, L., Ibragim, M., Ducarmon, Q. R., Zwitterink, R. D., Amiel, C., Panoff, J. M., Bourne, E., Savage, E., Mein, C. A., Belpoggi, F. y Antoniou, M. N. (2021). Multi-omics phenotyping of the gut-liver axis reveals metabolic perturbations from a low-dose pesticide mixture in rats. *Communications biology*, 4(1), 471. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-01990-w>
- ⁴⁵⁸ Mesnage, R., Ibragim, M., Mandrioli, D., Falcioni, L., Tibaldi, E., Belpoggi, F., Brandsma, I., Bourne, E., Savage, E., Mein, C. A. y Antoniou, M. N. (2022). Comparative toxicogenomics of glyphosate and roundup herbicides by mammalian stem cell-based



- genotoxicity assays and molecular profiling in sprague-dawley rats. *Toxicological Sciences*, 186, 83–101. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfab143>
- ⁴⁵⁹ Cavalier, H., Trasande, L. y Porta, M. (2023). Exposures to pesticides and risk of cancer: Evaluation of recent epidemiological evidence in humans and paths forward. *International Journal of Cancer*, 152(5), 879–912. <https://doi.org/10.1002/ijc.34300>
- ⁴⁶⁰ Saleem, H. y Awan, A. R. (2023). Glyphosate - a silent, slow killer?. *Journal of the Pakistan Medical Association*, 73(8), 1775–1775. <https://doi.org/10.47391/JPMA.8475>
- ⁴⁶¹ Leon, M. E., Schinasi, L. H., Lebailly, P., Beane Freeman, L. E., Nordby, K. C., Ferro, G., Monnereau, A., Brouwer, M., Tual, S., Baldi, I., Kjaerheim, K., Hofmann, J. N., Kristensen, P., Koutros, S., Straif, K., Kromhout, H. y Schüz, J. (2019). Pesticide use and risk of non-Hodgkin lymphoid malignancies in agricultural cohorts from France, Norway and the USA: a pooled analysis from the AGRICOH consortium. *International Journal of Epidemiology*, 48(5), 1519–1535. <https://doi.org/10.1093/ije/dy017>
- ⁴⁶² Andreotti, G., Koutros, S., Hofmann, J. N., Sandler, D. P., Lubin, J. H., Lynch, C. F., Lerro, C. C., De Roos, A. J., Parks, C. G., Alavanja, M. C., Silverman, D. T. y Beane Freeman, L. E. (2018). Glyphosate use and cancer incidence in the agricultural health study. *Journal of the National Cancer Institute*, 110(5), 509–516. <https://doi.org/10.1093/jnci/djx233>
- ⁴⁶³ Schinasi, L. y Leon, M. E. (2014). Non-Hodgkin lymphoma and occupational exposure to agricultural pesticide chemical groups and active ingredients: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(4), 4449–4527. <https://doi.org/10.3390/ijerph110404449>
- ⁴⁶⁴ Chang, E. T. y Delzell, E. (2016). Systematic review and meta-analysis of glyphosate exposure and risk of lymphohematopoietic cancers. *Journal of environmental science and health*, 51(6), 402–434. <https://doi.org/10.1080/03601234.2016.1142748>
- ⁴⁶⁵ Franke, A. A., Li, X., Shvetsov, Y. B. y Lai, J.F. (2021). *Op. Cit.*
- ⁴⁶⁶ Parvez, S., Gerona, R. R., Proctor, C., Friesen, M., Ashby, J. L., Reiter, J. L., Lui, Z. y Winchester, P. D. (2018). *Op. Cit.*
- ⁴⁶⁷ Silver, M. K., Fernandez, J., Tang, J., McDade, A., Sabino, J., Rosario, Z., Vélez Vega, C., Alshawabkeh, A., Cordero, J. F. y Meeker, J. D. (2021). Prenatal exposure to glyphosate and its environmental degradate, aminomethylphosphonic acid (AMPA), and preterm birth: a nested case-control study in the PROTECT Cohort (Puerto Rico). *Environmental Health Perspectives*, 129(5), 57011. <https://doi.org/10.1289/EHP7295>
- ⁴⁶⁸ Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. Cibiogem. (s.f.). *Op. Cit.* Efectos del herbicida glifosato
- ⁴⁶⁹ Zhang, J. W., Xu, D. Q. y Feng, X.Z. (2019) The toxic effects and possible mechanisms of glyphosate on mouse oocytes. *Chemosphere*, 237, 124435. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124435>.
- ⁴⁷⁰ Ingaramo, P. I., Guerrero Schimpf, M., Milesi, M. M., Luque, E. H. y Varayoud, J. (2019). Acute uterine effects and long-term reproductive alterations in postnatally exposed female rats to a mixture of commercial formulations of endosulfan and glyphosate. *Food and Chemical Toxicology*, 134, 110832. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110832>
- ⁴⁷¹ de Liz Oliveira Cavalli, V. L., Cattani, D., Heinz Rieg, C. E., Pierozan, P., Zanatta, L., Benedetti Parisotto, E., Wilhelm Filho, D., Mena Barreto Silva, F. R., Pessoa-Pureur, R. y Zamoner, A. (2013). Roundup disrupts male reproductive functions by triggering calcium-mediated cell death in rat testis and Sertoli cells. *Free Radical Biology & Medicine*, 65, 335–346. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.06.043>
- ⁴⁷² Xia, Y., Yang, X., Lu, J., Xie, Q., Ye, A. y Sun, W. (2020). The endoplasmic reticulum stress and related signal pathway mediated the glyphosate-induced testosterone synthesis inhibition in TM3 cells. *Environmental Pollution*, 260, 113949. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113949>
- ⁴⁷³ Clair, E., Mesnage, R., Travert, C. y Séralini, G. É. (2012). A glyphosate-based herbicide induces necrosis and apoptosis in mature rat testicular cells in vitro, and testosterone decrease at lower levels. *Toxicology in Vitro*, 26(2), 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2011.12.009>
- ⁴⁷⁴ Liu, J. B., Li, Z. F., Lu, L., Wang, Z. Y. y Wang, L. (2022). Glyphosate damages blood-testis barrier via NOX1-triggered oxidative stress in rats: Long-term exposure as a potential risk for male reproductive health. *Environment International*, 159, 107038. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107038>
- ⁴⁷⁵ Samsel, A. y Seneff, S. (2013). Glyphosate, pathways to modern diseases II: Celiac sprue and gluten intolerance. *Interdisciplinary Toxicology*, 6(4), 159–184. <https://doi.org/10.2478/intox-2013-0026>
- ⁴⁷⁶ Alarcón, R., Ingaramo, P. I., Rivera, O. E., Dioguardi, G. H., Repetti, M. R., Demonte, L. D., Milesi, M. M., Varayoud, J., Muñoz-de-Toro, M. y Luque, E. H. (2019). Neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide alters the histofunctional differentiation of the ovaries and uterus in lambs. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 482, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2018.12.007>
- ⁴⁷⁷ Verderame, M., Chianese, T., Rosati, L. y Scudiero, R. (2022). Molecular and Histological Effects of Glyphosate on Testicular Tissue of the Lizard *Podarcis siculus*. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 4850. <https://doi.org/10.3390/ijms23094850>
- ⁴⁷⁸ Hokanson, R., Fudge, R., Chowdhary, R. y Busbee, D. (2007). Alteration of estrogen-regulated gene expression in human cells induced by the agricultural and horticultural herbicide glyphosate. *Human & Experimental Toxicology*, 26(9), 747–752. <https://doi.org/10.1177/0960327107083453>
- ⁴⁷⁹ Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T. y Satayavivad, J. (2013). Glyphosate induces human breast cancer cells growth via estrogen receptors. *Food and Chemical Toxicology*, 59, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.05.057>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx



2024
AÑO DE

Felipe Carrillo
PUERTO

BENEFICENTE DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR
DEL MAYAB



- ⁴⁸⁰ Bai, G., Jiang, X., Qin, J., Zou, Y., Zhang, W., Teng, T., Shi, B. y Sun, H. (2022). Perinatal exposure to glyphosate-based herbicides impairs progeny health and placental angiogenesis by disturbing mitochondrial function. *Environment International*, 170, 107579. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107579>
- ⁴⁸¹ Contardo-Jara, V., Klingelmann, E. y Wiegand, C. (2009). Bioaccumulation of glyphosate and its formulation Roundup Ultra in *Lumbriculus variegatus* and its effects on biotransformation and antioxidant enzymes. *Environmental Pollution*, 57, 57-63. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.07.027>
- ⁴⁸² Samsel, A. y Seneff, A. (2013). Glyphosate's suppressions of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases. *Entropy*, 15(4), 1416-1463. <https://doi.org/10.3390/e15041416>
- ⁴⁸³ Gasnier, C., Dumont, C., Benachour, N., Clair, E., Chagnon, M. C. y Séralini, G. E. (2009). Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines. *Toxicology*, 262(3), 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.06.006>
- ⁴⁸⁴ Horn, S., Pieters, R. y Bøhn, T. (2020). May agricultural water sources containing mixtures of agrochemicals cause hormonal disturbances?. *Science of The Total Environment*, 711, 134862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134862>
- ⁴⁸⁵ Ingaramo, P. (2020) Are glyphosate and glyphosate-based herbicides endocrine disruptors that alter female fertility?. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 518, 110934. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110934>
- ⁴⁸⁶ Davico, C. E., Pereira, A. G., Nezzi, L., Jaramillo, M. L., de Melo, M. S., Müller, Y. M. R. y Nazari, E. M. (2020). Reproductive toxicity of Roundup WG® herbicide: impairments in ovarian follicles of model organism *Danio rerio*. *Environmental Science and Pollution Research*, 7, 15147-15159. doi:10.1007/s11356-020-11527-z
- ⁴⁸⁷ Ben Maamar, M., Beck, D., Nilsson, E. E., Kubsad, D. y Skinner, M. K. (2021). Epigenome-wide association study for glyphosate induced transgenerational sperm DNA methylation and histone retention epigenetic biomarkers for disease. *Epigenetics*, 16(10), 1150-1167. doi: 10.1080/15592294.2020.1853319
- ⁴⁸⁸ Masood, M. I., Naseem, M., Warda, S. A., Tapia-Lalena, M. Á., Rehman, H. U., Nasim, M. J. y Schäfer, K. H. (2021). Environment permissible concentrations of glyphosate in drinking water can influence the fate of neural stem cells from the subventricular zone of the postnatal mouse. *Environmental Pollution*, 270, 116179. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116179>
- ⁴⁸⁹ Kubsad, D., Nilsson, E. E., King, S. E., Sadler-Riggleman, I., Beck, D. y Skinner, M. K. (2019). Assessment of glyphosate induced epigenetic transgenerational inheritance of pathologies and sperm epimutations: generational toxicology. *Scientific reports*, 9, 6372. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42860-0>
- ⁴⁹⁰ Cuhra, M., Traavik, T. y Bøhn, T. (2015). Clone- and age-dependent toxicity of a glyphosate commercial formulation and its active ingredient in *Daphnia magna*. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 4, 24-36.
- ⁴⁹¹ Hued, A., Oberhofer, S. y Bistoni, M. A. (2012). Exposure to a commercial glyphosate formulation (Roundup®) alters normal gill and liver histology and affects male sexual activity of *Jenynsia multidentata* (*Anablepidae*, *Cyprinodontiformes*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 107-117. <https://doi.org/10.1007/s00244-011-9686-7>
- ⁴⁹² Wilson, V. S., Bobseine, K., Lambright, C. R. y Gray, L. E., Jr. (2002). A novel cell line, MDA-kb2, that stably expresses an androgen- and glucocorticoid-responsive reporter for the detection of hormone receptor agonists and antagonists. *Toxicological Sciences*, 66, 69-81. <https://doi.org/10.1093/toxsci/66.1.69>
- ⁴⁹³ Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N. y Séralini, G. E. (2005). *Op. Cit.*
- ⁴⁹⁴ Lesseur, C., Pirrotte, P., Pathak, K. V., Manservigi, F., Mandrioli, D., Belpoggi, F., Panzacchi, S., Li, Q., Barrett, E. S., Nguyen, R. N. H., Sathyanarayana, S., Swan, S. H. y Chen, J. (2021). *Op. Cit.*
- ⁴⁹⁵ Gerona R.R., Reiter, J.L., Zakharevich, I., Proctor, C., Ying, J., Mesnage, R., Antoniou, M., Winchester, P.D. (2022). Glyphosate exposure in early pregnancy and reduced fetal growth: a prospective observational study of high-risk pregnancies. *Environ Health*. 11;21(1):95.
- ⁴⁹⁶ Lesseur, C., Pathak, K. V., Pirrotte, P., Martinez, M. N., Ferguson, K. K., Barrett, E. S., Nguyen, R. H. N., Sathyanarayana, S., Mandrioli, D., Swan, S. H. y Chen, J. (2022). Urinary glyphosate concentration in pregnant women in relation to length of gestation. *Environmental Research*, 203, 111811. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111811>
- ⁴⁹⁷ Pérez-Herrera, N. E., Alvarado-Mejía, J. A., Castillo-Burguete, M. T., González-Navarrete, R. L., y Quintanilla-Vega, M. B. (2012). Efectos reproductivos en agricultores expuestos a plaguicidas en Muna, Yucatán. En L. Cedillo y F. Cano-Robles, F.K. (Comp.), *Género, Ambiente y Contaminación por Sustancias Químicas* (pp. 79-94). Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Instituto Nacional de Ecología.
- ⁴⁹⁸ Leino, L., Tall, T., Helander, M., Saloniemi, I., Saikkonen, K., Ruuskanen, S. y Puigbò, P. (2021). Classification of the glyphosate target enzyme (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) for assessing sensitivity of organisms to the herbicide. *Journal of Hazardous Materials*, 408, 124556. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124556>
- ⁴⁹⁹ Icaza-Chávez M. (2013). Microbiota intestinal en la salud y la enfermedad. *Revista de Gastroenterología de México*, 78(4), 240-248. doi: 10.1016/j.rgmx.2013.04.004
- ⁵⁰⁰ Tang, Q., Tang, J., Ren, X. y Li, C. (2020). *Op. Cit.*
- ⁵⁰¹ Tang, Q., Tang, J., Ren, X. y Li, C. (2020). *Idem.*
- ⁵⁰² Dechartres, J., Pawluski, J. L., Gueguen, M. M., Jablaoui, A., Maguin, E., Rhimi, M. y Charlier, T. D. (2019). Glyphosate and glyphosate-based herbicide exposure during the peripartum period affects maternal brain plasticity, maternal behaviour and microbiome. *Journal of Neuroendocrinology*, 31(9), e12731. <https://doi.org/10.1111/jne.12731>
- ⁵⁰³ Tang, Q., Tang, J., Ren, X. y Li, C. (2020). *Op. Cit.*



⁵⁰⁴ Bote, K., Pöppe, J., Riede, S., Breves, G. y Roesler, U. (2019). Effect of a glyphosate-containing herbicide on Escherichia coli and Salmonella Ser. Typhimurium in an in vitro rumen simulation system. *European Journal of Microbiology & Immunology*, 9(3), 94–99. <https://doi.org/10.1556/1886.2019.00010>

⁵⁰⁵ Nishino, R., Mikami, K., Takahashi, H., Tomonaga, S., Furuse, M., Hiramoto, T., Aiba, Y., Koga, Y. y Sudo, N. (2013). Commensal microbiota modulate murine behaviors in a strictly contamination-free environment confirmed by culture-based methods. *Neurogastroenterology and motility*, 25(6), 521–528. <https://doi.org/10.1111/nmo.12110>

⁵⁰⁶ Wiley, N. C., Dinan, T. G., Ross, R. P., Stanton, C., Clarke, G. y Cryan, J. F. (2017). The microbiota-gut-brain axis as a key regulator of neural function and the stress response: Implications for human and animal health. *Journal of Animal Science*, 95(7), 3225–3246. <https://doi.org/10.2527/jas.2016.1256>

⁵⁰⁷ Aitbali, Y., Ba-M'hamed, S., Elhidar, N., Nafis, A., Soraa, N. y Bennis, M. (2018). Glyphosate based- herbicide exposure affects gut microbiota, anxiety and depression-like behaviors in mice. *Neurotoxicology and teratology*, 67, 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2018.04.002>

⁵⁰⁸ Mesnage, R., Teixeira, M., Mandrioli, D., Falcioni, L., Ducarmon, Q. R., Zwitterink, R. D., Mazzacuva, F., Caldwell, A., Halket, J., Amiel, C., Panoff, J. M., Belpoggi, F. y Antoniou, M. N. (2021). Use of shotgun metagenomics and metabolomics to evaluate the impact of glyphosate or Roundup MON 52276 on the gut microbiota and serum metabolome of Sprague-Dawley Rats. *Environmental Health Perspectives*, 129, 17005. <https://doi.org/10.1289/EHP6990>

⁵⁰⁹ Lehman, P. C., Cady, N., Ghimire, S., Shahi, S. K., Shrode, R. L., Lehmler, H. J. y Mangalam, A. K. (2023). Low-dose glyphosate exposure alters gut microbiota composition and modulates gut homeostasis. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 100, 104149. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2023.104149>

⁵¹⁰ Van Bruggen, A., Finckh, M., Ritsema, C., Knuth, D., He, M., Ritsema, C., Kunth, D., Harkes, P. y Geissen, V. (2021). Indirect effects of the herbicide glyphosate on plant, animal and human health through its effects on microbial communities. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 763917. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.763917>

⁵¹¹ Qiu, S., Fu, H., Zhou, R., Yang, Z., Bai, G. y Shi, B. (2020). *Op. Cit.*

⁵¹² Samsel, A. y Seneff, S. (2013). *Op. Cit.*

⁵¹³ Samsel, A., y Seneff, S. (2013). *Ídem.*

⁵¹⁴ Barnett, J. A. y Gibson, D. L. (2020). Separating the empirical wheat from the pseudoscientific chaff: a critical review of the literature surrounding glyphosate, dysbiosis and wheat-sensitivity. *Frontiers in microbiology*, 11, 556729. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.556729>

⁵¹⁵ Rank, J., Jensen, A. G., Skov, B., Pedersen, L. H. y Jensen, K. (1993). Genotoxicity testing of the herbicide Roundup and its active ingredient glyphosate isopropylamine using the mouse bone marrow micronucleus test, Salmonella mutagenicity test, and Allium anaphase-telophase test. *Mutation research*, 300, 29–36. [https://doi.org/10.1016/0165-1218\(93\)90136-2](https://doi.org/10.1016/0165-1218(93)90136-2)

⁵¹⁶ Roy, N. M., Carneiro, B. y Ochs, J. (2016). Glyphosate induces neurotoxicity in zebrafish. *Environmental toxicology and pharmacology*, 42, 45–54. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.01.003>

⁵¹⁷ Samsel, A. y Seneff, A. (2013). *Op. Cit.*

⁵¹⁸ Blondel, J. (1986). *Glyphosate poisoning statistics summary*. US EPA File Nos. 197169 to 197171. Glyphosate. Review Worker Safety Rules. <https://archive.epa.gov/pesticides/chemicalsearch/chemical/foia/web/pdf/103601/103601-230.pdf>

⁵¹⁹ Mesnage, R., Benbrook, C. y Antoniou, M. N. (2019). *Op. cit.*

⁵²⁰ Berger, P. D., Jimenez, A. M. y Co, M. (9 de agosto de 1990). *US5683958A - Surfactants mixtures*. Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US5683958A/en>

⁵²¹ Moore, L. J., Fuentes, L., Rodgers Jr, J. H., Bowerman, W. W., Yarrow, G. K., Chao, W. Y. y Bridges Jr., W. C. (2012). Relative toxicity of the components of the original formulation of roundup to five North American anurans. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78, 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.11.025>

⁵²² Langrand, J., Blanc-Brisset, I., Boucaud-Maitre, D., Puskarczyk, E., Nisse, P., Garnier, R. y Pulce, C. (2019). Increased severity associated with tallowamine in acute glyphosate poisoning. *Clinical Toxicology*, 58(3), 201–203. <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1623406>

⁵²³ Mesnage, R., B. Bernay y Séralini, G. E. (2013). *Op. Cit.*

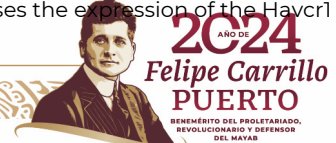
⁵²⁴ Defarge, N., Takács, E., Lozano, V. L., Mesnage, R., Spiroux de Vendômois, J., Séralini, G. E. y Székács, A. (2016). Co-formulants in glyphosate-based herbicides disrupt aromatase activity in human cells below toxic levels. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), 264. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030264>

⁵²⁵ Guilherme, S., Santos, M. A., Barroso, C., Gaivao, I. y Pacheco, M. (2012). Differential genotoxicity of Roundup((R)) formulation and its constituents in blood cells of fish (*Anguilla anguilla*): considerations on chemical interactions and DNA damaging mechanisms. *Ecotoxicology*, 21(5), 1381–1390. <https://doi.org/10.1007/s10646-012-0892-5>

⁵²⁶ Wozniak, E., Sicinska, P., Michalowicz, J., Wozniak, K., Reszka, E., Huras, B., Zakrzewski, J. y Bukowska, B. (2018). The mechanism of DNA damage induced by Roundup 360 PLUS, glyphosate and AMPA in human peripheral blood mononuclear cells - genotoxic risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 120, 510–522. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.07.035>

⁵²⁷ Coperchini, F., Greco, A., Croce, L., Denegri, M., Magri, F., Rotondi, M. y Chiovato, L. (2023). In vitro study of glyphosate effects on thyroid cells. *Environmental Pollution*, 317, 120801. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120801>

⁵²⁸ Gadotti, C. P., Oliveira, J. M., Bender, J. M. O., Lima, M. D. F. S., Taques, G. R., Quinãia, S. P., Romano, M. A. y Romano, R. M. (2023). Prenatal to adulthood exposure to low doses of glyphosate-based herbicide increases the expression of the Havcr1





- (Kim1) biomarker and causes mild kidney alterations. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 467, 116496. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2023.116496>
- ⁵²⁹ Disner, G. R., Falcão, M. A. P., Andrade-Barros, A. I., Leite Dos Santos, N. V., Soares, A. B. S., Marcolino-Souza, M., Gomes, K. S., Lima, C. y Lopes-Ferreira, M. (2021). The toxic effects of glyphosate, chlorpyrifos, abamectin, and 2,4-d on animal models: a systematic review of Brazilian studies. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(3), 507–520. <https://doi.org/10.1002/ieam.4353>
- ⁵³⁰ Cuzziol Boccioni, A. P., Lener, G., Peluso, J., Peltzer, P. M., Attademo, A. M., Aronzon, C., Simoniello, M. F., Demonte, L. D., Repetti, M. R. y Lajmanovich, R. C. (2022). Comparative assessment of individual and mixture chronic toxicity of glyphosate and glufosinate ammonium on amphibian tadpoles: A multibiomarker approach. *Chemosphere*, 309(Pt 1), 136554. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136554>
- ⁵³¹ Lu, J., Zhang, C., Wang, W., Xu, W., Chen, W., Tao, L., Li, Z., Zhang, Y. y Cheng, J. (2023). Exposure to environmental concentrations of glyphosate induces cardiotoxicity through cellular senescence and reduced cell proliferation capacity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 261, 115112. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115112>
- ⁵³² Lu, J., Zhang, C., Wang, W., Xu, W., Chen, W., Tao, L., Li, Z., Zhang, Y., Cheng, J. (2023). Glyphosate Causes Vascular Toxicity through Cellular Senescence and Lipid Accumulation. *Chemical Research in Toxicology*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.3c00116>
- ⁵³³ Lu, J., Zhang, C., Wang, W., Xu, W., Chen, W., Tao, L., Li, Z., Zhang, Y. y Cheng, J. (2023). *Op. Cit.*
- ⁵³⁴ Carrasco, A. E. (2011). El glifosato: ¿es parte de un modelo eugenésico?. *Salud colectiva*, 7(2), 129-133.
- ⁵³⁵ Lindberg, T., de Ávila, R. I., Zeller, K. S., Levander, F., Eriksson, D., Chawade, A. y Lindstedt, M. (2020). An integrated transcriptomic- and proteomic-based approach to evaluate the human skin sensitization potential of glyphosate and its commercial agrochemical formulations. *Journal of Proteomics*, 217, 103647. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2020.103647>
- ⁵³⁶ International Programme on Chemical Safety, United Nations Environment Programme, International Labour Organisation and World Health Organization. (1994). *Glyphosate*. INCHEM. <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc159.htm>
- ⁵³⁷ Lin, C. M., Lai, C. P., Fang, T. C. y Lin, C. L. (1999). Cardiogenic shock in a patient with glyphosate-surfactant poisoning. *Journal of the Formosan Medical Association*, 98(10), 698–700.
- ⁵³⁸ Lee, H. L., Kan, C. D., Tsai, C. L., Liou, M. J. y Guo, H. R. (2009). Comparative effects of the formulation of glyphosate-surfactant herbicides on hemodynamics in swine. *Clinical toxicology*, 47(7), 651–658. <https://doi.org/10.1080/15563650903158862>
- ⁵³⁹ Acquavella, J. F., Weber, J. A., Cullen, M. R., Cruz, O. A., Martens, M. A., Holden, L. R. y Farmer, D. (1999). Human ocular effects from self-reported exposures to Roundup: registered herbicides. *Human & Experimental Toxicology*, 18(8), 479–486. <https://doi.org/10.1191/096032799678847087>
- ⁵⁴⁰ Suyatna, F. y Darmayanti, S. (2003). Acute eye irritation study of a mixture of glyphosate isopropylamine salt and 2,4 D-isopropylamine. *Medical Journal of Indonesia*, 12(3), 135. doi: 10.13181/mji.v12i3.102
- ⁵⁴¹ Amerio, P., Motta, A., Toto, P., Pour, S. M., Pajand, R., Feliciani, C. y Tulli, A. (2004). Skin toxicity from glyphosate-surfactant formulation. *Journal of Toxicology. Clinical Toxicology*, 42(3), 317-319. <https://doi.org/10.1081/clt-120038769>
- ⁵⁴² George, J., Prasad, S., Mahmood, Z. y Shukla, Y. (2010). Studies on glyphosate-induced carcinogenicity in mouse skin: a proteomic approach. *Journal of Proteomics*, 73(5), 951-964. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2009.12.008>
- ⁵⁴³ Moore, L. J., Fuentes, L., Rodgers Jr, J. H., Bowerman, W. W., Yarrow, G. K., Chao, W. Y. y Bridges Jr., W. C. (2012). *Op. Cit.*
- ⁵⁴⁴ Langrand, J., Blanc-Brisset, I., Boucaud-Maitre, D., Puskarczyk, E., Nisse, P., Garnier, R. y Pulce, C. (2019). *Op. Cit.*
- ⁵⁴⁵ Caballero, M., Amiri, S., Denney, J., Monsivais, P., Hystad, P. y Amram, O. (2018). Estimated Residential Exposure to Agricultural Chemicals and Premature Mortality by Parkinson's Disease in Washington State. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2885. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122885>
- ⁵⁴⁶ Barbosa, A., Zazula, M. F., Oliveira, M. C., Teleken, J. L., Costa, R. M., Bonfleur, M. L., & Torrejais, M. M. (2022). Maternal exposure to glyphosate-based herbicide promotes changes in the muscle structure of C57BL/6 mice offspring. *Anatomical record (Hoboken, N.J. : 2007)*, 305(11), 3307–3316. <https://doi.org/10.1002/ar.24922>
- ⁵⁴⁷ Winstone, J. K. (2022). Glyphosate infiltrates the brain and increases pro-inflammatory cytokine TNF α : implications for neurodegenerative disorders. *Journal of Neuroinflammation*, 19(193), 1-14. doi: 10.1186/s12974-022-02544-5.
- ⁵⁴⁸ Naraine, A. S., Aker, R., Sweeney, I., Kalvey, M., Surtel, A., Shanbhag, V. y Dawson-Scully, K. (2022). Roundup and glyphosate's impact on GABA to elicit extended proconvulsant behavior in *Caenorhabditis elegans*. *Scientific Reports*, 12, 13655. <https://www.nature.com/articles/s41598-022-17537-w>
- ⁵⁴⁹ Costas-Ferreira, C., Durán, R. y Faro, L. R. F. (2022). Toxic effects of glyphosate on the nervous system: a systematic review. *International journal of molecular sciences*, 23(9), 4605. doi: 10.3390/ijms23094605.
- ⁵⁵⁰ Aitbali, Y., Ba-M'hamed, S., Elhidar, N., Nafis, A., Soraa, N. y Bennis, M. (2018). *Op. Cit.*
- ⁵⁵¹ Chang, V. C., Andreotti, G., Ospina, M., Parks, C. G., Liu, D., Shearer, J. J., Rothman, N., Silverman, D. T., Sandler, D. P., Calafat, A. M., Beane Freeman, L. E. y Hofmann, J. N. (2023). *Op. Cit.*
- ⁵⁵² Yang, A. M., Chu, P. L., Wang, C. y Lin, C. Y. (2023). Association between urinary glyphosate levels and serum neurofilament light chain in a representative sample of US adults: NHANES 2013–2014. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 34, 287-293. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00594-2>



553 National Health and Nutrition Examination Survey. (2022). *Glyphosate (GLYP) - Urine (SSGLYP_H) (SSGLYP_H.xpt)* [2013-2014 Conjunto de datos]. https://wwwn.cdc.gov/Nchs/Nhanes/2013-2014/SSGLYP_H.htm

554 Shand, H., Wetter, K., Chowdry, K. y ETC Group. (2022). *Los Barones de la alimentación 2022. Lucro con la crisis, digitalización y nuevo poder corporativo*. ETC group. https://www.etcgroup.org/files/files/barones_completo-low_rev13dic_.pdf

555 Mooney, P. (2017). Too big to feed: *Exploring the impacts of mega-mergers, consolidation and concentration of power in the agri-food sector*. International Panel of Experts on Sustainable Food Systems

556 Wisner Baum. (s.f.). *Op. Cit. Monsanto Papers*

557 *State court documents*. (s.f.). U.S. Right To Know. <https://usrtk.org/monsanto-papers/state-court/#jccp>

558 Benbrook, C. M. (2016). *Op. Cit.*

559 Woodburn, A. T. (2000). *Op. Cit.*

560 Wisner Baum. (s.f.). *Op. Cit. Monsanto Papers*

561 *Wisner Baum*. (2019). *Op. Cit. Monsanto Papers*.

562 McHenry L. B. (2018). The Monsanto Papers: Poisoning the scientific well. *The International Journal of Risk & Safety in Medicine*, 29(3-4), 193-205. <https://doi.org/10.3233/JRS-180028>

563 Leland, G., Bruce, A. (2021). Suborning science for profit: Monsanto, glyphosate, and private science research misconduct. *Research Policy*, 50(7), 104290. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104290>

564 IARC. (2015). *Op. Cit. Monograph*.

565 IARC. (2016). *Op. Cit. Q&A*.

566 Séralini, G. E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., Hennequin, D. y de Vendômois, J. S. (2014). *Op. Cit.*

567 Séralini, G. E., Mesnage, R., Defarge, N., Gress, S., Hennequin, D., Clair, E., Malatesta, M. y de Vendômois, J. S. (2013). *Op. Cit.*

568 Benbrook, C. M. (2019). *Op. Cit.*

569 EPA. (2019). *EPA takes next step in review process for herbicide glyphosate, reaffirms no risk to public health*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/pesticides/epa-takes-next-step-review-process-herbicide-glyphosate-reaffirms-no-risk-public-health>

570 EPA. (2022). *Withdrawal of the glyphosate interim registration review decision*. Regulations.gov. Environmental Protection Agency. <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPP-2009-0361-14447>

571 EPA. (2023). *U.S. Environmental Protection Agency. Glyphosate*. <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/glyphosate#:~:text=EPA%20scientists%20performed%20an%20independent,risks%20to%20children%20or%20adults>

572 Natural Resources Defense Council v. U.S. Environmental Protection Agency, No. 20-70787, United States Court of Appeals for the Ninth Circuit, California. 2022. <https://cdn.ca9.uscourts.gov/datastore/opinions/2022/06/17/20-70787.pdf>

573 Malkan, S. (31 de marzo de 2019). *Monsanto relied on these "partners" to attack top cancer scientists*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/monsanto-relied-on-these-partners-to-attack-top-cancer-scientists/>

574 Glyphosate: IARC. (2015). En *Monsanto Company Confidential* (No. MONGLY02913526). <https://www.baumhedlundlaw.com/documents/pdf/monsanto-documents/72-document-details-monsantos-goals-after-iarc-report.pdf>

575 Krinsky, S., Gillam, C. (2018). Roundup litigation discovery documents: implications for public health and journal ethics. *Journal of Public Health Policy*, 39(3), 318-326. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00594-2>

576 Glyphosate: IARC. (2015). *Op. Cit.*

577 Malkan, S. (31 de marzo de 2019). *Op. Cit.*

578 Ruskin, G. (1 de marzo de 2018). *Grocery Manufacturers Association — key facts*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/grocery-manufacturers-association/>

579 Malkan, S. (31 de agosto de 2020). *GMO answers is a marketing and pr campaign for pesticide companies*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/gmo-answers-is-a-marketing-and-pr-website-for-gmo-companies/>

580 Malkan, S. (29 de octubre de 2022). *IFIC: How Big Food Spins Bad News*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/ific-how-big-food-spins-bad-news/>

581 Steele, S., Sarcevic, L., Ruskin, G. y Stuckler, D. (2022). Confronting potential food industry 'front groups': case study of the international food information Council's nutrition communications using the UCSF food industry documents archive. *Globalization and Health*, 18, 16. <https://doi.org/10.1186/s12992-022-00806-8>

582 Malkan, S. (31 de mayo de 2018). *Academics Review: the making of a Monsanto front group*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/academics-review-the-making-of-a-monsanto-front-group/>

583 Malkan, S. (22 de enero de 2018). *Trevor Butterworth, Sense About Science and STATS Spin Science for Industry*. U.S. Right to Know. Recuperado de <https://usrtk.org/food-for-thought/trevor-butterworth-spins-science-for-industry/>

584 Malkan, S. (14 de julio de 2022). *Genetic Literacy Project: PR front for Monsanto, Bayer and the chemical industry*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/our-investigations/jon-entine-genetic-literacy-project/>

585 Ruskin, G. (1 de marzo de 2018). *Op. Cit.*

586 Malkan, S. (17 de julio de 2018). *Secret documents expose Monsanto's war on cancer scientists*. Organic Consumers Association. <https://www.organicconsumers.org/blog/monsanto-war-cancer-scientists>





⁵⁸⁷ Eng, M. (15 de marzo de 2016). Why didn't an Illinois professor have to disclose GMO funding? WBEZCHICAGO. <https://www.wbez.org/stories/why-didnt-an-illinois-professor-have-to-disclose-gmo-funding/eb99bdd2-683d-4108-9528-de1375c3e9fb>

⁵⁸⁸ Malkan, S. (31 de mayo, 2018). *Op. Cit.*

⁵⁸⁹ Bruce, C. (2010). Re: *domain available* [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.usrtk.org/wp-content/uploads/2016/01/uploadBruceChassy3.pdf>

⁵⁹⁰ Bruce, C. (2010). Re: Questions [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.usrtk.org/wp-content/uploads/2016/01/Sachs-AR.pdf>

⁵⁹¹ Malkan, S. (31 de mayo de 2018). *AgBioChatter: where corporations, academics plotted strategy on GMOs, pesticides*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/gmo/agbiochatter-where-corporations-and-academics-plotted-strategy-on-gmos-pesticides/>

⁵⁹² Hedlund, B. A. y Goldman, P. C. (10 de septiembre 2019). *Jon entine y genetic literacy project are Monsanto trolls*. Wisner Baum. <https://www.baumhedlundlaw.com/blog/2019/september/jon-entine-and-genetic-literacy-project-are-mons/>

⁵⁹³ Heydens, W. (2015). Re: IARC Outcomes, Process, and Response [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/22-Internal-Email-Demonstrating-Monsanto-Ghostwriting-Article-Criticizing-IARC-for-Press.pdf>

⁵⁹⁴ Ruskin, G. (18 de enero de 2023). *Henry I. Miller's long history of science denial and product defense*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/our-investigations/henry-i-miller/>

⁵⁹⁵ Malkan, S. (18 de junio de 2019). *Nina Fedoroff: Mobilizing the authority of American science to back Monsanto*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/our-investigations/nina-fedoroff-aaas/>

⁵⁹⁶ Malkan, S. (24 de julio, 2017). *Reuters' Kate Kelland promoted false narrative about IARC and Aaron Blair*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/pesticides/reuters-kate-kelland-iarc-story-promotes-false-narrative/>

⁵⁹⁷ Baum Hedlund. (2016). Re: Reuters looking to speak to IARC Observer [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/documents/pdf/monsanto-documents-2/Email-Re-Reuters-Looking-to-Speak-to-IARC-Observer-Following-Red-Flag-Engagement-Reuters-First-Piece-Was-Quite-Critical-of-IARC.pdf>

⁵⁹⁸ Gillam, C. (25 de abril de 2019). *New Monsanto documents expose cozy connection to Reuters reporter*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/monsanto-roundup-trial-tracker/new-monsanto-documents-expose-cozy-connection-to-reuters-reporter/>

⁵⁹⁹ Murphey, S. (2017). Re: Your voicemail [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/pdf/monsanto-documents-2/Monsanto-Sam-Murphey-sends-anti-IARC-and-Anti-Aaron-Blair-message-to-Kate-to-use-in-her-article.pdf>

⁶⁰⁰ Levine, S. (2010). Re: Issuance of glyphosate Test Orders for the EDSP [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/62-Email-Correspondence-Further-Confirming-Monsantos-Close-Ties-with-Former-EPA-Official-Jess-Rowland.pdf>

⁶⁰¹ EPA. (2015). *Cancer assessment document: Evaluation of the carcinogenic potential of glyphosate* (Final report). U.S. Environmental Protection Agency, Health Effects Division, Office of Pesticide Programs.. <https://src.bna.com/eAi>

⁶⁰² Caso No. 3:16-md-02741-VC de 2016. Motion to depose EPA Jess Rowland. (5 de diciembre de 2016). <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2017/01/JessRowland.pdf>

⁶⁰³ Gillam, C. (17 de agosto de 2017). *Collusion or Coincidence? Records show EPA efforts to slow herbicide review came in coordination with Monsanto*. U.S. Right to Know. <https://usrtk.org/uncategorized/collusion-or-coincidence-records-show-epa-efforts-to-slow-herbicide-review-came-in-coordination-with-monsanto/>

⁶⁰⁴ Donley, N. y Gilliam, C. (7 de mayo de 2019). *The EPA is meant to protect us. The Monsanto trials suggest it isn't doing that*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/commentisfree/2019/may/07/epa-monsanto-round-up-trial>

⁶⁰⁵ Benbrook, C. M. (2019). *Op. Cit.*

⁶⁰⁶ Garnett, R. (2009). Re: Glyphosate Expert Panel follow up meeting [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/64-Email-Confirms-Monsantos-Efforts-to-Overcome-Regulatory-Hurdles-Using-Political-Influence.pdf>

⁶⁰⁷ Levine, S. (2010). *Op. Cit.*

⁶⁰⁸ Baum Hedlund, (2013). *Detailing Monsantos Collusion with EPA*. [Mensaje en lista de correo electrónico]. <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/55-Text-Messages-Detailing-Monsantos-Collusion-with-EPA.pdf>

⁶⁰⁹ Glyphosate: IARC. (2015). *Op. Cit.*

⁶¹⁰ Monsanto. (s.f.). *Importance of Glyphosate Uses in California* [Diapositiva de PowerPoint]. <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/63-PowerPoint-Showing-Monsantos-Efforts-to-Influence-State-of-California-on-Glyphosate-No-Significant-Risk-Level.pdf>

⁶¹¹ Jenkins, D. (2015). Re: GA Update on US Government Outreach - WHO IARC Clarification on Glyphosate [Mensaje en lista de correo electrónico]. Recuperado de <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/56-Email-Showing-Communications-Between-Monsanto-and-EPA-in-Furtherance-of-Avoiding-Roundup-and-Glyphosate-Testing.pdf>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ⁶¹² Jenkins, D. (2016). Re: Jack Housenger at ARA [Mensaje en lista de correo electrónico]. <https://www.baumhedlundlaw.com/assets/monsanto%20roundup%20pages/secret%20documents/68-Monsanto-Executive-Confirms-in-Email-to-CropLife-America.pdf>
- ⁶¹³ Malkan, S., Klein, K. y Lappé, A. (2022). *MERCHANTS OF POISON. How Monsanto sold the world on a toxic pesticide*. USRTK. https://foe.org/wp-content/uploads/2022/12/Merchants_of_Poison_Report_final_113022.pdf
- ⁶¹⁴ Zhang, L., Rana, I., Shaffer, R. M., Taioli, E. y Sheppard, L. (2019). *Op. Cit.*
- ⁶¹⁵ Eriksson, M., Hardell, L., Carlberg, M. y Åkerman, M. (2008). Pesticide exposure as risk factor for non-Hodgkin lymphoma including histopathological subgroup analysis. *International Journal of Cancer*, 123(7), 1657-1663. <https://doi.org/10.1002/ijc.23589>
- ⁶¹⁶ De Roos, A., Zahm, S. H., Cantor, K. P., Weisenburger, D. D., Holmes, F. F., Burmeister, L. F. y Blair, A. (2003). Integrative assessment of multiple pesticides as risk factors for non-Hodgkin's lymphoma among men. *Occupational and Environmental Medicine*, 60(9), e11. <https://doi.org/10.1136/oem.60.9.e11>
- ⁶¹⁷ Roy, M., Hals, T. y Burger, L. (28 de agosto de 2020). *Bayer acknowledges 'bumps' in \$11 billion Roundup deal after judge raises doubts*. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-bayer-lawsuit-idUSKBN25N2YK>
- ⁶¹⁸ Ximénez, P. (25 de junio de 2020). Bayer acepta pagar 11.000 millones de dólares a las víctimas del herbicida Roundup en Estados Unidos. *El País*. <https://elpais.com/sociedad/2020-06-24/bayer-acepta-pagar-11000-millones-de-dolares-a-las-victimas-del-herbicida-roundup.html>
- ⁶¹⁹ Centner, T. J. (2020). Monsanto's Roundup verdicts portend liability for some pesticide health damages. *Agronomy Journal*, 112(5), 4519-4528. <https://doi.org/10.1002/agj.2.20366>
- ⁶²⁰ *Johnson v. Monsanto Company*. (2018). Wisner Baum. <https://www.baumhedlundlaw.com/toxic-tort-law/monsanto-roundup-lawsuit/johnson-v-monsanto-co-/>
- ⁶²¹ *Dewayne Johnson v. Monsanto Company*, CGC-16-550128, Superior Court of California, San Francisco. 2016. <https://www.baumhedlundlaw.com/documents/pdf/monsanto-documents/monsanto-ca-state-court-johnson-complaint.pdf>
- ⁶²² Superior Court of the State of California for the County of San Francisco. (10 de agosto de 2018). Verdict form: Dewayne Johnson v. Monsanto Company (Case No. CGC-16-550128). Honorable Suzanne R. Bolanos, Department 504. <https://www.baumhedlundlaw.com/documents/pdf/monsanto-documents/johnson-trial/johnson-vs-monsanto-verdict-form.pdf>
- ⁶²³ Busscher, N., Colombo, E. L., van der Ploeg, L., Gabella, J. I. y Leguizamón, A. (2020). Civil society challenges the global food system: the International Monsanto Tribunal. *Globalizations*, 17, 16-30. <https://doi.org/10.1080/14747731.2019.1592067>
- ⁶²⁴ *Settlements & Verdicts*. (2020). Wisner Baum. <https://www.baumhedlundlaw.com/our-successes/settlements-and-verdicts/>
- ⁶²⁵ *First \$20M Roundup verdict stands after Bayer declines to seek SCOTUS review*. (25 de marzo de 2021). Domina Law Group. <https://www.dominalaw.com/legal-blog/2021/march/first-20m-roundup-verdict-stands-after-bayer-dec/>
- ⁶²⁶ *Edwin Hardeman v. Monsanto Company*. (s.f.). Wisner Baum. <https://www.baumhedlundlaw.com/toxic-tort-law/monsanto-roundup-lawsuit/hardeman-v-monsanto-co-/>
- ⁶²⁷ Centner, T. J. (2020). *Op. cit.*
- ⁶²⁸ Benbrook, C. (2020). Shining a light on glyphosate-based herbicide hazard, exposures and risk: role of non-Hodgkin lymphoma litigation in the USA. *European Journal of Risk Regulation*, 11(3), 498-519. doi: 10.1017/err.2020.16
- ⁶²⁹ *Pilliod v. Monsanto Company*. (s.f.). Wisner Baum. <https://www.baumhedlundlaw.com/toxic-tort-law/monsanto-roundup-lawsuit/pilliod-et-al-v-monsanto-co-/>
- ⁶³⁰ Benbrook, C. (2020). *Op. cit.*
- ⁶³¹ Centner, T. J. (2020). *Op. cit.*
- ⁶³² Benbrook, C. (2020). *Op. cit.*
- ⁶³³ Centner, T. J. (2020). *Op. cit.*
- ⁶³⁴ Busscher, N., Colombo, E. L., van der Ploeg, L., Gabella, J. I. y Leguizamón, A. (2020). *Op. Cit.*
- ⁶³⁵ The New Lede. (2023). *Paraquat papers media library*. <https://www.thenewlede.org/paraquat-papers-media-library/>
- ⁶³⁶ Gaberell, L. (24 de marzo de 2021). *Cómo Syngenta ignoró las advertencias para mantener en el mercado su plaguicida tóxico*. Public Eye. <https://www.publiceye.ch/fr/thematiques/pesticides/como-syngenta-ignoro-las-advertencias-para-mantener-en-el-mercado-su-plaguicida-toxico>
- ⁶³⁷ Gilliam, C. y Uteova, A. (20 de octubre de 2022). *Secret "Paraquat Papers" reveal corporate tactics to protect weed killer linked to Parkinson's disease*. The New Lede. <https://www.thenewlede.org/2022/10/secret-paraquat-papers-reveal-corporate-tactics-to-protect-weed-killer-linked-to-parkinsons-disease/>
- ⁶³⁸ Doug Holliday, individually and on behalf of all others similarly situated vs. Syngenta Crop Protection LLC and Chevron USA INC. (2021). Caso No. 4:21-cv-00137-RGE-HCA, United States District Court for the Southern District of Iowa. 2021. <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2021/05/class-action-paraquat-lawsuit-1.pdf>
- ⁶³⁹ Caso No. JCCP 5031 de 2021. [Superior Court of California, County Of Contra Costa]. Coordination Proceeding Special Title (Rule 3.550) Paraquat Cases. 18 de Junio de 2021. <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2021/06/2021-06-18-Notice-of-Settlement-of-Coordinated-Cases.pdf>



⁶⁴⁰ Ruskin, G. (11 de octubre de 2022). *Paraquat Papers – Updates to U.S. litigation*. U.S. Right To Know. <https://usrtk.org/pesticides/paraquat-papers/>

⁶⁴¹ Case pending No. 28 de 2021. [Judicial Panel On Multidistrict Litigation of Washington, DC]. Plaintiff's motion for transfer of actions to the northern district of California pursuant to 28 u.s.c. § 1407 for coordinated or consolidated pretrial proceedings. 07 de abril de 2021. <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2021/04/Motion-to-transfer-paraquat-cases-to-Judge-Chen-for-pretrial-consolidation.pdf>

⁶⁴² Caso No. MDL 3004 de 2021. [Judicial Panel On Multidistrict Litigation of Washington, DC]. Por el cual se ordena que las acciones solicitadas sean transferidas al Distrito Sur de Illinois. 07 de junio de 2021. <https://usrtk.org/wp-content/uploads/2021/06/MDL-3004-Transfer-Order-05-21.pdf>

⁶⁴³ Dionglay, C. (11 de mayo de 2022). *Op. cit.*

⁶⁴⁴ Ley No. 31111, de 6 de enero de 2021. Por la que modifica la ley 29811. Congreso de la República. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/ley-que-modifica-la-ley-29811-ley-que-establece-la-moratori-ley-n-31111-1917468-1>

⁶⁴⁵ *Swiss parliament paves way for genome editing*. (8 de marzo de 2022). SWI. <https://www.swissinfo.ch/eng/swiss-parliament-paves-way-for-genome-editing/47412526>

⁶⁴⁶ Unión Europea. Directiva (UE) 2015/412 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de marzo de 2015, por la que se modifica la Directiva 2001/18/CE en lo que respecta a la posibilidad de que los Estados miembros restrinjan o prohíban el cultivo de organismos modificados genéticamente (OMG) en su territorio Texto pertinente a efectos del EEE. *Diario Oficial de la Unión Europea, L 68.1*, de 13 de marzo de 2015, pp. 1-8. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2015/412/oj>

⁶⁴⁷ Unión Europea. Directiva (UE) 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la Directiva 90/220/CEE del Consejo. *Diario Oficial de la Unión Europea, L 106*, de 17 de abril de 2001, pp. 1-39. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/18/oj>

⁶⁴⁸ AGES. ((2023). *AGES Information on genetically modified organisms*. <https://www.ages.at/en/plant/genetic-engineering/information-on-genetically-modified-organisms>

⁶⁴⁹ *GM crops to remain forbidden in Luxembourg*. (14 de enero de 2015). Luxembourg Times. <https://www.luxtimes.lu/en/luxembourg/gm-crops-to-remain-forbidden-in-luxembourg-602d357ede135b923626833d#:~:text=Cultivating%20GM%20crops%20will%20remain,to%20grow%20genetically%20modified%20organisms.>

⁶⁵⁰ *Luxembourg's parliament votes unanimously to prohibit farmers from growing GMO corn*. (26 de Junio de 2017). Genetic Literacy Project. <https://geneticliteracyproject.org/2017/06/26/luxembourgs-parliament-votes-unanimously-prohibit-farmers-growing-gmo-corn/>

⁶⁵¹ Ley Federal No. 358-FZ, de 3 de julio de 2016. Sobre las enmiendas a determinados actos legislativos de la Federación de Rusia para mejorar parcialmente la reglamentación estatal en el ámbito de las actividades de ingeniería genética. Federación de Rusia. <https://base.garant.ru/71435492/741609f9002bd54a24e5c49cb5af953b/>

⁶⁵² Ley Federal No. 358-FZ de 3 de julio de 2016. *Ídem*.

⁶⁵³ Smyth, S., Kerr, W. y Phillips, P. (2017). Labeling demands, coexistence and the challenges for trade. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization*, 15, 20160015.

⁶⁵⁴ CibioGem. (s/f). Legislación de otros países sobre etiquetado de alimentos con OGM. Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados. <https://conahcyt.mx/cibioGem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/documentos-y-actividades-en-bioseguridad/24-repositorios/994-legislacion-de-otros-paises-sobre-trazabilidad-y-etiquetado-de-alimentos>

⁶⁵⁵ Secretariat of the Convention on Biological Diversity. (2003). *The Cartagena Protocol on Biosafety*. The Biosafety Clearing-House (BCH). <https://bch.cbd.int/protocol/>

⁶⁵⁶ Lundquist, K. A. (2015). Unapproved Genetically modified corn : it ' s what ' s for dinner. *Iowa Law Review*, 100(2), 825-851.

⁶⁵⁷ *Where is glyphosate banned?*. (2023). Wisner Baum. <https://www.wisnerbaum.com/toxic-tort-law/monsanto-roundup-lawsuit/where-is-glyphosate-banned-/>

⁶⁵⁸ Verordnung über Anwendungsverbote für Pflanzenschutzmittel [Ordenanza sobre la aplicación de Productos Fitosanitarios] (PflSchAnwV), 22 de noviembre de 1992, Bundesgesetzblatt I, S. 1887. <https://www.buzer.de/gesetz/4714/index.htm>

⁶⁵⁹ The Luxembourg Government (2021). *Luxembourg, the first EU country to ban the use of glyphosate*. https://gouvernement.lu/en/actualites/toutes_actualites/communiques/2020/01-janvier/16-interdiction-glyphosate.html

⁶⁶⁰ Walsh, A. y Kingwell, R. (2021). Economic implications of the loss of glyphosate and paraquat on Australian enterprise farms. *Agricultural Systems*, 193, 103207. <https://doi.org/10.1016/j.agysy.2021.103207>

⁶⁶¹ Walsh, A. y Kingwell, R. (2021). *Ídem*.

⁶⁶² Walsh, A. y Kingwell, R. (2021). *Ídem*.

⁶⁶³ Walsh, A. y Kingwell, R. (2021). *Ídem*.

⁶⁶⁴ *Czech Republic to restrict use of glyphosate weedkiller*. (17 de septiembre de 2018). Phys <https://phys.org/news/2018-09-czech-republic-restrict-glyphosate-weedkiller.html>





⁶⁶⁵ Arcuri, A. y Hendlin, Y. H. (2019). The chemical anthropocene: Glyphosate as a case study of pesticide exposures. *King's Law Journal*, 30(2), 234-253. <https://doi.org/10.1080/09615768.2019.1645436>

⁶⁶⁶ *Draft national level listed species biological evaluation for glyphosate*. (2020). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/endangered-species/draft-national-level-listed-species-biological-evaluation-glyphosate>

⁶⁶⁷ Office of Environmental Health Hazard Assessment. (4 de septiembre de 2015). *Notice of intent to list: tetrachlorvinphos, parathion, malathion, glyphosate*. <https://oehha.ca.gov/proposition-65/crn/notice-intent-list-tetrachlorvinphos-parathion-malathion-glyphosate>

⁶⁶⁸ California Office of Environmental Health Hazard Assessment. (26 de junio de 2017). *Glyphosate Listed Effective July 7, 2017, as Known to the State of California to Cause Cancer*. <https://oehha.ca.gov/proposition-65/crn/glyphosate-listed-effective-july-7-2017-known-state-california-cause-cancer>

⁶⁶⁹ California Office of Environmental Health Hazard Assessment. (1 de agosto de 2017). *Proposition 65 in Plain Language*. <https://oehha.ca.gov/proposition-65/general-info/proposition-65-plain-language>

⁶⁷⁰ Williams, A. (8 de febrero de 2019). *State halts putting herbicide on nuisance water plants while it gathers public input*. News-Press. de <https://www.news-press.com/story/tech/science/environment/2019/02/07/state-halts-putting-herbicide- nuisance-water-plants-while-gathers-public-input/2746290002/>

⁶⁷¹ Krimsky, S. (2015). An illusory consensus behind GMO health assessment. *Science, Technology, & Human Values*, 40(6), 883-914. <https://doi.org/10.1177/0162243915598381>

⁶⁷² Krimsky, S. (2015). *Ídem*.

⁶⁷³ Schubert, D. (2002). A different perspective on GM food. *Nature Biotechnology*, 20(10), 969. <https://doi.org/10.1038/nbt1002-969>

⁶⁷⁴ Hilbeck, A., Binimelis, R., Defarge, N. Steinbrecher, R., Székács, A., Wickson, F., Antoniou, M., Bereano, P. L., Clark, E. A., Hansen, M., Novotny, E., Heinemann, J., Meyer, H., Shiva, V. y Wynne, B. (2015). No scientific consensus on GMO safety. *Environmental Sciences Europe*, 27, 4. <https://doi.org/10.1186/s12302-014-0034-1>

⁶⁷⁵ Hilbeck, A., Binimelis, R., Defarge, N. Steinbrecher, R., Székács, A., Wickson, F., Antoniou, M., Bereano, P. L., Clark, E. A., Hansen, M., Novotny, E., Heinemann, J., Meyer, H., Shiva, V. y Wynne, B. (2015). *Ídem*.

⁶⁷⁶ Economic Research Service. U.S. Department of Agriculture. (2023). *Op. Cit.*

⁶⁷⁷ Krimsky, S. y Murphy, N. K. (2002). Biotechnology at the Dinner Table: FDA's Oversight of Transgenic Food. *The ANNALS of the American Academy of Political and Social Science*, 584, 80-96. <https://doi.org/10.1177/000271620258400106>

⁶⁷⁸ OMS/FAO. (2000). *Op. Cit. Aspectos...*

⁶⁷⁹ Druker, S. (2015). *Op. Cit.*

⁶⁸⁰ *Discovery documents from the lawsuit Alliance for Bio-Integrity et al v. Shalala*. (1998). Center for Food Safety, 666 Pennsylvania Ave, SE, Washington DC, 202-547-9359.

⁶⁸¹ *Record-breaking one million public comments demand FDA label genetically engineered foods*. Center for Food Safety (27 de marzo de 2012). <https://www.centerforfoodsafety.org/healthy-home/3274/healthy-home/press-releases/700/record-breaking-one-million-public-comments-demand-fda-label-genetically-engineered-foods>

⁶⁸² Alliance for Bio-Integrity et al. v. Donna Shalala et al., No. 98-1300(CKK), United States District Court for the District of Columbia. 2000. <https://www.centerforfoodsafety.org/files/plaintiffmemo611999.pdf>

⁶⁸³ Druker, S. (2011). *How a U.S. District court revealed the flaws in the FDA'S policy on genetically engineered foods*. <https://www.saynotogmos.org/druker.pdf>

⁶⁸⁴ Druker, S. (2015). Ingreso ilegal. En *Genes Alterados, verdad adulterada. Cómo la empresa de los alimentos modificados genéticamente ha trastocado la ciencia, corrompido gobiernos y engañado a la población* (pp. 160-163). Icaria.

⁶⁸⁵ Druker, S. (2015). Ingreso ilegal. En *Genes Alterados, verdad adulterada. Cómo la empresa de los alimentos modificados genéticamente ha trastocado la ciencia, corrompido gobiernos y engañado a la población* (pp. 153-156). Icaria.

⁶⁸⁶ Druker, S. (2015). Ingreso ilegal. En *Genes Alterados, verdad adulterada. Cómo la empresa de los alimentos modificados genéticamente ha trastocado la ciencia, corrompido gobiernos y engañado a la población* (p. 156). Icaria.

⁶⁸⁷ Druker, S. (2015). Ingreso ilegal. En *Genes Alterados, verdad adulterada. Cómo la empresa de los alimentos modificados genéticamente ha trastocado la ciencia, corrompido gobiernos y engañado a la población* (pp. 161). Icaria.

⁶⁸⁸ Francis, L., Craig, R. K. y George, E. (2016). FDA's troubling failures to use its authority to regulate genetically modified foods. *Food and drug law journal*, 71, 105-134. <https://ssrn.com/abstract=2847303>

⁶⁸⁹ Francis, L., Craig, R. K. y George, E. (2016). *Ídem*.

⁶⁹⁰ Gardner, B. (2003). US food quality standards: fix for market failure or costly anachronism?. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(3), 725-730.

⁶⁹¹ Cohrssen, J. J. y Miller, H. I. (2017). FDA is the wrong agency to regulate genetically engineered animals. *Nature biotechnology*, 35(7), 620-622. <https://doi.org/10.1038/nbt.3915>

⁶⁹² Peck, A. (2017). The failure of federal biotechnology regulation. *Valparaiso University Law Review*, 51(2), 483-517.

⁶⁹³ Yang, Y. T. y Chen, B. (2016). Governing GMOs in the USA: science, law and public health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1851-1855. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7523>

⁶⁹⁴ Leaf, T., Ostlie, K. y Kaiser, D. (2017). Transgenic corn response to nitrogen rates under corn rootworm pressure. *Agronomy Journal*, 109(4), 1632-1642. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.03.0154>





- ⁶⁹⁵ Alain H. CONTROL: the extractive ecology of corn monoculture. *Cult Stud.* 2017;31(2-3):232-252. doi:10.1080/09502386.2017.1303427
- ⁶⁹⁶ Jia, Z. (2014). Progress on safety evaluation of transgenic corn. *Journal of Maize Sciences.* <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111451189>.
- ⁶⁹⁷ Carrière, Y., Brown, Z. S., Downes, S. J., Gujar, G., Epstein, G., Omoto, C., Storer, N. P., Mota-Sanchez, D., Søgaard Jørgensen, P. y Carroll, S. P. (2020). Governing evolution: A socioecological comparison of resistance management for insecticidal transgenic Bt crops among four countries. *Ambio*, 49, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01167-0>
- ⁶⁹⁸ Carrière, Y., Brown, Z. S., Downes, S. J., Gujar, G., Epstein, G., Omoto, C., Storer, N. P., Mota-Sanchez, D., Søgaard Jørgensen, P. y Carroll, S. P. (2020). *Ídem*.
- ⁶⁹⁹ Vavilov, N. I. (1927). *Origin and Geography of Cultivated Plants*. Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
- ⁷⁰⁰ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ⁷⁰¹ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Ídem*.
- ⁷⁰² Doebley, J. (1990). Molecular evidence and the evolution of maize. *Economic Botany*, 44(3), 6-27.
- ⁷⁰³ Wang, R. L., Stec, A., Hey, J., Lukens, L. y Doebley, J. (1999). The limits of selection during maize domestication. *Nature*, 398(6724), 236-239. <https://doi.org/10.1038/18435>
- ⁷⁰⁴ Ranere, A. J., Piperno, D. R., Holst, I., Dickau, R. y Iriarte, J. (2009). The cultural and chronological context of early Holocene maize and squash domestication in the Central Balsas River Valley, Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(13), 5014-5018.
- ⁷⁰⁵ Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M. M., Sanchez G, J., Buckler, E. y Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(9), 6080-6084. <https://doi.org/10.1073/pnas.052125199>
- ⁷⁰⁶ Piperno, D. R. y Flannery, K. V. (2001). The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: new accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(4), 2101-2103. doi: 10.1073/pnas.98.4.2101.
- ⁷⁰⁷ Long, A., Benz, B. F., Donahue, D. J., Jull, A. T. y Toolin, L. J. (1989). First direct AMS dates on early maize from Tehuacán, Mexico. *Radiocarbon*, 31(3), 1035-1040.
- ⁷⁰⁸ Ranere, A. J., Piperno, D. R., Holst, I., Dickau, R. y Iriarte, J. (2009). *Op. cit.*
- ⁷⁰⁹ Zizumbo-Villarreal, D. y Colunga-García Marín, P. (2010). Origin of agriculture and plant domestication in West Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 813-825. doi: 10.1007/s10722-009-9521-4
- ⁷¹⁰ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Razas de maíz de México*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- ⁷¹¹ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ⁷¹² Diario Oficial de la Federación. (13 de marzo de 2020). *Ley Federal para el fomento y protección del maíz nativo*. SEGOB. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFFPMN_130420.pdf
- ⁷¹³ Bretting, P. K., Goodman, M. M. y Stuber, C. W. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54, 43-59.
- ⁷¹⁴ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (s.f.). *Op. Cit.*
- ⁷¹⁵ Arteaga, M. C., Moreno-Letelier, A., Mastretta-Yanes, A., Vazquez-Lobo, A., Breña-Ochoa, A., Moreno-Estrada, A., Eguiarte, L. E. y Piñero, D. (2016). Genomic variation in recently collected maize landraces from Mexico. *Genomics Data*, 7, 38-45.
- ⁷¹⁶ Vigouroux, Y., J.C. Glaubitz, Y. Matsuoka, M.M. Goodman, J. Sanchez G., J. Doebley. (2008). Population structure and genetic diversity of New World maize landraces assessed by DNA microsatellites. *American Journal of Botany*, 95, 1240-1253. <https://doi.org/10.3732/ajb.0800097>
- ⁷¹⁷ Goodman, M. M. y Bird, R. M. (1977). *Op. Cit.*
- ⁷¹⁸ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*
- ⁷¹⁹ Aragón-Cuevas, F., Taba, S., Castro-García, F. H., Hernández-Casillas, J. M., Cabrera-Toledo, J. M., Alcalá, L. O. y Ramírez, N. D. (2005). In situ conservation and use of local maize races in Oaxaca, Mexico: A participatory and decentralized approach. En S. Tada (Ed), *Latin American maize germplasm conservation: regeneration, in situ conservation, core subsets, and prebreeding* (pp. 26-38). CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/ca891cb7-169d-41ed-83e1-ebd76a206b1c/content>
- ⁷²⁰ Aragón Cuevas, F. y Sánchez Cuevas, A. (2019). *Generación de elementos para la construcción de uno o más modelos de conservación in situ de la agrobiodiversidad vinculada a la milpa y sus parientes silvestres en México: Conservación in situ y mejoramiento participativo de los maíces nativos y sus parientes silvestres en Oaxaca*. (Informe final-CONABIO-NM002). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valles Centrales Oaxaca.
- ⁷²¹ Anderson, E. y Cutler, H. C. (1942). Races of *Zea mays*: I. Their recognition and classification. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 29(2), 69-88.
- ⁷²² Harlan, J. R. y de Wet, J. M. (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon*, 20(4), 509-517.
- ⁷²³ Hernandez-X, E. y Alanis, F. (1970). Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: implicaciones fitogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia*, 5, 3-20.
- ⁷²⁴ Goodman, M. M. y Bird, R. M. (1977). *Op. Cit.*



⁷²⁵ Ruiz, J. A. C., Sánchez, J. de J. G., Hernández, J. M. C., Willcox, M. C., Ramírez, G. O., Ramírez, J. L. D. y González, D. R. E. (2013). Identificación de razas mexicanas de maíz adaptadas a condiciones deficientes de humedad mediante datos biogeográficos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(6), 829-842.

⁷²⁶ Conabio. (s.f.). *Op. Cit.* <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>

⁷²⁷ Goodman, M. M. y Bird, R. M. (1977). *Op. Cit.*

⁷²⁸ Bretting, P. K., Goodman, M. M. y Stuber, C. W. (2000). *Op. Cit.*

⁷²⁹ Boege, E. (2009). Centros de origen, pueblos indígenas y diversificación del maíz. *Ciencias*, 92-93, 18-28. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ciencias-mexico-d-f/articulo/centros-de-origen-pueblos-indigenas-y-diversificacion-del-maiz>

⁷³⁰ Mera, L. M. O. y Mapes, C. S. (2009). El maíz. Aspectos biológicos. En T. A. Kato, C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye (Eds.), *Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica* (pp. 19-32). Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

⁷³¹ Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Espinosa-Calderón, A., Mejía-Andrade, H. y Serratos-Hernández, J. A. (2010). ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico?. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (4), 631-646.

⁷³² Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. (2008). *La Memoria Biocultural. La Importancia Ecológica de las Sabidurías Tradicionales*. Icaria.

⁷³³ Hernández, X. E. (1981). *Agroecosistemas de México: contribución a la enseñanza, la investigación y la divulgación agrícola* (2ª ed., pp. 369-390). Colegio de Postgraduados.

⁷³⁴ Colín, S. M. (2000). Mejoramiento genético del maíz en la época prehispánica. *Agricultura Técnica en México*, 26, 3-15.

⁷³⁵ Hayano-Kanashiro, C., Calderón-Vázquez, C., Ibarra-Laclette, E., Herrera-Estrella, L. y Simpson, J. (2009). Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *PLoS one*, 4(10), e7531. doi: 10.1371/journal.pone.0007531.

⁷³⁶ Ruiz, J., Ortega, A., Ramírez, G., Guerrero-Herrera, M., Sánchez, J. y Aragón C. (2013). *Ecología y distribución actual y potencial de razas mexicanas de maíz*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

⁷³⁷ Bretting, P. K., Goodman, M. M. y Stuber, C. W. (2000). *Op. Cit.*

⁷³⁸ Wellhausen, E. J., Roberts, L. M., Hernández, X. E. y Mangelsdorf, P. C. (1951). *Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución*. Secretaría de Agricultura y Ganadería.

⁷³⁹ Muñoz, O. A. (2003). *Centli-maíz: prehistoria e historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico, glosario Centli-maíz*. (pp. 19-31). Colegio de Postgraduados.

⁷⁴⁰ Hernández, X.E. (1987). *Op. Cit.*

⁷⁴¹ Boege, E. (2008). *Op. cit.*

⁷⁴² Boege, E. (2008). *Ídem*.

⁷⁴³ Hernández, E. (1988). La agricultura tradicional en México. *Comercio Exterior*, 38(8), 673-678.

⁷⁴⁴ Ureta, C., González, E. J., Espinosa, A., Trueba, A., Piñeyro-Nelson, A. y Álvarez-Buylla, E. R. (2020). Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*, 177, 102697. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>

⁷⁴⁵ Márquez, F. (2008). De las variedades criollas de maíz (*Zea mays* L.) a los híbridos transgénicos. I: Recolección de germoplasma y variedades mejoradas. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 5(2), 151-166.

⁷⁴⁶ Toledo, V. M. y Barrera-Bassols, N. (2008). *Op. Cit.*

⁷⁴⁷ Ortega-Paczka, R. (2003). *Op. Cit.*

⁷⁴⁸ Boege, E. (2008). *Op. cit.*

⁷⁴⁹ Gutiérrez, N. G. y Gómez, J. A. E. (2011). Relatos de vida productiva alrededor del maíz. Maíz, milpa, conocimiento y saberes locales en comunidades agrícolas. En A. A. Villamar, E. Corona-M, y P. Hersch. (Coords.), *Saberes Colectivos Y Diálogos de Saberes En México* (pp. 329-343). Universidad Nacional Autónoma de México.

⁷⁵⁰ Lazos, E. y Chauvet, M. (2012). *Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México*. CONABIO.

⁷⁵¹ Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A. y Bye, R. A. (2009). *Op. Cit.*

⁷⁵² Boege, E. (2008). *Op. cit.*

⁷⁵³ Alarcón, R., Ingaramo, P. I., Rivera, O. E., Dioguardi, G. H., Repetti, M. R., Demonte, L. D., Milesi, M. M., Varayoud, J., Muñoz-de-Toro, M. y Luque, E. H. (2019). *Op. Cit.*

⁷⁵⁴ Boege, E. (2008). *Op. cit.*

⁷⁵⁵ Barros, C., Bermúdez, S., Garrido, F., Leyva, J. P., Riestra, M., Vega, H. G. y López, G. M. (2015). El expediente ante la UNESCO. En CONACULTA (Ed.), *Pueblo de maíz. La cocina ancestral de México* (pp. 153-157). CONACULTA.

⁷⁵⁶ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2007). *Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996 - 2012*. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

⁷⁵⁷ Alvarez-Buylla, E. y Piñeyro, A. (2014). *El maíz en peligro ante los transgénicos*. Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.

⁷⁵⁸ Moreno-Calles, A. I., Toledo, V. M. y Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398.

⁷⁵⁹ Casas, A., Caballero, J., Mapes, C. y Zárata, S. (1997). Manejo de la vegetación, domesticación de plantas y origen de la agricultura en Mesoamérica. *Botanical Sciences*, 67(3), 47. <https://doi.org/10.17129/botsci.1537>





- ⁷⁶⁰ Conabio (2022). *La milpa*. Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa>
- ⁷⁶¹ Ruiz, J. A. C., Sánchez, J. de J. G., Hernández, J. M. C., Willcox, M. C., Ramírez, G. O., Ramírez, J. L. D. y González, D. R. E. (2013). *Op. cit.*
- ⁷⁶² Boege, E. (2009). *Op. Cit.*
- ⁷⁶³ Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H. y Sarukhán, J. (2018). Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *The Royal Society*, 285(1885), 20181049. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1049>
- ⁷⁶⁴ Llamas-Guzmán, L. P., Lazos, E. C., Perales, H. R. R. y Casas, A. (2022). Seed exchange networks of native maize, beans, and squash in San Juan Ixtenco and San Luis Huamantla, Tlaxcala, Mexico. *Sustainability*, 14(7), 3779. <https://doi.org/10.3390/su14073779>
- ⁷⁶⁵ Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H. y Sarukhán, J. (2018). *Op. Cit.*
- ⁷⁶⁶ Doebley, J. (2004). The genetics of maize evolution. *Annual Review of Genetics*, 38, 37-59. doi: 10.1146/annurev.genet.38.072902.092425
- ⁷⁶⁷ Conabio. (2011). *Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces y sus parientes silvestres en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
- ⁷⁶⁸ Perales, H., Brush, S. B. y Qualset, C. O. (2003). Landraces of Maize in Central Mexico: An Altitudinal Transect. *Economic Botany*, 57, 7-20.
- ⁷⁶⁹ Bellon, M. R., Dulloo, E., Thormann, I., Sardos, J. y Burdon, J. (2017). In situ conservation—harnessing natural and human-derived evolutionary forces to ensure future crop adaptation. *Evolutionary Applications*, 10(10), 965-977.
- ⁷⁷⁰ Hernández, X. (1993). Biological diversity of Mexico: origins and distribution. En T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. E. Fa (Eds.), *Aspects of plant domestication in Mexico: a personal view* (pp. 733-753). Oxford University Press.
- ⁷⁷¹ Muñoz, O. A. (2003). *Op. cit.*
- ⁷⁷² Sánchez, G. J. J. (2011). *Op. Cit.*
- ⁷⁷³ Bonfil, G. B. (1982). *El maíz. Fundamento de la cultura popular mexicana*. CONACULTA.
- ⁷⁷⁴ Hagman, E. A. y Gispert, M. C. (2018). El papel de las mujeres amatlecas en la conservación biocultural dinámica del maíz nativo en Amatlán de Quetzalcóatl, Tepoztlán, Mor. *Revue d'ethnoécologie*, 13, 1-19. <https://doi.org/10.4000/ethnoecologie.3423>
- ⁷⁷⁵ González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada, J. C. C., Chávez-Muñoz, J. A. y Tejero, L. J. (2016). Características y propiedades del maíz (Zea mays L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(3), 669-680.
- ⁷⁷⁶ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México. Una revisión indispensable. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3-A), 275-283.
- ⁷⁷⁷ Baker, L. E. (2008). Local food networks and maize agrobiodiversity conservation: two case studies from Mexico. *Local Environment*, 13(3), 235-251. <https://doi.org/10.1080/13549830701668973>
- ⁷⁷⁸ González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada, J. C. C., Chávez-Muñoz, J. A. y Tejero, L. J. (2016). *Op. Cit.*
- ⁷⁷⁹ Hagman, E. A. y Gispert, M. C. (2018). *Op. cit.*
- ⁷⁸⁰ González, A. y Reyes, L. (2014). El conocimiento agrícola tradicional, la milpa y la alimentación: el caso del Valle de Ixtlahuaca, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*, 52-53, 21-42.
- ⁷⁸¹ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁷⁸² Linares, E. y Bye R. (2006). El maíz, base de nuestra cultura. En N. Testón y J. Onofre (Eds.), *El maíz: nuestro rostro, nuestro corazón* (pp. 43-59). Fundación Herdez.
- ⁷⁸³ López, G. S. (2018). Revaloración del totopo (guetabiguii yaachi) desde el enfoque de la economía social. El caso de mujeres productoras en Juchitán, Oaxaca. [Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Dspace.
- ⁷⁸⁴ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁷⁸⁵ Barros, C. y Buenrostro, M. (1997). El maíz, nuestro sustento. *Arqueología Mexicana*, 5(25), 6-15.
- ⁷⁸⁶ Lazos, E. (2013). ¿Estamos listos en México para defender nuestros maíces? Agricultores y consumidores en la encrucijada. *Dimensión Antropológica*, 58, 90-114.
- ⁷⁸⁷ Velasco, A. M. (2016). Los cuerpos divinos. El amaranto: comida ritual y cotidiana. *Arqueología Mexicana*, 23(138), 26-33.
- ⁷⁸⁸ Olán, M. de la O., Jarquín, D. M. S., Vázquez, A. J. G., Varela, A. S., Sánchez, H. L., y Casillas, J. M. H. (2015). Costumbres, usos y alternativas de usos de la raza criolla de maíz palomero toluqueño: caso Estado de México. En C. Tepantlán, A. Ayala y G. Almaguer (Eds.), *Desarrollo y tecnología aportaciones a los problemas de la sociedad* (pp. 159-156). Plaza y Valdes Editores.
- ⁷⁸⁹ González, A. y Reyes, L. (2014). *Op. cit.*
- ⁷⁹⁰ Llamas-Guzmán, L. P., Lazos, E. C., Perales, H. R. R. y Casas, A. (2022). *Op. Cit.*
- ⁷⁹¹ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁷⁹² López, O. Y. G., Castillo, L. J. y Cano, M. P. (2018). El Pozol, una bebida ancestral mexicana como legado cultural inmaterial. *Hitos de Ciencias Económico Administrativas*, 24(68), 29-37.
- ⁷⁹³ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁷⁹⁴ Hernández-Domínguez, M. D. R., Rojo-Burgos, M., Ventura-Secundino, M. y Solórzano-Benítez, A. (2017). Estandarización de la producción de una bebida tradicional a base de maíz (Semde). *Revista de Sistemas Experimentales*, 1(10), 25-33.



- ⁷⁹⁵ Pliego, J. T. (2007). *Religión y economía en el consumo ritual de aguardiente entre oxchuqueros, chamulas y pedranos de Chiapas* (pp. 325-352). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Centro de Estudios Superiores de México y Centroamérica. <https://repositorio.cesmecha.mx/bitstream/handle/11595/800/ANUARIO%202006%202012.pdf?sequence=1>
- ⁷⁹⁶ Serratos, J. A. H. (2009). *Op. cit.*
- ⁷⁹⁷ Serratos, J. A. H. (2001). Evaluation of Novel Crop Varieties in their Center of Origin and Diversity: the Case of Maize in Mexico. Biotechnology Seminar paper. International Service for National Agricultural Research. <https://hdl.handle.net/10568/136491>
- ⁷⁹⁸ Serratos, J. A. H., M. C. Willcox y F. Castillo. (1997). Gene Flow Among Maize Landraces, Improved Maize Varieties, and Teosinte: Implications for Transgenic Maize. CIMMYT.
- ⁷⁹⁹ Serratos, J. A. H. (2001). *Op. cit.*
- ⁸⁰⁰ Serratos, J. A. H. (2001). *Ídem.*
- ⁸⁰¹ Serratos, J. A. H., M. C. Willcox y F. Castillo. (1997). *Op. cit.*
- ⁸⁰² Serratos, J. A. H. (2009). *Op. cit.*
- ⁸⁰³ Peralta, L. y Marielle, C. (2013). La protección oficial del maíz frente a los transgénicos: una simulación de estado. En E. R. Álvarez-Buylla y A. Piñeyro-Nelson (Coords), *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 187-230). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ⁸⁰⁴ Serratos, J. A. H. y Dolores-Fuentes, A. C. (2013). Bioseguridad y conservación del maíz nativo en México. En E. R. Álvarez-Buylla y A. Piñeyro-Nelson (Coords), *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 249-277). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ⁸⁰⁵ Cibiogem. (s/f). *Op. cit.* Registro...
- ⁸⁰⁶ Martínez-Soriano, J. P. R. y D. S. Leal-Klevezas (2000). Transgenic Maize in Mexico: No Need for Concern. *Science*. 287,1399-1399. doi:10.1126/science.287.5457.1399c
- ⁸⁰⁷ Nigh, R., C. Benbrook, S. Brush, L. Garcia-Barrios, R. Ortega-Paczka y H. R. Perales. (2000). Transgenic Crops: A Cautionary Tale. *Science*. 287, 1927-1927. doi:10.1126/science.287.5460.1927b
- ⁸⁰⁸ Quist, D. y Chapela, I. H. (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico, *Nature*, 414(6863), 541-543. <https://doi.org/10.1038/35107068>
- ⁸⁰⁹ Pelley, J. (2001). Engineered genes contaminate corn's birthplace. Environmental news. *Environmental Science & Technology*. 35(23), 472A-473A. doi: 10.1021/es012565g
- ⁸¹⁰ Kaplinsky, N., D. Braun, D. Lisch, A. Hay, S. Hake y M. Freeling. (2002). Maize transgene results in Mexico are artefacts. *Nature* 416, 601-602. <https://doi.org/10.1038/nature739>
- ⁸¹¹ Metz M. y J. Fütterer J. (2002). Biodiversity (Communications arising): suspect evidence of transgenic contamination. *Nature*. Apr 11;416(6881):600-1. doi: 10.1038/nature738.
- ⁸¹² Quist, D. y Chapela, I. H. (2002). Suspect evidence of transgenic contamination/Maize transgene results in Mexico are artefacts (see editorial footnote). *Nature* 416, 602. <https://doi.org/10.1038/nature740>
- ⁸¹³ Worthy K., R. C. Strohmman y P. R. Billings. (2002). Conflicts around a study of Mexican crops. *Nature*. Jun 27;417(6892):897. doi: 10.1038/417897b. PMID: 12087377.
- ⁸¹⁴ Suarez A. V., M. Bernard, N. D. Tsutsui, T. A. Blackledge, K. Copren, E. M. Sarnat, A. L. Wild, W. M. Getz, P. T. Starks, K. Will, P. J. Palsbøll, M. E. Hauber, C. Moritz, A. D. Richman. (2002). Conflicts around a study of Mexican crops. *Nature*. Jun 27;417(6892):897; author reply 897-8. doi: 10.1038/417897a
- ⁸¹⁵ Hötzel, M. J. (2002). Industry scientists look for benefits, not risks. *Nature*. 2002 Sep 12;419(6903):111. doi: 10.1038/419111b. PMID: 12226636.
- ⁸¹⁶ Quist, D. y Chapela, I. H. (2001). *Op. cit.*
- ⁸¹⁷ Ezcurra, E. y Soberón-Mainero, J. (2002). Evidence of Gene Flow from Transgenic Maize to Local Varieties in Mexico. En OECD. *LMOS and the Environment. Proceedings of an International Conference*. 27-30 November 2001. (289-296). Organization for Economic Cooperation and Development.
- ⁸¹⁸ Álvarez Morales, A. (2002). Transgenes in maize landraces in Oaxaca: Official report on the extent and implications. The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms: Meeting Proceedings of the International Society for Biosafety Research. Beijing, China, 10-16 october 2002. (p. 65).
- ⁸¹⁹ Foyer, J. y Bonneuil, C. (2015). La bioseguridad mexicana: una "actuación de seriedad". *Revista mexicana de sociología*, 77(1), 37-68. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032015000100002&lng=es&tIng=es
- ⁸²⁰ Martínez-Soriano, J. P., A. M. Bailey, J. Lara-Reyna y D. S. Leal-Klevezas. (2002). Transgenes in Mexican maize. *Nat Biotechnol*. Jan,20(1):19. doi: 10.1038/nbt0102-19a. PMID: 11753352.
- ⁸²¹ Martínez-Soriano J., A. M. Bailey, J. Lara-Reyna y D. S. Leal-Klevezas. (2002). Transgenes in native Mexican maize-still no need for concern. *Environ Sci Technol*. Jan 1;36(1):8A. doi: 10.1021/es0221614.
- ⁸²² CECCAM. (2006) Maíz Transgénico. Sembrando Viento. Núm. 5. Centro de Estudios para el Cambio del Campo en México. https://www.ceccam.org/sites/default/files/Cartel%206_0.jpg



- ⁸²³ de Ita, A. (2012). La defensa internacional del maíz contra la contaminación transgénica en su centro de origen. *El Cotidiano*, núm. 173, mayo-junio, 2012, pp. 57-65. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32523131007>
- ⁸²⁴ Bonneuil, C., Foyer, J., Wynne, B. (2014). Genetic fallout in bio-cultural landscapes: Molecular imperialism and the cultural politics of (not) seeing transgenes in Mexico. *Social Studies of Science*. 44(6): 901-929
- ⁸²⁵ ETC. (2003). Carta abierta de organizaciones de la sociedad civil sobre la contaminación transgénica en los centros de origen. Action Group on Erosion, Technology and Concentration. 14 de octubre de 2003. <https://www.etcgroup.org/es/node/140>
- ⁸²⁶ CECCAM. (2012). México: una década de resistencia social contra el maíz transgénico. Centro de Estudios para el Cambio del Campo en México y Fundación GEKKO. 24 pp. <https://ceccam.org/sites/default/files/Deicada%20resistbaja.pdf>
- ⁸²⁷ Bonneuil, C., Foyer, J., Wynne, B. (2014). *Op. cit.*
- ⁸²⁸ CCA. (2004). *Op. Cit.*
- ⁸²⁹ CCA. (2004). *Ídem.*
- ⁸³⁰ Álvarez-Buylla, E. (2004). *Op. Cit. Aspectos Ecológicos...*
- ⁸³¹ Serratos-Hernández, J. A. H., Islas-Cutiérrez F., Buendía-Rodríguez E., Berthaud J. (2004). Gene flow scenarios with transgenic maize in Mexico. *Environ Biosafety Res.* Jul-Sep;3(3):149-57. doi: 10.1051/ebr:2004013
- ⁸³² Bellon, M. R. y Berthaud, J. (2004). Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico. The importance of farmers' behavior. *Plant Physiol.* 134(3):883-8. doi: 10.1104/pp.103.038331
- ⁸³³ Ortiz García, S., Ezcurra, E., Schoel, B., Acevedo, F., Soberón, J., y Snow, A. A. (2005). Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, México (2003-2004). *Proceedings of The Natural Academy of Science* 102 (35): 12338-12343
- ⁸³⁴ Marris E. (2005). Four years on, no transgenes found in Mexican maize. *Nature*. 11; 436(7052): 760. doi: 10.1038/436760a
- ⁸³⁵ Kaiser, J. (2005). Calming Fears, No Foreign Genes Found in Mexico's Maize. *Science* 309,1000-1000 DOI:10.1126/science.309.5737.1000
- ⁸³⁶ Cleveland D. A., Soleri, D., Cuevas, F. A., Crossa, J., Gepts, P. (2005). Detecting (trans)gene flow to landraces in centers of crop origin: lessons from the case of maize in Mexico. *Environ Biosafety Res.* 4(4):197-208; discussion 209-15. doi: 10.1051/ebr:2006006
- ⁸³⁷ Piñeyro-Nelson, A., Van Heerwaarden, J., Perales, H. R., Serratos-Hernández, J. A., Rangel, A., Hufford, M. B., Gepts, P., Garay-Arroyo, A., Rivera-Bustamante, R. y Alvarez-Buylla, E. R. (2009a). Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology*, 18(4), 750-761. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2008.03993.x>
- ⁸³⁸ Piñeyro-Nelson, A., Van Heerwaarden, J., Perales, H. R., Serratos-Hernández, J. A., Rangel, A., Hufford, M. B., Gepts, P., Garay-Arroyo, A., Rivera-Bustamante, R. y Alvarez-Buylla, E. R. (2009b). Resolution of the Mexican transgene detection controversy: error sources and scientific practice in commercial and ecological contexts. Reply. *Molecular Ecology*. 18: 4145-4150.
- ⁸³⁹ Cibiogem. (s.f.). *Op. Cit. Registro.*
- ⁸⁴⁰ Cibiogem. (s.f.). *Ídem. Registro...*
- ⁸⁴¹ Castro-Valle, I., Sánchez-Peña, P., Corrales-Madrid, J. L., Garzón-Tiznado, J. A., Velarde-Félix, S., Hernández-Verdugo, S., Inzunza-Castro, J. F., Sánchez-Peña, J. (2006). Identificación de transgenes en poblaciones de maíces (*Zea mays* L.) criollos del estado de Sinaloa. *Memorias del Primer Congreso Mexicano de Ecología*. Contribuciones presentadas en la modalidad cartel. Pág. 28.
- ⁸⁴² Landavazo-Gamboa, D. A., Calvillo-Alba, K. G., Espinosa-Huerta, E., González-Morelos, L., Aragón-Cuevas, F., Torres-Pacheco, I., Guzmán-Maldonado, S. H., Montero-Tavera, V., y Mora-Avilés, M. A. (2006). Caracterización molecular y biológica de genes recombinantes en maíz criollo de Oaxaca. *Agric. Téc. Méx.* 32(3).
- ⁸⁴³ Madrid-Ayala, R. (2006). *Detección de secuencias transgénicas en maíz y productos derivados no industrializados por la técnica de PCR. Tesis de licenciatura.* Facultad de química. UNAM. 121 pp.
- ⁸⁴⁴ Serratos, J. A. H., Gómez-Olivares, J. L., Salinas, N., Buendía, E., Islas, F. y de Ita, A. (2007). Transgenic proteins in maize in the Soil Conservation area of Federal District, Mexico. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(5): 247-252
- ⁸⁴⁵ Piñeyro-Nelson, A., Van Heerwaarden, J., Perales, H. R., Serratos-Hernández, J. A., Rangel, A., Hufford, M. B., Gepts, P., Garay-Arroyo, A., Rivera-Bustamante, R. y Alvarez-Buylla, E. R. (2009a). *Op. cit.*
- ⁸⁴⁶ Snow, Allison (2009). Unwanted transgenes rediscovered in Oaxacan maize. *Molecular Ecology*. 18 (4): 569-571
- ⁸⁴⁷ Piñeyro-Nelson, A., Van Heerwaarden, J., Perales, H. R., Serratos-Hernández, J. A., Rangel, A., Hufford, M. B., Gepts, P., Garay-Arroyo, A., Rivera-Bustamante, R. y Alvarez-Buylla, E. R. (2009b). *Op. cit.*
- ⁸⁴⁸ Rivera-López, F. (2009). *Análisis de la presencia de proteínas genéticamente modificados en variedades de maíz nativo en México.* Reporte de trabajo profesional. Facultad de ciencias. UNAM. 27 págs.
- ⁸⁴⁹ Rojas-Cruz, A. (2010) *Posible presencia de maíz transgénico en Veracruz, México: marco regulatorio y conocimiento de productores y consumidores.* Tesis de doctorado. Colegio de posgraduados. 177 págs.
- ⁸⁵⁰ San Vicente-Tello, A. y Morales-Hernández, J. (2015). *La demanda colectiva contra la siembra de maíz transgénico: ciudadanía y soberanía alimentaria* (pp. 171-184). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/3053/La%20demanda%20colectiva%20contra%20la%20siembra%20de%20ma%C3%ADz%20transg%C3%A9nico.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ⁸⁵¹ Agapito-Tenfen, S., Lopez, F. R., Mallah, N., Abou-Slemayne, G., Trtikova, M., Nodari, R.O., Wickson, F. (2017). Transgene flow in Mexican maize revisited: Socio-biological analysis across two contrasting farmer communities and seed management systems. *Ecol Evol.* 7(22):9461-9472. doi: 10.1002/ece3.3415.
- ⁸⁵² Monterrubio-Vázquez, E. (2017). *El patrimonio biocultural y alimentario de México en riesgo: detección e identificación de secuencias transgénicas en variedades de maíz mexicano y alimentos derivados*. Tesis de licenciatura. Facultad de química. UNAM. 158 pp.
- ⁸⁵³ González-Ortega, E., Piñeyro-Nelson, A., Gómez-Hernández, E., Monterrubio-Vázquez, E., Arleo, M., Dávila-Velderrain, J. y Álvarez-Buylla, E. R. (2017). *Op. cit.*
- ⁸⁵⁴ Gómez-Hernández, E. A. (2017). *Secuencias transgénicas en alimentos elaborados con maíz : México, un caso de estudio*. Tesis de licenciatura. Facultad de Química. UNAM. 206 pp.
- ⁸⁵⁵ INECC. (2018). Monitoreo de la presencia de secuencias transgénicas en cultivos de maíz en sitios prioritarios de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435261/INFORME_FINAL_OGM.pdf
- ⁸⁵⁶ Semarnat-Sagarpa. (2012). Acuerdo por el que se determinan Centros de Origen y Centros de Diversidad Genética del Maíz. Diario oficial de la federación. 2 de noviembre de 2012. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5276453&fecha=02/11/2012#gsc.tab=0
- ⁸⁵⁷ Celso-Vallejo, A. (2019). Línea base de infiltración de transgenes en maíces nativos de Coahuila. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo. 68 pp.
- ⁸⁵⁸ Siller-García, J. N., Cruz-González, M. A., Castillo-Reyes, F., Rodríguez-Herrera, S. A., Morlett-Chávez, J. A., Aguilar, C. N. y Rodríguez-Herrera, R. (2023). Introgression of transgenic events and accompanying sequences into Mexican maize varieties. *Ecosist. Recur. Agropec.* 10(2):e3538. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3538>
- ⁸⁵⁹ Vázquez-Cardona, H. (2023). *Diseño de un esquema de bioseguridad comunitaria ante la presencia de maíz transgénico: estudio de caso en San Agustín Montelobos, Oaxaca*. Tesis de maestría. Facultad de ciencias. UNAM. 177 pp.
- ⁸⁶⁰ Conahcyt. (2024). México avanza en la senda correcta para combatir contaminación transgénica del maíz. Comunicado del 26 de septiembre de 2024. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. <https://conahcyt.mx/mexico-avanza-en-la-senda-correcta-para-combatir-contaminacion-transgenica-del-maiz/>
- ⁸⁶¹ Fenzi, M., Foyer, J., Boisvert, V. y Perales, H. (2023). Recalcitrant maize: Conserving agrobiodiversity in the era of genetically modified organisms. *Plants, People, Planet.* <https://doi.org/10.1002/ppp3.10426>
- ⁸⁶² INECC. (2024). *Evaluación de la presencia de secuencias genéticamente modificadas en el maíz nativo de México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. 63 pp. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/942408/020_2024_Evaluacion_de_la_presencia_de_secuencias_geneticamente_modificadas_en_el_maiz_nativo_de_Mexico.pdf
- ⁸⁶³ Serratos, J. A. H. (2009). *Op. Cit.*
- ⁸⁶⁴ González Merino, A. y Massieu, Y. (2009). La bioseguridad y el maíz en México. ¿En pro de los transgénicos o en pro de la cultura y la diversidad del maíz? *Sociedades rurales, producción y medio ambiente* IX (17): 14-51. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/article/view/133>
- ⁸⁶⁵ Serratos, J. A. H. y Dolores-Fuentes, A. C. (2013). *Op. cit.*
- ⁸⁶⁶ González-Merino, A. y Castañeda-Zavala, Y. (2019). Bioseguridad en biotecnología agrícola en México. La política del Estado y el papel de las organizaciones sociales. *Sociológica* (México), 34(97), 183-213. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-01732019000200183&lng=es&tlng=es
- ⁸⁶⁷ Peralta, L. y Marielle, C. (2013). *Op. cit.*
- ⁸⁶⁸ Bonneuil, C., Foyer, J., Wynne, B. (2014). *Op. cit.*
- ⁸⁶⁹ Foyer, J. y Bonneuil, C. (2015). *Op. cit.*
- ⁸⁷⁰ Fenzi, M., Foyer, J., Boisvert, V. y Perales, H. (2023). *Op. cit.*
- ⁸⁷¹ Alavez, V., Wegier, A. y A. Piñeyro-Nelson. (2013). Flujo génico. En E. R. Álvarez-Buylla y A. Piñeyro-Nelson (Coords), *El maíz en peligro ante los transgénicos. Un Análisis Integral Sobre el Caso de México* (pp. 249-277). Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad.
- ⁸⁷² Burgeff, C., Huerta, E., Acevedo, F. y Sarukhán, J. (2014). How Much Can GMO and Non-GMO Cultivars Coexist in a Megadiverse Country? *AgBioForum*, 17(1): 90-101
- ⁸⁷³ Soleri, D., Cleveland, D. A., Aragón-Cuevas, F. (2006). Transgenic Crops and Crop Varietal Diversity: The Case of Maize in Mexico. *BioScience*, 56(6):503-513 [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2006\)56\[503:TCACVD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2006)56[503:TCACVD]2.0.CO;2)
- ⁸⁷⁴ Dyer, G. y Taylor, J. E. (2008). A crop population perspective on maize seed systems in Mexico. *PNAS*. 105(2). <https://doi.org/10.1073/pnas.0706321105>
- ⁸⁷⁵ Mercer, K. L. y Wainwright, D. L. (2008). Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: An analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 123 (1-3): 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.05.007>
- ⁸⁷⁶ Carreón-Herrera, N. I., López-Sánchez, H., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Gutiérrez-Espinosa, M. A. y Valadez-Moctezuma, E. (2011). Flujo génico entre maíces comercializados por DICONSA y poblaciones nativas en la mixteca poblana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(6): 939-953.



- ⁸⁷⁷ van Heerwaarden, J., Ortega Del Vecchyo, D., Alvarez-Buylla, E. y Bellon, M. R. (2012). New genes in traditional seed systems: diffusion, detectability and persistence of transgenes in a maize metapopulation. *PLoS One*, 7(10): doi: 10.1371/journal.pone.0046123
- ⁸⁷⁸ Barrera-Bassols, N., Astier, M., Orozco, Q. y Boege, E. (2009). Saberes locales y defensa de la agrobiodiversidad: Maíces nativos vs. maíces transgénicos en México. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 107, 77-91.
- ⁸⁷⁹ Lönnqvist, L., Mier y Terán, M., Tzec, N. y Bravo Y. (2018). *Morral de experiencias para la seguridad y soberanía alimentarias. Aprendizajes de organizaciones civiles en el sureste mexicano*. El Colegio de la Frontera Sur.
- ⁸⁸⁰ Appendini, K. (2014). Reconstructing the maize market in rural Mexico. *Revista de Cambio Agrario*, 14, 1-25. <https://doi.org/10.1111/joac.12013>
- ⁸⁸¹ De la Torre de Lara, O. A. (2019). *Maíz, autonomía y territorio. Dimensión constituyente de derechos humanos en México*. Akal.
- ⁸⁸² Fariás, D. (2016). *El caso del maíz como patrimonio biocultural en México*. En Facultad de Derecho (Ed.), *Cultura Jurídica núm. 3, julio - septiembre 2011* (pp. 253-262). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Derecho. <http://ru.juridicas.unam.mx/xmlui/handle/123456789/12943>
- ⁸⁸³ Colín, S. M. (2000). *Op. Cit.*
- ⁸⁸⁴ Brandt, M. (2014). Zapatista corn: a case study in biocultural innovation. *Social Studies of Science*, 44(6), 874-900. doi: 10.1177/0306312714540060. PMID: 25608442.
- ⁸⁸⁵ Rivera, F. L., Wickson, F. y Hausner, V. H. (2020). Bridging different perspectives for biocultural conservation: art-based participatory research on native maize conservation in two indigenous farming communities in Oaxaca, Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, 22, 7427-7451. <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00530-1>
- ⁸⁸⁶ García, G. (2015). El maíz transgénico, la soberanía alimentaria y los derechos humanos en México. *Revista Electrónica de Investigación Aplicada en Derechos Humanos*, (9), 55-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=676172948004>
- ⁸⁸⁷ Lönnqvist, L., Mier y Terán, M., Tzec, N. y Bravo Y. (2018). *Op. cit.*
- ⁸⁸⁸ Becerril, J. y Abdulai, A. (2010). The impact of improved maize varieties on poverty in Mexico: a propensity score-matching approach. *Desarrollo mundial*, 38(7), 1024-1035. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2009.11.017>
- ⁸⁸⁹ Brandt, M. (2014). *Op. cit.*
- ⁸⁹⁰ Nadal, A. y Wise, T. A. (2004). Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA. En H Blanco, L. Togeiro y K. Gallagher (Eds.), *Globalización y medio ambiente: Lecciones desde las Américas* (pp. 49-92). RIDES-GDAE.
- ⁸⁹¹ Figueroa, C. J. de D., Narváez, D. E. G., Mauricio, A. S., Taba, S., Gaytán, M. M., Vélez, M. J. J., Rincón, F. S. y Aragón, F. C. (2013). Propiedades físicas del grano y calidad de los grupos raciales de maíces nativos (criollos) de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(3-a), 305-314.
- ⁸⁹² Tuxill, J., Reyes, L. A., Moreno, L. L., Uicab, V. C. y Jarvis, D. I. (2010). No todo el maíz es igual: opciones de variedad de maíz y hábitos alimentarios mayas en las zonas rurales de Yucatán, México. En J. Staller y M. Carrasco (Eds.), *Pre-Columbian Foodways* (pp. 467-486). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0471-3_19
- ⁸⁹³ Hagman, E. A. y Gispert, M. C. (2018). *Op. cit.*
- ⁸⁹⁴ *Atlas de las Plantas de la Medicina Tradicional Mexicana*. (2009). Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. <http://www.medicinatradicionalmexicana.unam.mx/apmtm/termino.php?l=3&t=maiz>
- ⁸⁹⁵ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁸⁹⁶ García, A. B. (2011). Análisis iconográfico preliminar de fragmentos de las vasijas estilo códice procedentes de Calakmul. *Estudios de Cultura Maya*, 37, 65-97.
- ⁸⁹⁷ Fischer, E. F. (2001). *Cultural logics and global economies: Maya identity in thought and practice*. University of Texas Press.
- ⁸⁹⁸ Mariani, F. y Rebrey, M. V. P. (2015). Agricultura, religiosidad y tiempo: su articulación en la cosmovisión maya. *Revista Historia y Sociedad*, 29, 153-170. <http://dx.doi.org/10.15446/hys.n29.50578>
- ⁸⁹⁹ Cruz, H. E. y Verdelet, G. I. (2007). *Op. Cit.*
- ⁹⁰⁰ Huai, H. y Hamilton, A. (2009). Characteristics and functions of traditional homegardens: a review. *Frontiers of Biology in China*, 4(2), 151-157. doi: 10.1007/s11515-008-0103-1
- ⁹⁰¹ Pillado-Albarrán, K., Albino-Garduño, R., Santiago-Mejía, H. y Pedraza-Mandujano, J. (2022). Elementos bioculturales, base para la adaptación del sistema MIAF en la zona mazahua del Estado de México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(60), 1-33.
- ⁹⁰² Rivero, A., Gerritsen P. y Moreno-Calles, A. (2019). La milpa agroforestal de la comunidad Transfiguración, Estado de México. En Red Temática de Sistemas Agroforestales de México y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Eds.), *Experiencias de Agroforestería en México* (p. 83). Red Temática de Sistemas Agroforestales de México.
- ⁹⁰³ Moreno-Calles, A. I., Casas, A., Rivero-Romero, A. D., Romero-Bautista, Y. A., Rangel-Landa, S., Fisher-Ortiz, R. A., Alvarado-Ramos, F., Vallejo-Ramos, M. y Santos-Fita, D. (2016). Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 12, 54. <https://doi.org/10.1186/s13002-016-0127-6>
- ⁹⁰⁴ Kuhlein, H. V. (2014) How ethnobiology can contribute to food security. *Journal of Ethnobiology*, 34, 12-27. <https://doi.org/10.2993/0278-0771-34.1.12>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ⁹⁰⁵ Messer, E. (2006). Globalización y dieta: significados, cultura y consecuencias en la nutrición. En Fundación Mexicana para la Salud (Ed), *Antropología y Nutrición* (pp. 27-74). Universidad Autónoma Metropolitana-X.
- ⁹⁰⁶ Fernández, R., Morales, L. A. y Gálvez, A. (2013). *Op. Cit.*
- ⁹⁰⁷ Bonfil, G. B. (1982). *Op. Cit.*
- ⁹⁰⁸ Ureta, C., González, E., Piñeyro-Nelson, A., Couturier, S., González-Ortega, E. Álvarez-Buylla, E. (2023). A data mining approach gives insights of causes related to the ongoing transgene presence in Mexican native maize populations. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(2), 188-211. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2146252>
- ⁹⁰⁹ Catacora-Vargas, G. (2013). *Consideraciones socio-económicas en los procesos de toma de decisiones sobre organismos genéticamente modificados*. (Informe de Bioseguridad). Third World Network.
- ⁹¹⁰ Torroba, R. (2013). Propiedad intelectual y biotecnología: algunos problemas vinculados a los derechos humanos. *Revista Perspectivas de las Ciencias Económicas y Jurídicas*, 3(2), 175-189.
- ⁹¹¹ Hernández, H. U. B., Aguilar, H. T., Cruz, G. S., Velasco, L. R. y Martínez, A. Z. (2019). Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. *Revista de Salud Ambiental*, 19, 23-31.
- ⁹¹² Peralta-Rivero, C. (2020). Impactos y tendencias del modelo agroindustrial en las tierras bajas de Bolivia. *Mundos Rurales*, 15, 15-24.
- ⁹¹³ Hernández, H. U. B., Mariaca, R. M., Nazar, A. B., Solís, J. D., Torres, A. D. y Herrera, C. P. (2016). Factores socioeconómicos y tecnológicos en el uso de agroquímicos en tres sistemas agrícolas en los altos de Chiapas, México. *Interciencia*, 41(6), 382-392.
- ⁹¹⁴ Mascorro-de Loera, R. D., Ferguson, B. G., Perales-Rivera, H. R. y Charbonnier, F. (2019). Herbicidas en la milpa: Estrategias de aplicación y su impacto sobre el consumo de arvenses. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(18), 477-486. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2076>
- ⁹¹⁵ Mascorro-de Loera, R. D., Ferguson, B. G., Perales-Rivera, H. R. y Charbonnier, F. (2019). *Ídem*.
- ⁹¹⁶ Mera, O. L. M., Bye, R. B., Villanueva, C. V., Castro, D. L. y Basurto, F. P. (2013). El cultivo de la verdolaga (*Portulaca oleracea* L.) ejemplo en la promoción, producción y el comercio de alimentos sanos y de calidad. En L. M. Mera, D. Castro y R. A. Bye (Eds.), *Especies vegetales, poco valoradas: una alternativa para la seguridad alimentaria* (140-155). Universidad Nacional Autónoma de México.
- ⁹¹⁷ Bourges, H., Morales, J. C. y Vázquez, N. M. (2013). El valor nutritivo de los Quelites. ¿Un alimento de segunda? *Cuadernos de Nutrición*, 36, 17-25.
- ⁹¹⁸ Bravo, V. E. (2014). *Op. Cit.*
- ⁹¹⁹ Altieri, M. A. (2009). The ecological impacts of large-scale agrofuel monoculture production systems in the Americas. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 29(3), 236-244. <http://dx.doi.org/10.1177/0270467609333728>
- ⁹²⁰ Benbrook, C. M. (2016). *Op. Cit.*
- ⁹²¹ Woodburn, A. T. (2000). *Op. Cit.*
- ⁹²² Okada, E., Allinson, M., Barral, M. P., Clarke, B. y Allinson, G. (2020). Glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) are commonly found in urban streams and wetlands of Melbourne, Australia. *Water Research*, 168, 115139. doi: 10.1016/j.watres.2019.115139
- ⁹²³ Jackson, R. E. y Pitre, H. N. (2004). Influence of Roundup Ready soybean production systems and glyphosate application on pest and beneficial insects in narrow-row soybean. *Journal of Entomological Science*, 39, 62-70. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-39.1.62>
- ⁹²⁴ Richmond, M. E. (2018). Glyphosate: A review of its global use, environmental impact, and potential health effects on humans and other species. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 8(4), 416-434. <https://doi.org/10.1007/s13412-018-0517-2>
- ⁹²⁵ Badani, H., Djadouni, F. y Haddad, F. Z. (2023). Effects of the Herbicide Glyphosate [N- (Phosphonomethyl) Glycine] on Biodiversity and Organisms in the soil - A Review. *European Journal of Environmental Sciences*, 13, 5-14. <https://doi.org/10.14712/23361964.2023.1>
- ⁹²⁶ Nguyen, B. D. (2018). Impacts of glyphosate and its formulation on soil microbial function. [Tesis de doctorado, Universidad Southern Cross].
- ⁹²⁷ Vázquez, M. B., Moreno, M. V., Amodeo, M. R. y Bianchinotti, M. V. (2021). Effects of glyphosate on soil fungal communities: A field study. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(4), 349-358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.10.005>
- ⁹²⁸ Lalević, B., Hamidović, S., Gavrić, T., Sunulahpasić, A., Borovac, B., Halilović, M., Jusić, I., Kazlagić, A. y Delić, M. (2020). Survival of Soil Microbial Population After Glyphosate Application. En M. Brka, E. Omanović-Miklićanin, L. Karić, V. Falan y A. Toroman, (Eds.), *30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry* (pp. 36-43). Springer.
- ⁹²⁹ Newman, M. M., Hoilet, N., Lorenz, N., Dick, R. P., Liles, M. R., Ramsier, C. y Kloepper, J. W. (2016). Glyphosate effects on soil rhizosphere-associated bacterial communities. *The Science of the Total Environment*, 543(Pt A), 155-160. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.008>
- ⁹³⁰ Zhang, Y. H., Huang, W., Hu, H. y Liu, Y. R. (2012). Remaining dynamics of CryIAb proteins from transgenic Bt corn in soils. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 26(4), 486-490.
- ⁹³¹ Velasco, A. G., Kowalchuk, G. A., Mañero, F. J. G., Ramos, B., Yergeau, E. y García, J. A. L. (2013). Increased microbial activity and nitrogen mineralization coupled to changes in microbial community structure in the rhizosphere of Bt corn. *Applied Soil Ecology*, 68, 46-56. doi: 10.1016/j.apsoil.2013.03.010



- ⁹³² Höss, S., Arndt, M., Baumgarte, S., Tebbe, C. C., Nguyen, H. T. y Jehle, J. A. (2008). Effects of transgenic corn and Cry1Ab protein on the nematode, *Caenorhabditis elegans*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70(2), 334-340. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.10.017>
- ⁹³³ Shu, Y., Zhang, Y., Zeng, H., Zhang, Y. y Wang, J. (2017). Effects of Cry1Ab Bt maize straw return on bacterial community of earthworm *Eisenia fetida*. *Chemosphere*, 173, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.023>
- ⁹³⁴ Song, Y., Liu, R., Wang, M., Liu, M., Liu, X. y Chen, F. (2020). Effects of transgenic Bt rice lines with single Cry1Ab and fused Cry1Ab / Cry1Ac on the abundance dynamics and community diversity of soil mites. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66(5):586-599. doi: 10.1080/03650340.2019.1628345
- ⁹³⁵ Höss, S., Menzel, R., Gessler, F., Nguyen, H. T., Jehle, J. A. & Traunspurger, W. (2013). Effects of insecticidal crystal proteins (Cry proteins) produced by genetically modified maize (Bt maize) on the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Environmental Pollution*, 178, 147-151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.002>
- ⁹³⁶ Manachini, B., Landi, S., Fiore, M.C., Festa, M. y Arpaia, S. (2004). First investigations on the effects of Bt-transgenic *Brassica napus* L. on the trophic structure of the nematofauna. *IOBC/WPRS Bulletin*, 27, 103-108.
- ⁹³⁷ Griffiths, B. S., Caul, S., Thompson, J., Birch, A. N. E., Scrimgeour, C., Andersen, M. N., Cortet, J., Messean, A., Sausse, C., Lacroix, B. y Krogh, P. H. (2005). A comparison of soil microbial community structure, protozoa, and nematodes in field plots of conventional and genetically modified maize expressing the *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin. *Plant and Soil*, 275, 135-146.
- ⁹³⁸ Icoz, I., & Stotzky, G. (2008). Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(3), 559-586. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.11.002>
- ⁹³⁹ Velasco, A. G., Kowalchuk, G. A., Ma, F. J. G., Ramos, B., Yergeau, E., García, J. A. L. (2013). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁰ Castaldini, M., Turrini, A., Sbrana, C., Benedetti, A., Marchionni, M., Mocali, S. y Giovannetti, M. (2005). Impact of Bt corn on rhizospheric and soil eubacterial communities and on beneficial mycorrhizal symbiosis in experimental microcosms. *Applied and environmental microbiology*, 71(11), 6719-6729. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.11.6719-6729.2005>
- ⁹⁴¹ Ducca, D., Paula, A., Melloni, E. G. P., Melloni, R. y Martins, F. B. (2015). Crescimento de milho transgênico (Bt) e não transgênico inoculados com fungos micorrízicos arbusculares em solo contaminado por cádmio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39, 1275-1281.
- ⁹⁴² Barrett, K. A. y McBride, M. B. (2005). Oxidative degradation of glyphosate and aminomethylphosphonate by manganese oxide. *Environmental Science & Technology*, 39(23), 9223-9228. <https://doi.org/10.1021/es051342d>
- ⁹⁴³ Langrand, J., Blanc-Brisset, I., Boucaud-Maitre, D., Puskarczyk, E., Nisse, P., Garnier, R. y Pulce, C. (2019). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁴ Amerio, P., Motta, A., Toto, P., Pour, S. M., Pajand, R., Feliciani, C. y Tulli, A. (2004). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁵ Acquavella, J. F., Weber, J. A., Cullen, M. R., Cruz, O. A., Martens, M. A., Holden, L. R., y Farmer, D. (1999). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁶ Rank, J., Jensen, A. G., Skov, B., Pedersen, L. H. y Jensen, K. (1993). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁷ Maggi, F., la Cecilia, D., Tang, F. H. M. y McBratney, A. (2020). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁸ Mañas, F., Peralta, L., Raviolo, J., García Ovando, H., Weyers, A., Ugnia, L., Gonzalez Cid, M., Larripa I. y Gorla, N. (2009). *Op. Cit.*
- ⁹⁴⁹ Bai, S. H. y Ogbourne, S. M. (2016). *Op. Cit.*
- ⁹⁵⁰ Bento, C. P. M., van der Hoeven, S., Yang, X., Riksen, M., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J. y Geissen, V. (2019). Dynamics of glyphosate and AMPA in the soil surface layer of glyphosate-resistant crop cultivations in the loess Pampas of Argentina. *Environmental Pollution*, 244, 323-331. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.046>
- ⁹⁵¹ Chang, F., Simcik, M. F. y Capel, P. D. (2011). *Op. Cit.*
- ⁹⁵² Artigas, J., Batisson, I., y Carles, L. (2020). Dissolved organic matter does not promote glyphosate degradation in auto-heterotrophic aquatic microbial communities. *Environmental Pollution*, 259, 113951. doi: 10.1016/j.envpol.2020.113951
- ⁹⁵³ Scribner, E. A., Battaglin, W. A., Gilliom, R. J. y Meyer, M. T. (2007). *Op. Cit.*
- ⁹⁵⁴ Peruzzo, P. J., Porta, A. A. y Ronco, A. E. (2008). *Op. Cit.*
- ⁹⁵⁵ Alonso, L. L., Demetrio, P. M., Agustina Etchegoyen, M. y Marino, D. J. (2018). *Op. Cit.*
- ⁹⁵⁶ Mac Loughlin, T. M., Peluso, L. y Marino, D. J. G. (2017). *Op. Cit.*
- ⁹⁵⁷ Kjaer, J., Olsen, P., Ullum, M. y Grant, R. (2005). Leaching of glyphosate and amino-methylphosphonic acid from Danish agricultural field sites. *Journal of Environmental Quality*, 34(2), 608-620. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0608>
- ⁹⁵⁸ Cattani, D., Cesconetto, P. A., Tavares, M. K., Parisotto, E. B., Oliveira, P. A., Rieg, C. E. H., Leite, M. C., Prediger, R. D. S., Wendt, N. C., Razzera, G., Filho, D. W. y Zamoner, A. (2017). Developmental exposure to glyphosate-based herbicide and depressive-like behavior in adult offspring: implication of glutamate excitotoxicity and oxidative stress. *Toxicology*, 387, 67-80. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2017.06.001>
- ⁹⁵⁹ Kjaer, J., Olsen, P., Ullum, M. y Grant, R. (2005). *Op. cit.*
- ⁹⁶⁰ Kolpin, D. W., Thurman, E. M., Lee, E. A., Meyer, M. T., Furlong, E. T. y Glassmeyer, S. T. (2006). Urban contributions of glyphosate and its degradate AMPA to streams in the United States. *The Science of the Total Environment*, 354(2-3), 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.028>
- ⁹⁶¹ Sanchís, J., Kantiani, L., Llorca, M., Rubio, F., Ginebreda, A., Fraile, J., Garrido, T. y Farré, M. (2012). Determination of glyphosate in groundwater samples using an ultrasensitive immunoassay and confirmation by on-line solid-phase extraction followed by liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 402(7), 2335-2345. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5541-y>



- ⁹⁶² Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J. y Geissen, V. (2017). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of The Total Environment*, 621, 1352-1359.
- ⁹⁶³ Okada, E., Allinson, M., Barral, M. P., Clarke, B. y Allinson, G. (2020). *Op. Cit.*
- ⁹⁶⁴ Maggi, F., la Cecilia, D., Tang, F. H. M. y McBratney, A. (2020). *Op. Cit.*
- ⁹⁶⁵ Bento, C. P. M., Goossens, D., Rezaei, M., Riksen, M., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J. y Geissen, V. (2017). Glyphosate and AMPA distribution in wind-eroded sediment derived from loess soil. *Environmental Pollution*, 220(Pt B), 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.11.033>
- ⁹⁶⁶ Farenhorst, A., Andronak, L. A. y McQueen, R. D. A. (2015). Bulk deposition of pesticides in a Canadian City: part 1. Glyphosate and other agricultural pesticides. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(47). <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2343-4>
- ⁹⁶⁷ Lamprea, K. y Ruban, V. (2011). Characterization of atmospheric deposition and run off water in a small suburban catchment. *Environmental Technology*, 32(9-10), 1141-1149. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.528045>
- ⁹⁶⁸ Quaghebeur, D., De Smet, B., De Wulf, E. y Steurbaut, W. (2004). Pesticides in rainwater in Flanders, Belgium: results from the monitoring program 1997-2001. *Jornal of Environmental Monitoring*, 6(3), 182-190. doi: 10.1039/b312558k
- ⁹⁶⁹ Bento, C. P. M., Goossens, D., Rezaei, M., Riksen, M., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J. y Geissen, V. (2017). *Op. Cit.*
- ⁹⁷⁰ Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J. y Geissen, V. (2017). *Op. cit.*
- ⁹⁷¹ Arellano-Aguilar, O. y Rendón von Osten, J. (2016). *Op. Cit.*
- ⁹⁷² Polanco-Rodríguez, A., Navarro A., Solorio, J., Mena, F., Marruto, J. y del Valls, T. (2014). Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatán, México. *Water and Environment Journal*, 29, 140-150. doi: 10.1111/wej.12080.
- ⁹⁷³ Polanco-Rodríguez, A., Araujo, J., Tamayo, J. y Munguía, A. (2018). The glyphosate herbicide in Yucatan, Mexico. *Bioequivalence & Bioavailability*, 5(6), 284-286. doi: 10.15406/mojbb.2018.05.00115.
- ⁹⁷⁴ Rendon-von, O. J. y Dzul-Caamal, R. (2017). *Op. Cit.*
- ⁹⁷⁵ Ruíz- Toledo, J., Castro, R., Rivero-Pérez, N. y Bello- Mendoza, R., (2014). Occurrence of Glyphosate in water bodies derived from intensive agriculture in a tropical region of Southern Mexico. *Environmental Contamination and Toxicology*, 93(3), 289-293. doi: 10.1007/s00128-014-1328-0.
- ⁹⁷⁶ García, A. C., Fuentes, Y. M. O., Ortega, V. M., Ceballos, A. G. C., Márquez, P. L., Chávez, E. C. y Terrazas, A. L. (2022). Determinación y cuantificación de residuos de plaguicidas en suelo y agua en pastizales del noreste de México, hábitat del perrito de la pradera mexicano. *Revista Mexicana de Mastozoología (Nueva Época)*, 12, 33-48. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2022.12.1.347>
- ⁹⁷⁷ Nguyen, D. B., M. T. Rose, T. J. Rose, S. G. Morris y van Zwieten, L. (2016). Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: a meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, (92), 50-57
- ⁹⁷⁸ Thongprakaisang, S., Thiantanawat, A., Rangkadilok, N., Suriyo, T. y Satayavivad, J. (2013). *Op. Cit.*
- ⁹⁷⁹ Tesfamariam, T., Bott, S., Cakmak, I., Römheld, V. y Neumann, G. (2009). Glyphosate in the rhizosphere—role of waiting times and different glyphosate binding forms in soils for phytotoxicity to non-target plants. *European Journal of Agronomy*, 31(3), 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.03.007>
- ⁹⁸⁰ Lupwayi, N. Z., Harker, K. N., Clayton, G. W., O'Donovan, J. T. y Blackshaw, R. E. (2009). Soil microbial response to herbicides applied to glyphosate-resistant canola. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 129(1-3), 171-176. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.007>
- ⁹⁸¹ Busse, M., Ratcliff, A., Shestak, C. y Powers, R. (2001). Glyphosate toxicity and the effects of long term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(12-13), 1777-1789.
- ⁹⁸² Zobiole, L. H. S., Kremer, R. J., Oliveira Jr, R. S. y Constantin, J. (2011). Glyphosate affects micro-organisms in rhizospheres of glyphosate-resistant soybeans. *Journal of applied microbiology*, 110, 118-127. doi: 10.1111/j.1365-2672.2010.04864.x.
- ⁹⁸³ Newman, M. M., Hoilett, N., Lorenz, N., Dick, R. P., Liles, M. R., Ramsier, C. y Klopper, J. W. (2016). *Op. Cit.*
- ⁹⁸⁴ Romero, E. M. (2001). Poblaciones de rizobia nativas de México. *Acta Zoológica Mexicana (nueva serie)*, 29-38. <https://doi.org/10.21829/azm.2001.8401844>
- ⁹⁸⁵ Fan, L., Feng, Y., Weaver, D. B., Delaney, D. P., Wehtje, G. R. y Wang, G. (2017). Glyphosate effects on symbiotic nitrogen fixation in glyphosate-resistant soybean. *Applied Soil Ecology*, 121, 11-19. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.09.015
- ⁹⁸⁶ Nawaz, M. A., Golokhvast, K. S., Tsatsakis, A. M., Lam, H-M. y Chung, G. (2020). GMOs, Biodiversity and Ecosystem Processes. En A. Chaurasia, D. Hawksworth, de Miranda M, (Eds.), *GMOs: Implications for Biodiversity Conservation and Ecological Processes* (pp. 3-17). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-53183-6_1
- ⁹⁸⁷ Schafer, J. R., Hallett, S. G. y Johnson, W. G. (2014). Rhizosphere microbial community dynamics in glyphosate-treated susceptible and resistant biotypes of giant ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed Science*, 62(2), 370-381. doi: 10.1614/WS-D-13-00164.1
- ⁹⁸⁸ Masehela, T. S., Maseko, B. y Barros, E. (2020). Impact of GM Crops on Farmland Biodiversity. En A. Chaurasia, D. Hawksworth, de Miranda M, (Eds.), *GMOs: Implications for Biodiversity Conservation and Ecological Processes* (pp. 21-34). Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-53183-6_2
- ⁹⁸⁹ Bretagnolle, V. y Gaba, S. (2015). Weeds for bees? A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 891-909.
- ⁹⁹⁰ Altieri, M. A. (2009). *Op. Cit.* Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.



- ⁹⁹¹ Lombardo, L., Trenti, M., Zelasco, S. (2020). GM crops: resistance development and impact on biodiversity. En A. Chaurasia, D. Hawksworth, de Miranda M, (Eds.), *GMOs: Implications for Biodiversity Conservation and Ecological Processes* (pp. 35-68). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-030-53183-6_3
- ⁹⁹² Naranjo, S. E. (2014). Effects of GM Crops on Non-target Organisms. En A. Ricoch, S. Chopra y S. Fleischer (Eds.), *Plant Biotechnology: Experience and Future Prospects* (pp. 129-142). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-06892-3_11
- ⁹⁹³ Leclerc, M., Walker, E., Messéan, A. y Soubeyrand, S. (2018). Spatial exposure-hazard and landscape models for assessing the impact of GM crops on non-target organisms. *The Science of the Total Environment*, 624, 470-479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.329>
- ⁹⁹⁴ Jha, A. K., Chakraborty, S., Kumari, K. y Bauddh, K. (2020). Ecological Consequences of Genetically Modified Crops on Soil Biodiversity. En K. Bauddh, S. Kumar, R. Singh y J. Korstad (Eds.), *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture* (pp. 89-106). Springer. doi:10.1007/978-981-15-3372-3_5
- ⁹⁹⁵ Tsatsakis, A. M., Nawaz, M. A., Kouretas, D., Balias, G., Savolainen, K., Tutelyan, V. A., Golokhvast, K. S., Lee, J. D., Yang, S. H. y Chung, G. (2017). Environmental impacts of genetically modified plants: A review. *Environmental Research*, 156, 818-833. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.011>
- ⁹⁹⁶ Chen, C. Y., Hathaway, K. M. y Folt, C. L. (2004). Multiple stress effects of Vision herbicide, pH, and food on zooplankton and larval amphibian species from forest wetlands. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23(4), 823-831. <https://doi.org/10.1897/03-108>
- ⁹⁹⁷ EPA. (2021). *Final national level listed species biological evaluation for glyphosate*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/endangered-species/final-national-level-listed-species-biological-evaluation-glyphosate>
- ⁹⁹⁸ Gardner, J. G. y Nelson, G. C. (2008). Herbicides, glyphosate resistance and acute mammalian toxicity: simulating an environmental effect of glyphosate-resistant weeds in the USA. *Pest Management Science*, 64(4), 470-478. <https://doi.org/10.1002/ps.1497>
- ⁹⁹⁹ de Castilhos Ghisi, N., Zuanazzi, N. R., Fabrin, T. M. C. y Oliveira, E. C. (2020). Glyphosate and its toxicology: A scientometric review. *Science of the Total Environment*, 733, 139359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139359>
- ¹⁰⁰⁰ Pott, A., Otto, M. y Schulz, R. (2018). Impact of genetically modified organisms on aquatic environments: Review of available data for the risk assessment. *Science of the Total Environment*, 635, 687-698. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.013
- ¹⁰⁰¹ West, M. E. y Moore, P. A. (2019). Bt proteins exacerbate negative growth effects in juvenile rusty (F. rusticus) crayfish fed corn diet. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 77(3), 452-460. doi: 10.1007/s00244-019-00664-3
- ¹⁰⁰² Gupta, S. y Gupta, K. (2020). Bioaccumulation of pesticides and its impact on biological systems. En P. Kumar, V. Pratap, A. Singh, D. Kumar, S. Singh, S. Mohan y D. Kumar (Eds.), *Pesticides in Crop Production: Physiological and Biochemical Action* (pp. 55-67). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119432241.ch4>
- ¹⁰⁰³ de Brito Rodrigues, L., Gonçalves-Costa, G. undgren Thá, E., da Silva, L.R, de Oliveira, R., Morais Leme, D. y Cestari, M.M., Koppe Grisolia, C., Campos Valadares, M. y Rodrigues de Oliveira, A. G. (2019). Impact of the glyphosate-based commercial herbicide, its components and its metabolite AMPA on non-target aquatic organisms. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 842, 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2019.05.002>
- ¹⁰⁰⁴ Moreno, N. C., Sofia, S. H. y Martinez, C. B. (2014). Genotoxic effects of the herbicide Roundup Transorb and its active ingredient glyphosate on the fish *Prochilodus lineatus*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 37, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.12.012>
- ¹⁰⁰⁵ Marc, J., Bellé, R., Morales, J., Cormier, P. y Mulner-Lorillon, O. (2004). Formulated glyphosate activates the dna-response checkpoint of the cell cycle leading to the prevention of G2/M transition. *Toxicological Sciences*, 82(2), 436-442. doi: 10.1093/toxsci/kfh281
- ¹⁰⁰⁶ Weeks-Santos, S., Gonzalez, P., Cormier, B., Mazzella, N. Bonnaud, B., Morin, S., Clérandeau, C., Morin, B. y Cachot, J. (2019). A glyphosate-based herbicide induces sub-lethal effects in early life stages and liver cell line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquatic Toxicology*, 216, 105291. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105291>
- ¹⁰⁰⁷ Mottier, A., Serpentine, A., Dallas, L., James, A., Lebel, J. M. y Costil, K. (2020). In vitro effects of glyphosate-based herbicides and related adjuvants on primary culture of hemocytes from *Haliotis tuberculata*. *Fish and Shellfish Immunology*, 100, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.02.058>
- ¹⁰⁰⁸ Hong, Y., Yang, X., Yan, G., Huang, Y., Zuo, F., Shen, Y., Ding, Y. y Cheng, Y. (2017) Effects of glyphosate on immune responses and haemocyte DNA damage of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Fish & Shellfish Immunology*, 71, 19-27. doi.org/10.1016/j.fsi.2017.09.062
- ¹⁰⁰⁹ Mottier, A., Serpentine, A., Dallas, L., James, A., Lebel, J. M. y Costil, K. (2020). *Op. cit.*
- ¹⁰¹⁰ Fernandes, G., Aparicio, V. C., Bastos, M. C., De Gerónimo, E., Labanowski, J., Prestes, O. D., Zanella, R. y dos Santos, D. R. (2019). *Op. cit.*
- ¹⁰¹¹ Lutri, V. F., Matteoda, E., Blarasin, M., Aparicio, V., Giacobone, D., Maldonado, L., Becher, F., Cabrera, A., y Giuliano, J. (2020). *Op. Cit.*
- ¹⁰¹² Sabio y García, C. A., Schiaffino, M. R., Lozano, V. L., Vera, M. S., Ferraro, M., Izaguirre, I. y Pizarro, H. (2020). New findings on the effect of glyphosate on autotrophic and heterotrophic picoplankton structure: A microcosm approach. *Aquatic Toxicology*, 222, 105463. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105463>

2024, 105463. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2020.105463> Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ¹⁰¹³ Sabio y García, C. A., Schiaffino, M. R., Lozano, V. L., Vera, M. S., Ferraro, M., Izaguirre, I. y Pizarro, H. (2020). *Ídem*.
- ¹⁰¹⁴ Relyea, R. A. y Jones, D. K. (2009). The toxicity of Roundup Original Max® to 13 species of larval amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(9), 2004-2008. <https://doi.org/10.1897/09-021.1>
- ¹⁰¹⁵ Agostini, M. G., Roesler, I., Bonetto, C., Ronco, A. E. y Bilenca, D. (2020). Pesticides in the real world: The consequences of GMO-based intensive agriculture on native amphibians. *Biological Conservation*, 241, 108355. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108355>
- ¹⁰¹⁶ Attademo, A. M., Lajmanovich, R. C., Peltzer, P. M., Boccioni, A. P. C., Martinuzzi, C., Simonielo, F. y Repetti, M. R. (2021). Effects of the emulsifiable herbicide Dicamba on amphibian tadpoles: an underestimated toxicity risk?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 31962-31974. doi: 10.1007/s11356-021-13000-x
- ¹⁰¹⁷ Brovini, E. M., Cardoso, S. J., Quadra, G. R., Vilas-Boas, J. A., Paranaíba, J. R., Pereira, R. D. O. y Mendonça, R. F. (2021). Glyphosate concentrations in global freshwaters: are aquatic organisms at risk?. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 60635-60648. doi: 10.1007/s11356-021-14609-8
- ¹⁰¹⁸ Rogacz, D., Lewkowski, J., Cal, D. y Rychter, P. (2020). Ecotoxicological effects of new C-substituted derivatives of N-phosphonomethylglycine (glyphosate) and their preliminary evaluation towards herbicidal application in agriculture. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 194, 110331. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110331
- ¹⁰¹⁹ Cardoso, P., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kwak, M. L., Mammola, S., Ari Noriega, J., Orfinger, A. B., Pedraza, F., Pryke, J. S., Roque, F. O., ... Samways, M. J. (2020). Scientists' warning to humanity on insect extinctions. *Biological Conservation*, 242, 108426. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108426>
- ¹⁰²⁰ Eggleton, P. (2020). The State of the World's Insects. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 61-82. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012420-050035>
- ¹⁰²¹ Samways, M. J., Barton, P. S., Birkhofer, K., Chichorro, F., Deacon, C., Fartmann, T., Fukushima, C. S., Gaigher, R., Habel, J. C., Hallmann, C. A., Hill, M. J., Hochkirch, A., Kaila, L., Kwak, M. L., Maes, D., Mammola, S., Noriega, J. A., Orfinger, A. B., Pedraza, F., ... Cardoso, P. (2020). Solutions for humanity on how to conserve insects. *Biological Conservation*, 242, 108427. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108427>
- ¹⁰²² Wegier, A., Alavez, V., Pérez-López, J., Calzada, L., & Cerritos, R. (2018). Beef or grasshopper hamburgers: The ecological implications of choosing one over the other. *Basic and Applied Ecology*, 26, 89-100. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2017.09.004>
- ¹⁰²³ SEMARNAT. (2014). *El Medio Ambiente en México 2013-2014*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/04_biodiversidad/4_1.html
- ¹⁰²⁴ Steinigeweg, C., Alkassab, A. T., Erler, S., Beims, H., Wirtz, I. P., Richter, D. y Pistorius, J. (2023). Impact of a microbial pest control product containing *Bacillus thuringiensis* on brood development and gut microbiota of *Apis mellifera* worker honey bees. *Microbial Ecology*, 85(4), 1300-1307. doi: 10.1007/s00248-022-02004-w
- ¹⁰²⁵ Oestergaard, J., Ehlers, R. U., Martínez-Ramírez, A. C. y Real, M. D. (2007). Binding of Cyt1Aa and Cry11Aa toxins of *Bacillus thuringiensis* serovar israelensis to brush border membrane vesicles of *Tipula paludosa* (Diptera: Nematocera) and subsequent pore formation. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(11), 3623-3629.
- ¹⁰²⁶ Castro, B. M. C. E., Martínez, L. C., Barbosa, S. G., Serrão, J. E., Wilcken, C. F., Soares, M. A., da Silva, A. A., de Carvalho, A. G. y Zanuncio, J. C. (2019). Toxicity and cytopathology mediated by *Bacillus thuringiensis* in the midgut of *Anticarsia gemmatalis* (Lepidoptera: Noctuidae). *Scientific Reports*, 9, 6667. doi: 10.1038/s41598-019-43074-0
- ¹⁰²⁷ Romeis, J., Meissle, M. y Bigler, F. (2006). Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control. *Nature Biotechnology*, 24, 63-71. doi: 10.1038/nbt1180
- ¹⁰²⁸ Plata-Rueda, A., Quintero, H. A., Serrão, J. E. y Martínez, L. C. (2020). Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* strains on the nettle caterpillar, *Euprosterina elaeasa* (Lepidoptera: Limacodidae). *Insects*, 11(5), 310. <https://doi.org/10.3390/insects11050310>
- ¹⁰²⁹ Gill, S. S., Cowles, E. A. y Pietrantonio, P. V. (1992). The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual review of entomology*, 37(1), 615-634. doi: 10.1146/annurev.en.37.010192.003151
- ¹⁰³⁰ Baranek, J., Konecka, E., y Kaznowski, A. (2017). Interaction between toxin crystals and vegetative insecticidal proteins of *Bacillus thuringiensis* in lepidopteran larvae. *BioControl*, 62, 649-658.
- ¹⁰³¹ Masehela, T. S., Maseko, B. y Barros, E. (2020). *Op. Cit.*
- ¹⁰³² Bigler, F. y Albajes, R. (2011). Indirect effects of genetically modified herbicide tolerant crops on biodiversity and ecosystem services: the biological control example. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 6, 79-84. doi:10.1007/s00003-011-0688-1
- ¹⁰³³ Yin, C., Li, M., Hu, J., Lang, K., Chen, Q., Liu, J. y Chen, X. (2018). The genomic features of parasitism, polyembryony and immune evasion in the endoparasitic wasp *Macrocentrus cingulum*. *BMC genomics*, 19(420), 1-18.
- ¹⁰³⁴ Hernandez-Mendoza, J. L., López-Barbosa, E. C., Garza-González, E. y Mayek-Perez, N. (2008). Spatial distribution of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize landraces grown in Colima, México. *International Journal of Tropical Insect Science*, 28(3), 126-129. doi: 10.1017/S1742758408096112
- ¹⁰³⁵ Lövei, G. L., Andow, D. A. y Arpaia, S. (2009). Transgenic insecticidal crops and natural enemies: a detailed review of laboratory studies. *Environmental Entomology*, 38(2), 293-306. <https://doi.org/10.1603/022.038.0201>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ¹⁰³⁶ da Silva Rolim, G., Plata-Rueda, A., Ribeiro, G. T., Zanoncio, J. C., Serrão, J. E. y Martínez, L. C. (2023). Effects of *Bacillus thuringiensis* on biological parameters of *Tetrastichus howardi* parasitizing Bt-resistant pupa of *Spodoptera frugiperda*. *Crop Protection*, *172*, 106313.
- ¹⁰³⁷ Pilcher, C. D., Rice, M. E. y Obrycki, J. J. (2005). Impact of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn and crop phenology on five nontarget arthropods. *Environmental Entomology*, *34*(5), 1302-1316. <https://doi.org/10.1093/ee/34.5.1302>
- ¹⁰³⁸ Meier, M. S. y Hilbeck, A. (2001). Influence of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on prey preference of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Basic and Applied Ecology*, *2*, 35-44. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00034>
- ¹⁰³⁹ Amichot, M., Curty, C., Benguetat-Magliano, O., Gallet, A. y Wajnberg, E. (2016). Side effects of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on the hymenopterous parasitic wasp *Trichogramma chilonis*. *Environmental Science and Pollution Research*, *23*(4), 3097-3103. doi: 10.1007/s11356-015-5830-7
- ¹⁰⁴⁰ Lövei, G. L. y Arpaia, S. (2005). The impact of transgenic plants on natural enemies: a critical review of laboratory studies. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *114*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/j.0013-8703.2005.00235.x>
- ¹⁰⁴¹ Vojtech, E., Meissle, M. y Poppy, G. M. (2005). Effects of Bt maize on the herbivore *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae) and the parasitoid *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae). *Transgenic Research*, *14*(2), 133-144. doi: 10.1007/s11248-005-2736-z
- ¹⁰⁴² Ashouri, A., Michaud, D. y Cloutier, C. (2001). Recombinant and classically selected factors of potato plant resistance to the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, variously affect the potato aphid parasitoid *Aphidius nigripes*. *BioControl*, *46*(4), 401-418. doi: 10.1023/A:1014123712776
- ¹⁰⁴³ Tomov, B. W., Bernal, J. S. y Vinson, S. B. (2003). Impacts of Transgenic Sugarcane Expressing Gna Lectin on Parasitism of Mexican Rice Borer by *Paraliorhogas pyralophagus* (Marsh) (Hymenoptera: Braconidae). *Environmental Entomology*, *32*(4), 866-872. doi:10.1603/0046-225X-32.4.866
- ¹⁰⁴⁴ Dively, G. P. (2005). Impact of transgenic Vip3A × Cry1Ab lepidopteran-resistant field corn on the nontarget arthropod community. *Environmental Entomology*, *34*(5), 1267-1291. doi: 10.1093/ee/34.5.1267
- ¹⁰⁴⁵ Baur, M. E., Boethel, D. J. (2003). Effect of Bt-cotton expressing Cry1A(c) on the survival and fecundity of two hymenopteran parasitoids (Braconidae, Encyrtidae) in the laboratory. *Biol Control*, *26*(3):325-332. doi:[https://doi.org/10.1016/S1049-9644\(02\)00160-3](https://doi.org/10.1016/S1049-9644(02)00160-3)
- ¹⁰⁴⁶ Liu, X., Zhang, Q., Zhao, J.-Z., Li, J., Xu, B. y Ma, X. (2005). Effects of Bt transgenic cotton lines on the cotton bollworm parasitoid *Microplitis mediator* in the laboratory. *Biological Control*, *35*(2), 134-141. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2005.08.006>
- ¹⁰⁴⁷ Guo, J.-Y., Wan, F.-H., Dong, L., Lövei, G. L. y Han, Z.-J. (2008). Tri-Trophic Interactions Between Bt Cotton, the Herbivore *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae), and the Predator *Chrysopa pallens* (Rambur) (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, *37*, 263-270. doi:10.1603/0046-225X(2008)37[263:TIBBCT]2.0.CO;2
- ¹⁰⁴⁸ Schmidt, J. E., Braun, C. U., Whitehouse, L. P. y Hilbeck, A. (2009). Effects of activated Bt transgene products (Cry1Ab, Cry3Bb) on immature stages of the ladybird *Adalia bipunctata* in laboratory ecotoxicity testing. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *56*(2), 221-228. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9191-9>
- ¹⁰⁴⁹ Men, X., Ge, F., Edwards, C. A. y Yardim, E. N. (2004). Influence of pesticide applications on pest and predatory arthropods associated with transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton plants. *Phytoparasitica*, *32*(3), 246-254. doi: 10.1007/BF02979819
- ¹⁰⁵⁰ Ponsard, S., Gutierrez, A. P. y Mills, N. J. (2002). Effect of Bt-toxin (Cry1Ac) in transgenic cotton on the adult longevity of four heteropteran predators. *Environmental Entomology*, *31*(6), 1197-1205. doi: 10.1603/0046-225X-31.6.1197
- ¹⁰⁵¹ Mirande, L., Haramboure, M., Smagghe, G., Piñeda, S. y Schneider, M. I. (2010). Side-effects of glyphosate on the life parameters of *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) in Argentina. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, *75*(3), 367-372.
- ¹⁰⁵² de Saraiva, A. S., Sarmiento, R. A., Pedro-Neto, M., Teodoro, A. V., Erasmo, E. A., Belchior, D. C. y de Azevedo, E. B. (2016). Glyphosate sub-lethal toxicity to non-target organisms occurring in *Jatropha curcas* plantations in Brazil. *Experimental & Applied Acarology*, *70*(2), 179-187. <https://doi.org/10.1007/s10493-016-0078-6>
- ¹⁰⁵³ Böcker, T., Britz, W., Möhring, N. y Finger, R. (2020). An economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production. *European Review of Agricultural Economics*, *47*(2), 371-402. <https://doi.org/10.1093/erae/jby050>
- ¹⁰⁵⁴ Defarge, N., Otto, M. y Hilbeck, A. (2023). A Roundup herbicide causes high mortality and impairs development of *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae). *Science of The Total Environment*, *865*, 161158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161158>.
- ¹⁰⁵⁵ Smith, D. F. Q., Camacho, E., Thakur, R., Barron, A. J., Dong, Y., Dimopoulos, G., Broderick, N. A. y Casadevall, A. (2021). Glyphosate inhibits melanization and increases susceptibility to infection in insects. *PLoS Biology*, *19*(5), e3001182. doi: 10.1371/journal.pbio.3001182
- ¹⁰⁵⁶ Rainio, M. J., Margus, A., Tikka, S., Helander, M. y Lindström, L. (2023). The effects of short-term glyphosate-based herbicide exposure on insect gene expression profiles. *Journal of Insect Physiology*, *146*, 104503. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2023.104503>
- ¹⁰⁵⁷ Dicks, L. V., Viana, B., Bommarco, R., Brosi, B., Arizmendi, M. D., Cunningham, S. A., Galetto, L., Hill, R., Lopes, A. V., Pires, C., Taki, H. y Potts, S. G. (2016). Ten policies for pollinators. *Science*, *354*(6315), 975-976. <https://doi.org/10.1126/science.aai9226>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ¹⁰⁵⁸ Potts S. G., Imperatriz-Fonseca V. L., Ngo H. T. (2016). *The Assessment Report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on Pollinators, Pollination and Food Production*. IPBES
- ¹⁰⁵⁹ VanEngelsdorp, D. y Meixner, M. D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103, S80-S95. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2009.06.011>
- ¹⁰⁶⁰ Morandin, L. A. y Winston, M. L. (2005). Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and Genetically Modified Canola. *Ecological Applications*, 15(3), 871-881. <https://doi.org/10.1890/03-5271>
- ¹⁰⁶¹ Arpaia, S., Smagghe, G. y Sweet, J. B. (2021). Biosafety of bee pollinators in genetically modified agro-ecosystems: Current approach and further development in the EU. *Pest Manag Sci*, 77(6), 2659-2666. doi: 10.1002/ps.6287
- ¹⁰⁶² Seide, V. E., Bernardes, R. C., Pereira, E. J. G. y Lima, M. A. P. (2018). Glyphosate is lethal and Cry toxins alter the development of the stingless bee *Melipona quadrifasciata*. *Environmental Pollution*, 243, 1854-1860. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.020
- ¹⁰⁶³ Mommaerts, V., Jans, K. y Smagghe, G. (2010). Impact of *Bacillus thuringiensis* strains on survival, reproduction and foraging behaviour in bumblebees (*Bombus terrestris*). *Pest Management Science*, 66(5), 520-525. doi: 10.1002/ps.1902
- ¹⁰⁶⁴ Seide, V. E., Bernardes, R. C., Pereira, E. J. G. y Lima, M. A. P. (2018). *Op. Cit.*
- ¹⁰⁶⁵ Vandame, R. (2016). *Uso de plaguicidas y mortalidad de abejas en México: una creciente urgencia*. El Jarocho Cuántico.
- ¹⁰⁶⁶ Boily, M., Sarrasin, B., DeBlois, C., Aras, P. y Chagnon, M. (2013). Acetylcholinesterase in honey bees (*Apis mellifera*) exposed to neonicotinoids, atrazine and glyphosate: Laboratory and field experiments. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(8), 5603-5614. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1568-2>
- ¹⁰⁶⁷ Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. y Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society*, 274, 303-313. doi: 10.1098/rspb.2006.3721
- ¹⁰⁶⁸ Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J. y Vaissière, B. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), 810-821.
- ¹⁰⁶⁹ Ayala, R. y Ortega, M. (2018). Declive de las abejas nativas en la región maya (2018). En: A. Xolalpa, D. Sánchez, R. Pichardo, D. Caamal, S. Ake, E. Brito y S. Palmieri (Coords.), *Meliponicultura Liderazgo, Territorio y Tradición* (pp. 55-69). Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo.
- ¹⁰⁷⁰ *Ibid.*
- ¹⁰⁷¹ Bohan, D. A., Boffey, C. W., Brooks, D. R., Clark, S. J., Dewar, A. M., Firbank, L. G., Houghton, A. J., Hawes, C., Heard, M. S., May, M. J., Osborne, J. L., Perry, J. N., Rothery, P., Roy, D. B., Scott, R. J., Squire, G. R., Woiwod, I. P. y Champion, G. T. (2005). Effects on weed and invertebrate abundance and diversity of herbicide management in genetically modified herbicide-tolerant winter-sown oilseed rape. *Proceedings. Biological Sciences*, 272(1562), 463-474. doi: 10.1098/rspb.2004.3049.
- ¹⁰⁷² Motta E. V. S., Raymann K. y Moran, N. A. (2018). Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(41), 10305-10310. doi: 10.1073/pnas.1803880115
- ¹⁰⁷³ Motta E. V. S., Raymann K. y Moran, N. A. (2018). *Ídem.*
- ¹⁰⁷⁴ Vázquez, D. E., Iliina, N., Pagano, E. A., Zavala, J. A. y Farina, W. M. (2018). Glyphosate affects the larval development of honey bees depending on the susceptibility of colonies. *PLoS one*, 13(10), e0205074. doi: 10.1371/journal.pone.0205074.
- ¹⁰⁷⁵ Herbert, L. T., Vázquez, D. E., Arenas, A. y Farina, W. M. (2014). Effects of field-realistic doses of glyphosate on honeybee appetitive behaviour. *Journal of Experimental Biology*, 217(19), 3457-3464. <https://doi.org/10.1242/jeb.109520>
- ¹⁰⁷⁶ Liao, L. H., Wu, W. Y. y Berenbaum, M. R. (2017). Impacts of Dietary Phytochemicals in the presence and absence of pesticides on longevity of honey bees (*Apis mellifera*). *Insects*, 8, 22. <https://doi.org/10.3390/insects8010022>
- ¹⁰⁷⁷ Berg, C. J., King, H. P., Delenstarr, G., Kumar, R., Rubio, F. y Glaze, T. (2018). Glyphosate residue concentrations in honey attributed through geospatial analysis to proximity of large-scale agriculture and transfer off-site by bees. *PLoS One*, 13(7), e0198876. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198876>
- ¹⁰⁷⁸ Ledoux, M. L., Hettiarachchy, N., Yu, X., Howard, L. y Lee, S. O. (2019). Penetration of glyphosate into the food supply and the incidental impact on the honey supply and bees. *Food Control*, 109, 106859.
- ¹⁰⁷⁹ Balbuena, M. S., Tison, L., Hahn, M.-L., Greggers, U., Menzel, R. y Farina, W. M. (2015). Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *The Journal of Experimental Biology*, 218(Pt 17), 2799-2805. <https://doi.org/10.1242/jeb.117291>
- ¹⁰⁸⁰ Mengoni Goñalons, C. y Farina, W. M. (2018). Impaired associative learning after chronic exposure to pesticides in young adult honey bees. *Journal of Experimental Biology*, 221(7), jeb176644. <https://doi.org/10.1242/jeb.176644>
- ¹⁰⁸¹ Jumarie, C., Aras, P. y Boily, M. (2017). Mixtures of herbicides and metals affect the redox system of honey bees. *Chemosphere*, 168, 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.056>
- ¹⁰⁸² Ledoux, M. L., Hettiarachchy, N., Yu, X., Howard, L. y Lee, S. O. (2019). *Op. cit.*
- ¹⁰⁸³ Farina, W. M., Balbuena, M. S., Herbert, L. T., Mengoni Goñalons C. y Vázquez, D. E. 2019. Effects of the Herbicide Glyphosate on Honey Bee Sensory and Cognitive Abilities: Individual Impairments with Implications for the Hive. *Insects*, 10(10), 354. <https://doi.org/10.3390/insects10100354>.
- ¹⁰⁸⁴ Dai, P., Yan, Z., Ma, S., Yang, Y., Wang, Q., Hou, C., Wu, Y., Liu, Y. y Diao, Q. (2018). The Herbicide Glyphosate Negatively Affects Midgut Bacterial Communities and Survival of Honey Bee during Larvae Reared in Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(29), 7786-7793. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02212>

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx



2024
AÑO DE
Felipe Carrillo
PUERTO
RENERO DEL PROLETARIADO,
REVOLUCIONARIO Y DEFENSOR
DEL MAYAB



- ¹⁰⁸⁵ Vázquez, D. E., Balbuena, M. S., Chaves, F., Gora, J., Menzel, R. y Farina, W. M. (2020). Sleep in honey bees is affected by the herbicide glyphosate. *Scientific Reports*, *10*, 10516. doi: 10.1038/s41598-020-67477-6
- ¹⁰⁸⁶ Weidenmüller, A., Meltzer, A., Neupert, S., Schwarz, A. y Kleineidam, C. (2022). Glyphosate impairs collective thermoregulation in bumblebees. *Science*, *376*(6597), 1122-1126.
- ¹⁰⁸⁷ Faita, M. R., Cardozo, M. M., Amandio, D. T. T., Orth, A. I. y Nodari, R. O. (2020). Glyphosate-based herbicides and *Nosema* sp. microsporidia reduce honey bee (*Apis mellifera* L.) survivability under laboratory conditions. *Journal of Apicultural Research*, *59*(4), 332-342.
- ¹⁰⁸⁸ Almasri, H., Tavares, D. A., Pioz, M., Sené, D., Tchamitchian, S., Cousin, M., Brunet, J. L. y Belzunces, L. P. (2020). Mixtures of an insecticide, a fungicide and a herbicide induce high toxicities and systemic physiological disturbances in winter *Apis mellifera* honey bees. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *203*, 111013.
- ¹⁰⁸⁹ Hansen Jesse, L. C. y Obrycki, J. J. (2000). Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, *125*(2), 241-248. <https://doi.org/10.1007/s004420000502>
- ¹⁰⁹⁰ Shirai, Y. y Takahashi, M. (2005). Effects of transgenic Bt corn pollen on a non-target lycaenid butterfly, *Pseudozizeeria maha*. *Applied Entomology and Zoology*, *40*, 151-159.
- ¹⁰⁹¹ Felke, M., Lorenz, N. y Langenbruch, G.-A. (2002). Laboratory studies on the effects of pollen from Bt-maize on larvae of some butterfly species. *Journal of Applied Entomology*, *126*(6), 320-325. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00668.x>
- ¹⁰⁹² Belsky, J. y Joshi, N. K. (2018). Assessing role of major drivers in recent decline of monarch butterfly population in North America. *Frontiers in Environmental Science*, *6*, 86. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00086>
- ¹⁰⁹³ Barkin, D. (2003). Alleviating Poverty Through Ecotourism: Promises and Reality in the Monarch Butterfly Reserve of Mexico. *Environment, Development and Sustainability*, *5*(3), 371-382. <https://doi.org/10.1023/A:1025725012903>
- ¹⁰⁹⁴ Monterrubio-Cordero, J. C., Rodríguez, G. y Mendoza, M. M. (2013). Social benefits of ecotourism: The Monarch Butterfly Reserve in Mexico. *Enlightening Tourism: A Pathmaking Journal*, *2*, 105-124.
- ¹⁰⁹⁵ Pleasants, J. M. y Oberhauser, K. S. (2013). Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: Effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity*, *6*(2), 135-144. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2012.00196.x>
- ¹⁰⁹⁶ Dively, G. P. (2005). *Op. Cit.*
- ¹⁰⁹⁷ Anderson, P. L., Hellmich, R. L., Prasifka, J. R. y Lewis L. C. (2005). Effects on Fitness and Behavior of Monarch Butterfly Larvae Exposed to a Combination of Cry1Ab-Expressing Corn Anthers and Pollen. *Environmental Entomology*, *34*(4), 944-952. doi: 10.1603/0046-225X-34.4.944
- ¹⁰⁹⁸ Bai, Y. Y., Jiang, M. X. y Cheng, J. A. (2005). Effects of transgenic cry1Ab rice pollen on fitness of *Propylea japonica* (Thunberg). *Journal of Pest Science*, *78*(3), 123-128. doi:10.1007/s10340-004-0078-x
- ¹⁰⁹⁹ Losey, J. E., Rayor, L. S. y Carter, M. E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, *399*(6733), p. 214. doi:10.1038/20338
- ¹¹⁰⁰ Thogmartin, W. E., Wiederholt, R., Oberhauser, K., Drum, R. G., Diffendorfer, J. E., Altizer, S., Taylor, O., Pleasants, J., Semmens, D., Semmens, B., Erickson, R., Libby, K. y Lopez-Hoffman, L. (2017). Monarch butterfly population decline in North America: identifying the threatening processes. *Royal Society Open Science*, *4*, 170760. <https://doi.org/10.1098/rsos.170760>
- ¹¹⁰¹ Pleasants, J. M. y Oberhauser, K. S. (2013). *Op. Cit.*
- ¹¹⁰² Pleasants, J. M., Zalucki, M. P., Oberhauser, K. S., Brower, L. P., Taylor, O. R. y Thogmartin, W. E. (2017). Interpreting surveys to estimate the size of the monarch butterfly population: Pitfalls and prospects. *PLOS ONE*, *12*(7), e0181245. doi: 10.1371/journal.pone.0181245
- ¹¹⁰³ Santovito, A., Audisio, M. y Bonelli, S. (2020). A micronucleus assay detects genotoxic effects of herbicide exposure in a protected butterfly species. *Ecotoxicology*, *29*(9), 1390-1398. doi: 10.1007/s10646-020-02276-3
- ¹¹⁰⁴ Dively, G. P., Kuhar, T. P., Taylor, S., Doughty, H. B., Holmstrom, K., Gilrein, D., Nault, B. A., Ingerson-Mahar, J., Whalen, J., Reisig, D., Frank, D. L., Fleischer, S. J., Owens, D., Welty, C., Reay-Jones, F. P. F., Porter, P., Smith, J. L., Saguez, J., Murray, S., Wallingford, A., ... Hamby, K. A. (2021). Sweet corn sentinel monitoring for lepidopteran field-evolved resistance to Bt toxins. *Journal of Economic Entomology*, *114*, 307-319. <https://doi.org/10.1093/jee/toaa264>
- ¹¹⁰⁵ Reisig, D. D. y Reay-Jones, F. P. (2015). Inhibition of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) growth by transgenic corn expressing Bt toxins and development of resistance to Cry1Ab. *Environmental Entomology*, *44*(4), 1275-1285.
- ¹¹⁰⁶ Storer, N. P., Babcock, J. M., Schlenz, M., Meade, T., Thompson, G. D., Bing, J. W. y Huckaba, R. M. (2010). Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, *103*(4), 1031-1038.
- ¹¹⁰⁷ Jaramillo-Barríos, C. I., Quijano, E. B. y Andrade, B. M. (2019). Populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) cause significant damage to genetically modified corn crops. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *72*(3), 8953-8962.
- ¹¹⁰⁸ Jurat-Fuentes, J. L., Heckel, D. G. y Ferré, J. (2021). Mechanisms of resistance to insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, *66*, 121-140. doi: 10.1146/annurev-ento-052620-073348
- ¹¹⁰⁹ Guan, F., Zhang, J., Shen, H., Wang, X., Padovan, A., Walsh, T. K., Tay, W. T., Gordon, K. H. J., James, W., Czapak, C., Otim, M. H., Kachigamba, D. y Wu, Y. (2021). Whole-genome sequencing to detect mutations associated with resistance to insecticides and Bt proteins in *Spodoptera frugiperda*. *Insect Science*, *28*(3), 627-638. doi: 10.1111/1744-7917.12838
- ¹¹¹⁰ Boaventura, D., Buer, B., Hamackers, N., Maiwald, F. y Nauen, R. (2021). Toxicological and molecular profiling of insecticide



resistance in a Brazilian strain of fall armyworm resistant to Bt Cry1 proteins. *Pest Management Science*, 77(8), 3713-3726. doi: 10.1002/ps.6061

¹¹¹¹ Flagel, L., Lee, Y. W., Wanjugi, H., Swarup, S., Brown, A., Wang, J., Kraft, E., Greenplate, J., Simmons, J., Adams, N., Wang, Y., Martinelli, S., Haas, J., Gowda, A. y Head, G. (2018). Mutational disruption of the ABCC2 gene in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, confers resistance to the Cry1Fa and Cry1A.105 insecticidal proteins. *Scientific Reports*, 8, 7255. doi: 10.1038/s41598-018-25491-9

¹¹¹² Martinelli, S., De Carvalho, R. A., Dourado, P. M. y Head, G. P. (2017). Resistance of *Spodoptera frugiperda* to *Bacillus thuringiensis* Proteins in the Western Hemisphere. En L. Fiuza, R. Polanczyk y N. Crickmore (Eds.), *Bacillus Thuringiensis and Lysinibacillus Sphaericus: Characterization and Use in the Field of Biocontrol* (pp. 273-288). Springer International. doi: 10.1007/978-3-319-56678-8_17

¹¹¹³ Faretto, J. C. (2017). Molecular characterization of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) resistant to Vip3Aa20 protein expressed in corn. [Tesis de doctorado, Universidad Estatal de Ohio]. OhioLINK. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=osu1494233033064726

¹¹¹⁴ Bernardi, D., Salmeron, E., Horikoshi, R. J., Bernardi, O., Dourado, P. M., Carvalho, R. A., Martinelli, S., Head, G. P. y Omoto, C. (2015). Cross-resistance between Cry1 proteins in fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) May affect the durability of current pyramided bt maize hybrids in Brazil. *PLoS One*, 10(10), 1-15. doi: 10.1371/journal.pone.0140130

¹¹¹⁵ Chandrasena, D. I., Signorini, A. M., Abratti, G., Storer, N. P., Olaciregui, M. L., Alves, A. P. y Pilcher, C. D. (2018). Characterization of field-evolved resistance to *Bacillus thuringiensis*-derived Cry1F δ -endotoxin in *Spodoptera frugiperda* populations from Argentina. *Pest Management Science*, 74(3), 746-754. doi: 10.1002/ps.4776

¹¹¹⁶ Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R. J., Dourado, P. M., Crivellari, A., Carvalho, R. A., Willse, A., Martinelli, S. y Head, G. P. (2016). Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(9), 1727-1736. doi: 10.1002/ps.4201

¹¹¹⁷ Huang, F., Qureshi, J. A., Meagher, R. L., Jr, Reisig, D. D., Head, G. P., Andow, D. A., Ni, X., Kerns, D., Buntin, G. D., Niu, Y., Yang, F. y Dungal, V. (2014). Cry1F Resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. *PLoS One*, 9(11), e112958. doi: 10.1371/journal.pone.0112958

¹¹¹⁸ Monnerat, R., Martins, E., Macedo, C., Queiroz, P., Praça, L., Soares, C. M., Moreira, H., Grisi, I., Silva, J., Soberon, M. y Bravo, A. (2015). Evidence of field-evolved resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt corn expressing Cry1F in Brazil that is still sensitive to modified Bt toxins. *PLoS One*, 10(4), e0119544. doi:10.1371/journal.pone.0119544

¹¹¹⁹ Van den Berg, J., Hilbeck, A. y Bøhn, T. (2013). Pest resistance to Cry1Ab Bt maize: Field resistance, contributing factors and lessons from South Africa. *Crop Prot*, 54, 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.010>

¹¹²⁰ Coates, B. S. (2016). *Bacillus thuringiensis* toxin resistance mechanisms among Lepidoptera: progress on genomic approaches to uncover causal mutations in the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Current Opinion In Insect Science*, 15, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.003>

¹¹²¹ Smith, J. L., Farhan, Y. y Schaafsma, A. W. (2019). Practical Resistance of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Cry1F *Bacillus thuringiensis* maize discovered in Nova Scotia, Canada. *Scientific Reports*, 9, 18247. doi: 10.1038/s41598-019-54263-2

¹¹²² Calles-Torrez, V., Knodel, J. J., Boetel, M. A., French, B. W., Fuller, B. W. y Ransom, J. K. (2019). Field-evolved resistance of northern and western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) populations to corn hybrids expressing single and pyramided Cry3Bb1 and Cry34/35Ab1 Bt proteins in North Dakota. *Journal Economic Entomology*, 112(4), 1875-1886. doi: 10.1093/jeet/toz111

¹¹²³ Jakka, S. R. K., Shrestha, R. B. y Gassmann, A. J. (2016). Broad-spectrum resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins by western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*). *Scientific Reports*, 6, 27860. doi: 10.1038/srep27860

¹¹²⁴ Yang, F., Santiago, G. J. C., Head, G. P., Price, P. A. y Kerns, D. L. (2021). Multiple and non-recessive resistance to Bt proteins in a Cry2Ab2-resistant population of *Helicoverpa zea*. *Crop Protection*, 145, 105650. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105650>

¹¹²⁵ Lawrie, R. D., Mitchell Iii, R. D., Deguenon, J. M., Ponnusamy, L., Reisig, D., Pozo-Valdivia, A. D., Kurtz, R. W. y Roe, R. M. (2020). Multiple known mechanisms and a possible role of an enhanced immune system in bt-resistance in a field population of the bollworm, *Helicoverpa zea*: Differences in gene expression with rnaseq. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(18), 1-24. doi: 10.3390/ijms21186528

¹¹²⁶ Jin, L., Wei, Y., Zhang, L., Yang, Y., Tabashnik, B. E. y Wu, Y. (2013). Dominant resistance to Bt cotton and minor cross-resistance to Bt toxin Cry2Ab in cotton bollworm from China. *Evolutionary Applications*, 6(8), 1222-1235. doi: 10.1111/eva.12099

¹¹²⁷ Bilbo, T. R., Reay-Jones, F. P. F., Reisig, D. D. y Greene, J. K. (2019). Susceptibility of Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae) to Cry1A.105 and Cry2Ab2 in North and South Carolina. *Journal of Economic Entomology*, 112(4), 1845-1857. doi: 10.1093/jeet/toz062

¹¹²⁸ Yang, F., González, J. C. S., Little, N., Reisig, D., Payne, G., Dos Santos, R. F., Jurat-Fuentes, J. L., Kurtz, R. y Kerns, D. L. (2020). First documentation of major Vip3Aa resistance alleles in field populations of *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) in Texas, USA. *Scientific Reports*, 10, 5867. doi: 10.1038/s41598-020-62748-8

¹¹²⁹ Yang, F., Kerns, D. L., Little, N. S., Santiago, G. J. C. y Tabashnik, B. E. (2021). Early warning of resistance to bt toxin vip3aa in *Helicoverpa zea*. *Toxins*, 13(9), 618. doi: 10.3390/toxins13090618

¹¹³⁰ Downes, S., Parker, T. y Mahon, R. (2010). Incipient resistance of *Helicoverpa punctigerata* to the Cry2AB Bt toxin in bollgard II® cotton. *PLoS One*, 5(9), e12567. doi: 10.1371/journal.pone.0012567

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ¹¹³¹ Mahon, R. J., Downes, S. J. y James, B. (2012). Vip3A resistance alleles exist at high levels in Australian targets before release of cotton expressing this toxin. *PLoS One*, *7*(6), e39192. doi: 10.1371/journal.pone.0039192
- ¹¹³² Fabrick, J. A., LeRoy, D. M., Mathew, L. G., Wu, Y., Unnithan, G. C., Yelich, A. J., Carrière, Y., Li, X., y Tabashnik, B. E. (2021). CRISPR-mediated mutations in the ABC transporter gene ABCA2 confer pink bollworm resistance to Bt toxin Cry2Ab. *Scientific Reports*, *11*, 10377. doi: 10.1038/s41598-021-89771-7
- ¹¹³³ Mohan, K. S., Ravi, K. C., Suresh, P. J., Sumerford, D. y Head, G. P. (2016). Field resistance to the Bacillus thuringiensis protein Cry1Ac expressed in Bollgard(®) hybrid cotton in pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders), populations in India. *Pest Management Science*, *72*(4), 738-746. doi: 10.1002/ps.4047
- ¹¹³⁴ Naik, V. C., Kumbhare, S., Kranthi, S., Satija, U. y Kranthi, K. R. (2018). Field-evolved resistance of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), to transgenic *Bacillus thuringiensis* (Bt) cotton expressing crystal 1Ac (Cry1Ac) and Cry2Ab in India. *Pest Management Science*, *74*(11), 2544-2554. doi: 10.1002/ps.5038
- ¹¹³⁵ Ma, X., Shao, E., Chen, W., Cotto-Rivera, R. O., Yang, X., Kain, W., Fei, Z. y Wang, P. (2022). Bt Cry1Ac resistance in *Trichoplusia ni* is conferred by multi-gene mutations. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, *140*, 103678. doi: 10.1016/j.ibmb.2021.103678
- ¹¹³⁶ Greene, C. y Smith, K. (2010). Can genetically engineered and organic crops coexist?. *Agricultural and Applied Economics Association*, *25*(2).
- ¹¹³⁷ Velásquez, E. B. (2014). *Op. Cit.*
- ¹¹³⁸ Nalia, A., Ghosh, A., Reja, H., Kumari, V. y Nath, R. (2019). Superweed- an alarming threat. *Indian Farmer*, *6*(12), 878-882.
- ¹¹³⁹ Hug, K. (2008). *Op. Cit.*
- ¹¹⁴⁰ Chen, J., Huang, H., Wei, S., Cui, H., Li, X. y Zhang, C. (2020). Glyphosate resistance in *Eleusine indica*: EPSPS overexpression and P106A mutation evolved in the same individuals. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, *164*, 203-208. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.01.014>
- ¹¹⁴¹ Shirzadifar, A., Bajwa, S., Nowatzki, J. y Shojaeiarani, J. (2020). Development of spectral indices for identifying glyphosate-resistant weeds. *Computers and Electronics in Agriculture*, *170*, 105276. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105276>
- ¹¹⁴² Heap, I. y Duke, S. O. (2017). Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science*, *74*(5), 1040-1049. <https://doi.org/10.1002/ps.4760>
- ¹¹⁴³ Alcántara-de la Cruz, R., Moraes de Oliveira, G., Bianco de Carvalho, L. y da Silva, M. F. das G. F. (2020). Herbicide resistance in Brazil: Status, impacts, and future challenges. En D. Kontogiannatos, A. Kourti y K. Ferreira (Eds.), *Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.91236>
- ¹¹⁴⁴ Singh, V., Etheredge, L., McGinty, J., Morgan, G. y Bagavathiannan, M. (2020). First case of glyphosate resistance in weedy sunflower (*Helianthus annuus*) confirmed in Texas. *Pest Management Science*, *76*(11), 3685-3692. <https://doi.org/10.1002/ps.5917>
- ¹¹⁴⁵ Vázquez-García, J. G., Golmohammadzadeh, S., Palma-Bautista, C., Rojano-Delgado, A. M., Domínguez-Valenzuela, J. A., Cruz-Hipólito, H. E. y de Prado, R. (2020). New case of false-star-grass (*Chloris distichophylla*) population evolving glyphosate resistance. *Agronomy*, *10*(3), 377. <https://doi.org/10.3390/agronomy10030377>
- ¹¹⁴⁶ Vázquez-García, J. G., Palma-Bautista, C., Rojano-Delgado, A. M., De Prado, R. y Menendez, J. (2020). The first case of glyphosate resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) in Europe. *Plants*, *9*(3), 313. <https://doi.org/10.3390/plants9030313>
- ¹¹⁴⁷ Heap, I. y Duke, S. O. (2017). *Op. Cit.*
- ¹¹⁴⁸ Nandula, V. K., Wright, A. A., Bond, J. A., Ray, J. D., Eubank, T. W. y Molin, W. T. (2014). EPSPS amplification in glyphosate-resistant spiny amaranth (*Amaranthus spinosus*): a case of gene transfer via interspecific hybridization from glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*). *Pest Management Science*, *70*(12), 1902-1909. doi: 10.1002/ps.3754
- ¹¹⁴⁹ Evans, J. A., Tranel, P. J., Hager, A. G., Schutte, B., Wu, C., Chatham, L. A. y Davis, A. S. (2016). Managing the evolution of herbicide resistance. *Pest Management Science*, *72*, 74-80. <https://doi.org/10.1002/ps.4009>
- ¹¹⁵⁰ Culpepper, A., Stanley, A., Timothy, L., Vencill, W., Kichler, J., Webster, T., Brown, S., York, A., Davis, J. y Hanna, W. (2006). Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Science*, *54*(4), 620-626.
- ¹¹⁵¹ Norsworthy, A., Jason, K., Lawrence, E. y Scott, R. (2010). Confirmation and Control of Glyphosate-Resistant Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*) in Tennessee. *Weed Technology*, *24*, 64-70. doi: 10.1614/WT-D-09-00019.1
- ¹¹⁵² Norsworthy, A., Jason, K., Lawrence, E. y Scott, R. (2010). *Ídem.*
- ¹¹⁵³ Legleiter, A., Travis, R., Kevin, W., Legleiter, T. R. y Bradley, K. W. (2008). Glyphosate and multiple herbicide resistance in common waterhemp (*Amaranthus rudis*) populations from Missouri. *Weed Science*, *56*(4), 582-587. doi: 10.1614/WS-07-204.1
- ¹¹⁵⁴ Kumar, V., Jha, P., Jugulam, M., Yadav, R. y Stahlman, P. W. (2019). Herbicide-resistant kochia (*Bassia scoparia*) in North America: a review. *Weed Science*, *67*, 4-15. doi: 10.1017/wsc.2018.72
- ¹¹⁵⁵ Okada, M., Hanson, B. D., Hembree, K. J., Peng, Y., Shrestha, A., Stewart, C. N., Wright, S. D. y Jasieniuk, M. (2015). Evolution and spread of glyphosate resistance in *Conyza bonariensis* in California and a comparison with closely related *Conyza canadensis*. *Weed Research*, *55*(2), 173-184. doi: 10.1111/wre.12131
- ¹¹⁵⁶ Amaral, G., Alcántara-de la Cruz, R., Martinelli, R., Rufino, L., de Carvalho, L. B., Alves, F. de A. y da Silva, M. F. das G. F. (2023). Occurrence of multiple glyphosate-resistant weeds in Brazilian citrus orchards. *AgriEngineering*, *5*(2), 1068-1078.
- ¹¹⁵⁷ Broster, J. C., Jalaludin, A., Widderick, M. J., Chambers, A. J. y Walsh, M. J. (2023). Herbicide resistance in summer annual weeds of Australia's northern grains region. *Agronomy*, *13*(7), 1862. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071862>.

Av. Insurgentes Sur No. 1582, Col. Crédito Constructor, CP. 03940, Benito Juárez, Ciudad de México.

Tel: (55) 5322 7700 www.conahcyt.mx





- ¹¹⁵⁸ Nandula, V. K., Montgomery, G. B., Vennapusa, A. R., Jugulam, M., Giacommi, D., Ray, J., Bond, J., Steckel, L. y Tranel, J. (2018). Glyphosate-resistant junglerice (*Echinochloa colona*) from Mississippi and Tennessee: magnitude and resistance mechanisms. *Weed Science*, 66(5), 603–610. doi: 10.1017/wsc.2018.51
- ¹¹⁵⁹ Mueller, T., Barnett, K., Brosnan, J. y Steckel, L. (2011). Glyphosate-Resistant Goosegrass (*Eleusine indica*) Confirmed in Tennessee. *Weed Science*, 59(4), 562–566. doi: 10.1614/WS-D-11-00063.1
- ¹¹⁶⁰ Zelaya, I. A., Owen, M. D.K. y Vangessel, M. J. (2004). Inheritance of evolved glyphosate resistance in *Conyza canadensis* (L.) Cronq. *Theoretical and Applied Genetics*, 110, 58–70. doi: 10.1007/s00122-004-1804-8
- ¹¹⁶¹ Jasieniuk, A., Ahmad, R., Sherwood, M., Firestone, J., Perez-Jones, A., Lanini, W., Mallory-Smith, C. y Stednick, Z. (2017). Glyphosate-resistant Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) in California : distribution , response to glyphosate , and molecular evidence for an altered target enzyme. *Weed Science*, 56(4). doi: 10.1614/WS-08-020.1
- ¹¹⁶² Simarmata, M. y Penner, D. (2008). The basis for glyphosate resistance in rigid ryegrass (*Lolium Rigidum*) from California. *Weed Science*, 56(2), 181–188. doi: 10.1614/WS-07-057.1
- ¹¹⁶³ Binkholder, K. M., Fresenburg, B. S., Teuton, T. C., Xiong, X. y Smeda, R. J. (2011). Selection of glyphosate-resistant annual bluegrass (*Poa annua*) on a golf course. *Weed Science*, 59(3), 286–289. doi: 10.1614/WS-D-10-00131.1
- ¹¹⁶⁴ Riar, D. S., Norsworthy, J. K., Johnson, D. B., Scott, R. C. y Bagavathiannan, M. (2011). Glyphosate resistance in a johnsongrass (*Sorghum halepense*) biotype from Arkansas, *Weed Science*, 59(3), 299–304. doi: 10.1614/WS-D-10-00150.1
- ¹¹⁶⁵ Heap, I. (2020). *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds* [Base de datos]. www.weedscience.org
- ¹¹⁶⁶ Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2020). *Op. Cit.*
- ¹¹⁶⁷ Landis, D. A., Gardiner, M. M., van der Werf, W. y Swinton, S. M. (2008). Increasing corn for biofuel production reduces biocontrol services in agricultural landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(51), 20552–20557. <https://doi.org/10.1073/pnas.0804951106>
- ¹¹⁶⁸ Constanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson, S., Kubiszewski, I., Faber, S. y Turner, R. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 125–156. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002
- ¹¹⁶⁹ Bowness, E., James, D., Desmarais, A. A., McIntyre, A., Robin, T., Dring, C. y Wittman, H. (2020). Risk and responsibility in the corporate food regime: research pathways beyond the COVID-19 crisis. *Studies in Political Economy*, 10(3), 245–263.
- ¹¹⁷⁰ Bowness, E., James, D., Desmarais, A. A., McIntyre, A., Robin, T., Dring, C. y Wittman, H. (2020). *Ídem.*
- ¹¹⁷¹ Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. (2020). *Op. Cit.*
- ¹¹⁷² Tittone, P., Fernandez, M., El Mujtar, V. E., Preiss, P. V., Sarapura, S., Laborda, L., Mendonça, M. A., Alvarez, V. E., Fernandes, G. B., Petersen, P. y Cardoso, I. M. (2021). Emerging responses to the COVID-19 crisis from family farming and the agroecology movement in Latin America—A rediscovery of food, farmers and collective action. *Agricultural Systems*, 190, 103098. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103098>
- ¹¹⁷³ Ferreira Rivaben, I., Rossi, V., Figari, M. y Chia, E. (2023). Identifying agroecological transition pathways based on the Global Approach to Agricultural Systems: the case of family livestock farmers in northern Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 27, e1069. doi: 10.31285/agro.27.1069
- ¹¹⁷⁴ Rice, A., Einbinder, N. y Calderón, C. (2022). 'With agroecology, we can defend ourselves': examining campesino resilience and economic solidarity during pandemic-era economic shock in Guatemala. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(2), 273–305. doi: 10.1080/21683565.2022.2140378
- ¹¹⁷⁵ Les, L., Sansolo, D. y Schiavinatto, M. (2022). EcoSol-agroecology networks respond to the Covid-19 crisis: building an economy of proximity in Brazil's Baixada Santista region. *The Journal of Peasant Studies*, 49(7), 1409–1445. doi: 10.1080/03066150.2022.2096447
- ¹¹⁷⁶ McMichael, P. (2009). A food regime analysis of the 'world food crisis'. *Agriculture and Human Values*, 26, 281–295.
- ¹¹⁷⁷ Beckie, H. J., Flower, K. C. y Ashworth, M. B. (2020). Farming without Glyphosate?. *Plants*, 9, 96. <https://doi.org/10.3390/plants9010096>
- ¹¹⁷⁸ Beckie, H. J., Flower, K. C. y Ashworth, M. B. (2020). *Ídem.*
- ¹¹⁷⁹ Bain, C., Selfa, T., Dandachi, T. y Velardi, S. (2017). 'Superweeds' or 'survivors'? Framing the problem of glyphosate resistant weeds and genetically engineered crops. *Journal of Rural Studies*, 51, 211–221.
- ¹¹⁸⁰ Bonny, S. (2016). Genetically modified herbicide-tolerant crops, weeds, and herbicides: overview and impact. *Environmental Management*, 57, 31–48.
- ¹¹⁸¹ Perry, E. D., Ciliberto, F., Hennessy, D. A. y Moschini, G. (2016). Genetically engineered crops and pesticide use in U.S. maize and soybeans. *Science Advances*, 2(8), e1600850. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600850>
- ¹¹⁸² Powles, S. B. (2008). Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science*, 64(4), 360–365. doi: 10.1002/ps.1525
- ¹¹⁸³ *Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed* [Base de datos]. (2021). *Weed Science*. <http://www.weedscience.org/Home.aspx>
- ¹¹⁸⁴ *Current Status of the International Herbicide-Resistant Weed* (2021). *Ídem.*
- ¹¹⁸⁵ Mesnage, R., B. Bernay y Séralini, G. E. (2013). *Op. Cit.*
- ¹¹⁸⁶ Heap, I. (2014). Global perspective of herbicide-resistant weeds. *Pest Management Science*, 70(9), 1306–1315.
- ¹¹⁸⁷ Powles, S. B. (2008). *Op. cit.*



- ¹¹⁸⁸ Bernasconi, C., Demetrio, P., Alonso, L., Mac Loughlin, T., Cerdá, E., Sarandón, S. y Marino, D. (2021). Evidence for soil pesticide contamination of an agroecological farm neighboring chemical-based production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 313, 107341. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107341>
- ¹¹⁸⁹ Universidad Nacional Autónoma de México y la Comisión Nacional de Derechos Humanos. (2018). *Estudio sobre la protección de ríos, lagos y acuíferos desde la perspectiva de los derechos humanos*. Coordinación de Humanidades.
- ¹¹⁹⁰ National Research Council. (2003). *Frontiers in Agricultural Research: Food, Health, Environment, and Communities* (pp. 38-66). National Academies of Sciences. <https://nap.nationalacademies.org/read/10585/chapter/1>
- ¹¹⁹¹ Pimentel, D. y Burgess, M. (2014). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. In D. Pimentel y R. Peshin (Eds.), *Integrated Pest Management* (pp. 47-71). Springer, Dordrecht.
- ¹¹⁹² Pimentel, D., Acquay, H., Biltonen, M., Rice, P., Silva, M., Nelson, J., Lipner, V., Giordana, S., Horowitz, A. y D'Amore, M. (1993). Assessment of environmental and economic impacts of pesticide use. In D. Pimentel y H. Lehman (Eds.), *The Pesticide Question: Environment, Economics and Ethics* (pp. 47-84). Chapman & Hall.
- ¹¹⁹³ Gilliom, R. J., Barbash, J. E., Crawford, C. G., Hamilton, P. A., Martin, J. D., Nakagaki, N., Nowell, L. H., Scott, J. C., Stackelberg, P. E., Thelin, G. P. y Wolock, D. M. (2007). *Pesticides in the nation's streams and ground water, 1992-2001*. US Geological Survey. <http://pubs.usgs.gov/circ/2005/1291/>
- ¹¹⁹⁴ Pimentel, D. y Greiner, A. (1997). Environmental and socio-economic costs of pesticide use. En D. Pimentel (Ed.), *Techniques for Reducing Pesticide Use: Environmental and Economic Benefits* (pp. 51-78). Wiley.
- ¹¹⁹⁵ García, D. R. (2007). Impacto social de la presencia de residuos químicos de síntesis en los productos de la colmena. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(10), 1-12.
- ¹¹⁹⁶ Barney, G. O. (1980). *The Report Global to the President 2000: Entering the 21st Century*. Pergamon Press.
- ¹¹⁹⁷ *Pesticides in public supply wells of Washington state*. (1995). USGS. <http://wa.water.usgs.gov/pubs/fs/fs122-96/>
- ¹¹⁹⁸ Shukla, G., Kumar, A., Bhanti, M., Joseph, P. E. y Taneja, A. (2006). Organochlorine pesticide contamination of ground water in the city of Hyderabad. *Environment International*, 32(2), 244-247.
- ¹¹⁹⁹ Trautmann, N. M., Porter, K. S., y Wagenet, R. J. (2012). *Pesticides and groundwater: A guide for the pesticide user*. Cornell University Cooperative Extension, Pesticide Safety Education Program (PSEP), Fact Sheet. <http://psep.cce.cornell.edu/facts-slides-self/facts/pest-gr-gud-grw89.aspx>.
- ¹²⁰⁰ Pimentel, D. y Pimentel, M. (2008). *Food, Energy, and Society* (3ª ed.). CRC Press.
- ¹²⁰¹ Greene, M. (1994). *The Rocky mountain arsenal: States' rights and the cleanup of hazardous waste*. Conflict Resolution Consortium. https://www.intractableconflict.org/www_colorado_edu_conflict/workpap/94-58.htm