

El ensamblaje del glifosato: herbicidas, desarrollo desigual y geografías químicas de la ubicuidad^{1*}

MARION WERNER. Departamento de Geografía, Universidad de Buffalo, Estados Unidos. | wernerm@buffalo.edu |  0000-0002-5000-3053

CHRISTIAN BERNDT. Departamento de Geografía, Universidad de Buffalo, Estados Unidos. | christian.berndt@geo.uzh.ch |  0000-0003-0955-6585

BECKY MANSFIELD. Departamento de Geografía, Universidad de Buffalo, Estados Unidos. | mansfield.32@osu.edu |  0000-0003-2120-462X

Fecha de recepción: 15 de agosto de 2025 / Fecha de aprobación: 3 de diciembre de 2025

RESUMEN

La ubicuidad de los químicos demanda nuevos modos de pensar acerca de los ensamblajes humano-naturaleza. Este artículo plantea un diálogo entre la economía política agraria, la investigación crítica de las cadenas de valor y las geografías químicas, por medio de un estudio de caso del agroquímico más ampliamente usado en el mundo: el glifosato. En los años 1980, el glifosato triunfó como un biocida benigno que prometía tanto seguridad como efectividad. Este constructo hizo posible un ensamblaje agrícola capitalista caracterizado por la omnipresencia química, primero como un remplazo químico del cultivo mecánico y desde los años 1990 como el insumo químico destinado a los paquetes de semillas genéticamente modificadas. La ubicuidad que caracteriza el ensamblaje del glifosato también es una geografía del desarrollo desigual que comprende redes empresariales, políticas y comercio cambiantes. Un aspecto central de este ensamblaje desde el 2000, aunque en gran medida ignorado, es la desmedida expansión de productores de pesticidas genéricos de segunda y tercera categoría, especialmente en China, para los cuales el glifosato es parte de la serie acciones de renovación y actualización de su estrategia de desarrollo. En este momento, la formulación del glifosato enfrenta retos sin precedentes por la resistencia de las malezas y por controversias de salubridad. Que el ensamblaje logre estabilizarse otra vez, y cómo lo haga, dependerá de los complejos retos ambientales y de desarrollo de la agricultura química, y del uso generalizado de

^{1*} Traducción de: Werner, M., Berndt, C., & Mansfield, B. (2022). The Glyphosate Assemblage: Herbicides, Uneven Development, and Chemical Geographies of Ubiquity. *Annals of the American Association of Geographers*, 112(1), 19–35. <https://doi.org/10.1080/24694452.2021.1898322>

Traducción a cargo de Ignacio Tomás Trucco y Manuel Trevignani. Revisión: Lucas Cardozo e Ignacio Trucco.

Para citar este artículo: Werner, M.; Berndt, C. y Mansfield, B. (2025). El ensamblaje del glifosato: herbicidas, desarrollo desigual y geografías químicas de la ubicuidad. *Revista Desarrollo, Estado y Espacio*, 4(2). (Julio–Diciembre) 2025. Santa Fe, Argentina. UNL. DOI: 10.14409/rdee.2025.2.e0076

químicos, cosa que destaca la necesidad de un diálogo transdisciplinario que se abra camino a través de esos dominios.

Palabras clave: Ensamblajes, herbicidas genéricos, redes de producción sur-sur, resistencia de las malezas, salud.

The Glyphosate Assemblage: Herbicides, Uneven Development, and Chemical Geographies of Ubiquity

ABSTRACT

The ubiquity of chemicals demands new ways of thinking about human-nature assemblages. This article proposes a dialogue between agrarian political economy, critical value chain research, and chemical geographies, through a case study of the world's most widely used agrochemical: glyphosate. In the 1980s, glyphosate triumphed as a benign biocide that promised both safety and effectiveness. This construct enabled a capitalist agricultural assemblage characterized by chemical omnipresence, first as a chemical replacement for mechanized farming and, since the 1990s, as the chemical input for genetically modified seed packages. The ubiquity that characterizes the glyphosate assemblage is also a geography of uneven development encompassing shifting business, political, and trade networks. A central, though largely overlooked, aspect of this assemblage since 2000 is the unchecked expansion of second- and third-tier generic pesticide producers, particularly in China, for whom glyphosate is part of a series of actions to renew and update their development strategy. Currently, glyphosate formulation faces unprecedented challenges due to weed resistance and health controversies. Whether and how this assemblage stabilizes again will depend on the complex environmental and developmental challenges of chemical agriculture and the widespread use of chemicals, highlighting the need for a transdisciplinary dialogue that can navigate these domains.

Keywords: Assemblages, generic herbicides, South-South production networks, weed resistance, health.

A reação em cadeia do glifosato: herbicidas, desenvolvimento desigual e geografias químicas da ubiquidade

RESUMO

A onipresença de produtos químicos exige novas formas de pensar as relações entre humanos e natureza. Este artigo propõe um diálogo entre a economia política agrária, a pesquisa crítica de cadeias de valor e as geografias químicas, por meio de um estudo de caso do agrotóxico mais utilizado no mundo: o glifosato. Na década de 1980, o glifosato triunfou como um biocida benigno que prometia segurança e eficácia. Essa construção possibilitou a formação de um conjunto agrícola capitalista caracterizado pela onipresença de produtos químicos, primeiro como substituto químico da agricultura mecanizada e, desde a década de 1990, como insumo químico para pacotes de sementes geneticamente modificadas. A onipresença que caracteriza o conjunto do glifosato é também uma geografia de desenvolvimento desigual, abrangendo redes comerciais, políticas e empresariais em constante transformação. Um aspecto central, embora amplamente negligenciado, desse conjunto desde 2000 é a expansão descontrolada de produtores de pesticidas genéricos de segunda e terceira linha, particularmente na China, para quem o glifosato faz parte de uma série de ações para renovar e atualizar sua estratégia de desenvolvimento. Atualmente, a formulação de glifosato enfrenta desafios sem precedentes devido à resistência de plantas daninhas e às controvérsias sanitárias. A estabilização desse conjunto de práticas dependerá dos

complexos desafios ambientais e de desenvolvimento da agricultura química e do uso disseminado de produtos químicos, o que destaca a necessidade de um diálogo transdisciplinar capaz de abordar essas questões.

Palavras-chave: Conjuntos de práticas, herbicidas genéricos, redes de produção Sul-Sul, resistência de plantas daninhas, saúde.

1. Introducción

En [Como resultado de nuestra lucha] quedó 2500 metros nomás sin fumigar. Hoy en día no se fumiga ahí pero después de que el 33% de la población tiene cáncer, y el 80% de los niños tienen agroquímicos en la sangre ... endosulfán, DDT, 2,4-D, glifosato. Mis hijas tienen todos esos agroquímicos, no solo un veneno, tienen un coctel de venenos. —Sofía Gatica, Madres de Ituzaingó (entrevista 9 de abril de 2018)

El fisiólogo de plantas (Dr. Douglas Baird) que evaluó los ensayos de campo en septiembre de 1970 quedó tan impresionado por los resultados que su informe a la gerencia se tituló “EUREKA”. —Franz, Mao y Sikorski (1997, 7)

El glifosato ha sido etiquetado como un “herbicida que aparece una vez cada siglo” (Duke y Powles, 2008). Lanzado en 1972 y comercializado en 1976 por Monsanto bajo el nombre comercial Roundup, el compuesto representaba una combinación aparentemente ideal de eficacia y seguridad. El glifosato fue el herbicida más eficaz sintetizado hasta la fecha, eliminando más plantas designadas como malezas que cualquier otro herbicida descubierto por la ciencia moderna de malezas (Zimdahl, 2010). Actuaba sistémicamente: se translocaba desde la superficie de las hojas por toda la planta y bloqueaba una vía clave de síntesis de aminoácidos (la vía del shikimato), lo que provocaba la muerte de la planta después de varios días. Dado que la enzima objetivo inhibida (EPSPS) y la vía asociada eran exclusivas de las plantas, los científicos de Monsanto afirmaron que la molécula no dañaría a los humanos ni a otros organismos no vegetales; también afirmaron que el glifosato no se bioacumulaba en mamíferos ni persistía en el suelo. Estas afirmaciones contrastaban marcadamente con los herbicidas ampliamente utilizados en ese momento, el 2,4-D y el *paraquat*, ambos tóxicos para los humanos y los animales. Además, algunos científicos argumentaron que era improbable que las plantas desarrollaran resistencia al glifosato porque solo un pequeño número de mutaciones individuales proporcionaban el rasgo, y lo hacían solo en niveles bajos y no estaban presentes en plantas silvestres (Heap y Duke, 2018). En efecto, “Eureka”.

Con estas garantías, el glifosato desplazó rápidamente a otros compuestos de la competencia y volvió redundante el conocimiento de los especialistas en malezas. El impacto económico fue asombroso. El glifosato se convirtió en el herbicida más vendido y rentable jamás comercializado (Zimdahl, 2010). Las ventas globales aumentaron más de dieciséis veces entre 1980 y 2018, representando casi el 20 por ciento del mercado de herbicidas y más del 8 por ciento de todo el mercado agroquímico para 2018. Las ventas de glifosato de ese año fueron casi seis veces mayores que las del siguiente herbicida más vendido (glufosinato) y superaron al insecticida y fungicida más vendido entre 3,3 y 3,8 veces, respectivamente (Phillips McDougall [PMD], 2019). Como analizamos a continuación, el glifosato (el compuesto material y la construcción ideacional de un biocida benigno) formó parte de (de hecho, hizo posible) un ensamblaje agrícola capitalista caracterizado por la ubicuidad química. Nuestro foco en el ensamblaje-glifosato está motivado en parte por el reciente debate público sobre dicho

compuesto, en el que se ha puesto de relieve este arreglo sionatural enfrentado a múltiples factores de estrés. El glifosato ha sido noticia desde 2015, cuando la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017) trastocó el ya tenso consenso científico sobre la seguridad del glifosato y lo declaró un "probable carcinógeno". El fallo alimentó un polémico debate público y científico, junto con la continuación de acciones legales en numerosas jurisdicciones sobre los daños atribuidos al glifosato (Cuhra, Bøhn y Cuhra, 2016; Myers, et al, 2016; Torretta, et al, 2018). La promesa de la eficacia futura de los biocidas también se ha derrumbado: aunque el glifosato controla más malezas que cualquier otro herbicida conocido, las malezas a su vez han desarrollado más estrategias para resistir al glifosato que contra cualquier otro herbicida (Heap y Duke, 2018).

En el corazón de los desafíos la promesa química gemela, de seguridad y eficacia, está la repetida omnipresencia del glifosato que, a su vez, plantea desafíos clave a los paradigmas de seguridad y riesgo que dominan la gestión de pesticidas. En menos de dos décadas, gran parte del planeta ha sido cubierto con una variedad de formulaciones de herbicidas a base de glifosato. En muchos lugares, estas aplicaciones se han superpuesto a paisajes y cuerpos ya cargados de químicos, como explicó Sofia Gatica, activista y líder comunitaria que lucha contra la fumigación con pesticidas en Argentina. El glifosato se articula con plantas ya resistentes a los herbicidas, creando "enredos simbióticos" de múltiples resistencias a los biocidas, las llamadas supermalezas, que han puesto en crisis al paradigma moderno y científico del control químico de malezas.

La inestabilidad del ensamblaje-glifosato centra la importancia de las "geografías químicas" como parte de un proyecto material y epistemológico más amplio para tender un puente entre el pensamiento dualista naturaleza-sociedad (Barry, 2017; Romero et al, 2017). Los debates sobre la naturaleza en el neoliberalismo y la problemática de la interfaz humano-planetaria señalada por varios conceptos de "-ceno" (Antropoceno, Plantacionoceno, etc.) llaman la atención sobre la "quimicalización de la vida" o la vida entendida "como la propiedad emergente de flujos complejos de sustancias químicas con gran complejidad temporal y espacial" (Romero et al, 2017, 167; ver también Heynen et al, 2007; Bigger et al, 2018). Es decir, la ubicuidad de las sustancias químicas, combinada con la creciente ansiedad que generan, exige nuevas formas de pensar sobre los ensamblajes entre el ser humano y la naturaleza y sus límites. Las sustancias químicas no son compuestos externos que actúan sobre el cuerpo; más bien, las moléculas químicas son agentes transformadores que se entrelazan en el cuerpo y el entorno y, como tales, tienen amplios efectos sobre la salud ambiental y humana (Guthman y Mansfield, 2013; Romero et al, 2017). La prominencia del glifosato lo hace central en estas nuevas geografías químicas, que consideramos como relaciones materiales distintas que dan forma al capitalismo geopolítica y geoeconómicamente.

Centrar la atención en el ensamblaje del glifosato requiere un cambio clave en el estudio de los pesticidas. Gran parte del trabajo crítico de las ciencias sociales en esta área se ha realizado desde una perspectiva de la ecología política que se ha centrado principalmente en la toma de decisiones de los agricultores en el contexto de las fuerzas del mercado global y la promoción estatal de la intensificación del capital (p. ej., Thrupp, 1990; Grossman, 1998; Galt, 2014; Shattuck, 2019). Esta investigación ha demostrado que las empresas agroquímicas y sus agentes en el terreno, así como los vendedores minoristas de pesticidas, proporcionan la mayor parte de la asistencia técnica a los agricultores, especialmente después del desmantelamiento de los programas estatales de extensión bajo el ajuste estructural neoliberal (Conroy, Murray y Rosset, 1996; Aga, 2018). Ampliamos esta agenda de investigación al trasladar nuestro enfoque analítico de los plaguicidas como insumos en las cadenas de productos agrícolas, al conjunto de plaguicidas en sí. Nuestro objetivo no es ignorar la importancia del nexo semilla-químico y las controversias relacionadas con los organismos genéticamente modificados (Kloppenborg [1988] 2004; Schurman y Munro, 2013), sino añadir una perspectiva, hasta la fecha poco explorada, que

se ofrece a través del lente de la propia sustancia química (véase también Shattuck, 2021). Como demostramos a continuación, la dinámica inicial de la producción y el comercio de glifosato puede ayudar a explicar la lógica y los impactos del “capital extra agrícola” (Galt, 2014), parte de una ecología política industrial (por ejemplo, Huber, 2017) que puede impulsar una agenda más amplia de investigación sobre pesticidas.

Para emprender este estudio crítico del glifosato como producto básico, combinamos las perspectivas del estudio de Guthman (2019) sobre los ensamblajes agrícolas de base química con perspectivas relacionadas con las geografías de la mercantilización (= geographies of marketization). Basándose en estudios científicos de ecología política, Guthman conceptualizó los biocidas como condiciones materiales e ideológicas de posibilidad para los acuerdos de empresas, granjas, mano de obra, plantas, suelos, patógenos y conocimiento. Guthman nos recordó que los ensamblajes sociotécnicos son siempre logros precarios que implican una enorme cantidad de “trabajo de estabilización” que solo puede tener éxito temporalmente. Cada “reparación” biotécnica crea nuevos problemas (o exacerba los antiguos), que luego requieren renovados esfuerzos de estabilización: una versión del daño “iatrogénico” que requiere la reparación de la reparación. Sin embargo, la forma en que los elementos del ensamblaje co evolucionan con cada reparación restringe las posibilidades de nuevas reparaciones. Fundamentalmente, dado que el conocimiento es parte de estos ensamblajes, también está restringido. Guthman (2019), con acierto, denominó esto “tecnologías de reparación [que] generan ignorancia sobre los problemas que inducen” (23). Esto coincide con el planteamiento de Callon (1998, 2007) las nociones de “encuadramiento” (= framing) y “desbordamiento” (= overflow). El encuadramiento reúne y entrelaza la gran cantidad de elementos y agentes que componen los ensamblajes de productos básicos; por ejemplo, los elementos necesarios para producir herbicidas, distribuirlos y utilizarlos. Sin embargo, el encuadramiento es un proceso delicado e incompleto que puede escapar al control, lo que deriva en el “desbordamiento”. Esta inestabilidad inherente no solo requiere una estabilización constante, sino que puede generar crisis y esfuerzos para re encuadrar (contener el desbordamiento) de modo que la entidad en cuestión pueda estabilizarse de nuevo (véase también Berndt y Boeckler, 2020). El crecimiento fenomenal del glifosato refleja claramente esta dinámica de estabilización y desestabilización. Las afirmaciones de eficacia y seguridad que sustentan su ubicuidad estabilizaron un conjunto de herbicidas que se había visto desestabilizado por la toxicidad y selectividad de herbicidas más antiguos, y es la ubicuidad del glifosato la que ahora está erosionando estas afirmaciones. Sin embargo, no está claro cómo reparar esta situación.

Argumentamos que la ubicuidad del glifosato y sus crisis emergentes existen no solo debido a la transformación en las prácticas agrícolas iniciadas y desarrolladas con el glifosato, sino también debido a las innumerables maneras en que la producción extra agricultura, los mercados y el comercio del glifosato en sí mismo, dan forma a un ensamblaje de conjunto. Ponemos luz sobre las aspiraciones de desarrollo no solo de los agricultores de ingresos bajos y medios del Sur Global, sino también del capital agroquímico y del Estado. Es decir, la ubicuidad química que caracteriza al glifosato es también una geografía de desarrollo desigual que comprende redes empresariales, políticas estatales y relaciones comerciales cambiantes. Nuestro enfoque destaca la mercantilización del glifosato como un proceso contradictorio y siempre incompleto impulsado por exclusiones, devaluaciones y lógicas más allá de lo económico que reconfiguran las geografías del desarrollo desigual (véase Werner, 2016; Berndt, Peck y Rantisi, 2020; Berndt, Werner y Fernández, 2020).

En lo que sigue, examinamos al glifosato como un conjunto socio natural entendido como una disposición (espacial) de elementos heterogéneos que entrelazan sustancias químicas, tecnologías de producción, empresas agroquímicas y estrategias corporativas con cultivos, ciencia de semillas, regulación estatal y métodos de producción agrícola (Guthman, 2019). Nuestro análisis se basa en literatura secundaria en ciencia de malezas y toxicología,

estadísticas comerciales oficiales de las Naciones Unidas (ONU) y datos e informes patentados de la industria (es decir, datos de PMD). Mapeamos el surgimiento del ensamblaje-glifosato a lo largo de sus cincuenta años de historia, vinculado a prácticas agrícolas cambiantes, tecnologías y luchas por el conocimiento. Luego discutimos el descubrimiento del glifosato, la implementación de métodos de labranza cero en la década de 1980 y la introducción, en la década de 1990, de paquetes de semillas genéticamente modificadas (HT-GM) tolerantes a herbicidas. A continuación, analizamos la expiración de patentes después de la década de los 2000 y cómo la producción masiva de glifosato permite la transición agraria en el Sur Global y las nuevas relaciones políticas económicas sur-sur de producción y comercio de pesticidas. Desbordamientos materiales, las interrupciones, emergentes como cánceres y supermalezas, y las luchas por el conocimiento sobre estos procesos se entrelazan a través de cada una de estas fases y dando forma a un ensamblaje resultante. A continuación, abordamos las dimensiones materiales y las luchas por el conocimiento en torno a la resistencia y toxicidad de las malezas, teorizando cómo los agentes clave colaboran para estabilizar el ensamblaje-glifosato global en tiempos de crisis. En resumen, argumentamos que el ensamblaje-glifosato en su conjunto ha propiciado la expansión global de la agricultura intensiva en productos químicos de alto rendimiento, y que son los actuales desbordamientos y los daños iatrogénicos del conjunto los que lo han puesto en crisis. Queda por ver si esto conduce a reparaciones que restauren el conjunto o si se requiere cambios más amplios en estas geografías agroquímicas de desarrollo desigual.

2. La creación del ensamblaje-glifosato: siembra directa y semillas transgénicas

A juzgar por las cifras, los herbicidas han sido el claro ejemplo del éxito de la industria agroquímica durante el último medio siglo. El auge y la disponibilidad del glifosato han desempeñado un papel fundamental en este cambio (Magin, 2003 ; Zimdahl, 2010). A nivel mundial, el uso de herbicidas ha aumentado rápidamente, representando el 42 por ciento del mercado mundial de plaguicidas en 2018 en términos de valor, superando ampliamente la participación de los insecticidas (28 por ciento) y fungicidas (27 por ciento; PMD, 2019). Sin embargo, enfocarse en los herbicidas como clase oscurece el cambio clave en su uso a lo largo del tiempo. Antes de la década de 1960, los herbicidas eran selectivos, dirigidos a especies de hoja ancha, gramíneas o leñosas. La selectividad de las especies no se tradujo en un uso selectivo *per se*. De hecho, el herbicida 2,4-D, un biocida para hojas anchas, inauguró la aplicación militar generalizada de herbicidas en la guerra, primero por los británicos en Malasia y luego por los Estados Unidos en Vietnam, donde se mezcló con 2,4,5-T para fabricar el Agente Naranja. En la década de 1950, la británica Imperial Chemical Industries sintetizó y comercializó paraquat (y el diquat relacionado), los primeros herbicidas no selectivos, que cambiaron el uso desde la aplicación selectiva para clases específicas de malezas hacia la aplicación general para nuevos métodos de cultivo sin labranza y cambio en el uso de la tierra (p. ej., restauración de tierras para pastos o pastoreo; Zimdahl, 2010). La siembra directa permite sembrar directamente después de la cosecha o en barbechos sin necesidad de arar ni rastrillar. Conocida a menudo como *labranza de conservación* por sus defensores, esta técnica reduce la erosión del suelo y el laboreo mecánico intensivo en combustible. En la década de 1970, se estaban realizando experimentos de siembra directa con paraquat en sistemas agrícolas expansivos en contextos coloniales, y los programas de ayuda británicos distribuyeron paraquat generosamente a los países en desarrollo para reducir el gasto en mano de obra (Grossman, 1998 ; Wesseling, Corriols y Bravo, 2005). Sin embargo, la aplicación al voleo de paraquat y diquat en grandes extensiones de tierra tenía limitaciones debido a la toxicidad aguda de los compuestos y su impacto ambiental. Hoy en día, el paraquat sigue siendo un pesticida común utilizado por

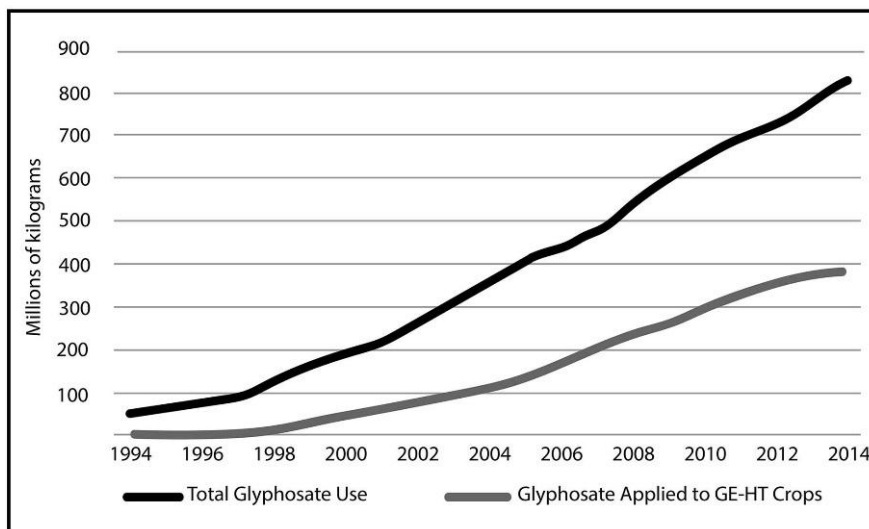
pequeños agricultores del Sur Global, se asocia con miles de muertes (en su mayoría intencionales) y ha sido prohibido en muchos países (Grossman, 1998 ; Wesseling y otros, 2001 ; Wesseling, Corriols y Bravo, 2005 ; Red de Acción contra los Pesticidas [PAN] 2020).

El glifosato facilitó la expansión de los métodos de siembra directa. Descubierta por un químico suizo en la década de 1950, el novedoso compuesto cambió de manos varias veces, pero no se comercializó hasta que un químico estadounidense de Monsanto descubrió la actividad herbicida en variantes de derivados de fosfonato de la glicina en 1970. Tras el éxito de las pruebas de laboratorio y de campo, el glifosato fue patentado en 1971 y posteriormente comercializado por Monsanto bajo el nombre comercial Roundup. Debido a su elevado precio, inicialmente se utilizó principalmente para controlar gramíneas perennes difíciles (Magin, 2003). Sin embargo, a medida que el precio disminuyó, desplazó rápidamente al paraquat y al diquat en la agricultura sin labranza, mientras dicho método se expandía en la década de 1980 en los Estados Unidos y posteriormente en América Latina (principalmente Brasil y Argentina).² En Brasil y Argentina, la agricultura sin labranza fue uno de varios cambios tecnológicos críticos antes de la introducción de cultivos HT-GM (tolerantes a herbicidas, modificados genéticamente) que ampliaron la frontera agrícola en la sabana que se extiende en la región del *cerrado*, y en ecosistema del *gran chaco*, respectivamente (Martínez Dougnac, 2016; Cáceres, 2018). En Estados Unidos, los métodos de siembra directa facilitados por el glifosato junto con mejoras en la maquinaria llevaron a una disminución del 30 por ciento en el consumo de energía agrícola en las décadas de 1980 y 1990 (Elmore, 2018). El área mundial total de glifosato aplicado aumentó a 70 millones de hectáreas a mediados de la década de 1990, lo que refleja la expansión de los métodos de siembra directa antes del lanzamiento de semillas HT-GM comerciales (Woodburn, 2000). El glifosato pronto se convertiría en sinónimo de paquetes de semillas HT-GM, y la agricultura de siembra directa siguió siendo una práctica importante que formaría parte tanto de los sistemas agrícolas GM como, de un modo más amplio, de la agricultura de cereales y cultivos en hileras.

El glifosato es un elemento clave que impulsa un conjunto sociotécnico más amplio que organiza métodos específicos de producción agrícola y conocimientos biotecnológicos. Se ha escrito mucho sobre la invención de los cultivos transgénicos por parte de los científicos de Monsanto y el establecimiento del paquete tecnológico con glifosato, introducido comercialmente en Estados Unidos y Argentina en 1996. Elmore (2018) argumentó que este cambio hacia la biotecnología por parte de Monsanto reflejaba una crisis más amplia en una industria química que hasta entonces dependía en gran medida del procesamiento de subproductos del petróleo obtenidos a bajo precio. En 1980, las ganancias netas de la compañía se redujeron a la mitad, ya que las repercusiones de las crisis petroleras llevaron a un aumento en el precio de los compuestos derivados del petróleo y a la integración hacia adelante por parte de las grandes petroleras que buscaban obtener ganancias de los subproductos (Elmore, 2018). En ese momento, Monsanto era el mayor productor y el de menor costo de nitrato de amonio (fertilizante) y vendía pesticidas ampliamente utilizados en el Medio Oeste de Estados Unidos. (DDT, 2,4-D, 2,4,5-T y parationes; Magin, 2003). La empresa se desprendió rápidamente de sus propios activos de combustibles fósiles y de la producción de estos productos químicos primarios de bajo valor ('commodity chemicals'), mientras se orientaba hacia el desarrollo biotecnológico. El científico principal del nuevo esfuerzo de investigación biotecnológica de Monsanto dijo a los accionistas en 1982 que los nuevos productos serían "menos dependientes de los costos de las materias primas" y tendrían "un marcado carácter de propiedad". (citado en Elmore, 2018, 162).

² Los precios al consumidor final variaron considerablemente entre países. Promediando los principales mercados nacionales, Woodburn (2000) documentó una disminución de US\$33,99/kg de glifosato técnico a US\$22,12/kg entre 1991 y 1997.

Figura 1. Uso total de glifosato, 1994 a 2014.



Nota: GE-HT = tolerante a herbicidas genéticamente modificados.

Fuente: Adaptado de Benbrook (2016, S24).

Estos esfuerzos dieron sus frutos a mediados de la década de 1990, cuando Monsanto introdujo semillas HT-GM de alta tolerancia al glifosato que se comercializaron como "Roundup Ready". La introducción de estas semillas de soja, maíz y algodón tolerantes al glifosato en las principales regiones de producción de América del Norte (Estados Unidos), América Latina (Brasil y Argentina) y Asia Oriental (China e India) sustentó un ensamblaje sociotecnológico muy potente que impulsó aún más el drástico crecimiento del uso del glifosato durante la década de 2000 (véase Figura 1). Un efecto adicional fue un cambio en el mercado de herbicidas, que se alejó de los herbicidas de amplio espectro, como el paraquat, y aún más de las sustancias selectivas más costosas, como los herbicidas a base de urea (p. ej., el diurón, utilizado principalmente para el algodón). En particular, la nueva clase de sulfonilureas, que competía directamente con el glifosato en el sector de la soja y el maíz, se vio gravemente limitada por el avance triunfal del ensamblaje semilla-glifosato-siembra directa (Zimdahl, 2010 ; PMD, 2019). Estas crecientes tensiones competitivas en el mercado obligaron a los productores de agroquímicos a redefinir su posición estratégica frente a Monsanto. La sustitución de numerosos herbicidas por glifosato y su vinculación con el lucrativo mercado de semillas transgénicas impulsaron a un número cada vez mayor de empresas agroquímicas a reorientar sus presupuestos de investigación y desarrollo (I+D), desde el descubrimiento de herbicidas hacia el desarrollo de distintos tipos de semillas transgénicas e híbridas (Green, 2018).

Si bien Monsanto se deshizo de muchos de sus herbicidas comerciales en la década de 1980, el glifosato siguió siendo su producto más rentable y, en sus diversas formas químicas, impulsó la expansión verticalmente integrada de la capacidad de fabricación. En la década de 1990, la producción de bienes intermedios clave se internalizó y la empresa aumentó la extracción en su mina de fosfato de su propiedad en Soda Springs, Idaho (Woodburn, 2000; Elmore, 2018). La empresa mantuvo suficiente capacidad de fabricación para abastecer el mercado mundial desde cinco plantas en Estados Unidos, Bélgica, Malasia, Brasil y Argentina (Woodburn, 2000).³

³ Aunque no se disponía de datos precisos sobre la capacidad instalada de Monsanto, Woodburn (2000) registró que Monsanto tenía una capacidad anual para producir al menos 140.000 toneladas del intermediario clave tricloruro de fósforo en sus instalaciones de Luling, Luisiana, a mediados de los años 1990.

Aunque la capacidad instalada de Monsanto era significativamente mayor que la de sus competidores, la expiración de las patentes específicas de cada país, los acuerdos de licencia y la producción de genéricos sin licencia ya estaban en marcha a mediados de la década. Unos trece fabricantes contaban con una capacidad instalada de 1.000 toneladas anuales o más en 1998, con sede en Taiwán, Bélgica, Dinamarca, Hungría, Corea del Sur, Taiwán y el Reino Unido. Una gran planta entró en funcionamiento en China e instaló una importante capacidad de producción adicional a través de un gran número de pequeñas empresas (entre veinte y cuarenta en China; Woodburn, 2000). Sin embargo, la geografía de la producción y el uso del glifosato, así como las políticas de valor, cambiarían radicalmente en el nuevo milenio.

3. Transformaciones agrarias, redes de producción de herbicidas y nuevas geografías desiguales del desarrollo

Un aspecto central del capítulo más reciente en el contexto del glifosato es la drástica expansión, no solo del uso, sino también de la producción de herbicidas en el Sur Global y Europa del Este. Sin duda, la intensificación de los agroquímicos ha sido durante mucho tiempo sinónimo de la expansión de la agricultura capitalista en el Sur Global. Ha sido parte integral de las políticas de desarrollo dominantes, ya sea bajo regímenes de sustitución de importaciones promovidos por el Estado y movilizados por la Revolución Verde, o bajo el posterior ajuste estructural y la formación de cadenas de suministro agrícolas dirigidas por los consumidores. En relación con esta trayectoria más larga de apropiacionismo a través de los productos químicos (Goodman, Sorj y Wilkinson, 1987), las tendencias actuales en materia de glifosato están marcadas tanto por su ubicuidad global (es decir, un volumen sin precedentes de uso de herbicidas) como por nuevas y sorprendentes geografías de producción, comercio y consumo.

Una serie de estudios en distintos contextos han observado aumentos significativos en el volumen del uso de herbicidas en el nuevo milenio: un aumento del 50 por ciento en los estados miembros posteriores a la ampliación de la Unión Europea (UE) (Bonanno et al, 2017), 250 por ciento en la India (desde 2005; Das Gupta et al, 2017), veinticinco veces en China (Huang, Wang y Xiao, 2017), y veinte veces en Etiopía (Tamru et al, 2017). Varios factores impulsan esta “revolución de los herbicidas” en los países de ingresos medios (Haggblade et al, 2017). Ante el aumento de los costos laborales rurales y el empleo fuera de las explotaciones agrícolas en el Sur Global, el uso de herbicidas económicos reduce significativamente la demanda de deshierbe costoso y laborioso (Gianessi, 2013; véase también Schreinemachers y Tipraqsa, 2012; Hedlund, Longo y York, 2020). El uso de herbicidas también se ha acelerado en los países de Europa del Este tras la apertura de los mercados después de 1989, sobre todo en Ucrania y Rusia. Esta revolución de los herbicidas se ha producido incluso en muchos países, como China, que han aprobado unos pocos cultivos HT-GM.⁴ Por lo tanto, gran parte del aumento refleja la aplicación convencional de glifosato como herbicida de amplio espectro entre los ciclos de cultivo y en la expansión de los métodos de siembra directa, y mientras las tecnologías HT-GM continúen extendiéndose, es esperable una adopción aún más amplia (Benbrook, 2016).

La revolución observada de los herbicidas no se limita a su rápida adopción, sino que también comprende nuevas redes de producción Sur-Sur y Sur-Norte (véase también Shattuck, de próxima publicación). Estas nuevas redes suministran herbicidas de bajo costo sin patente en grandes volúmenes, y el glifosato es el principal de ellos. Esta reorientación fundamental de las redes de producción hacia el Sur Global es quizás la mayor sorpresa, dado que las interpretaciones convencionales, tanto en la corriente principal como en la perspectiva crítica de la literatura

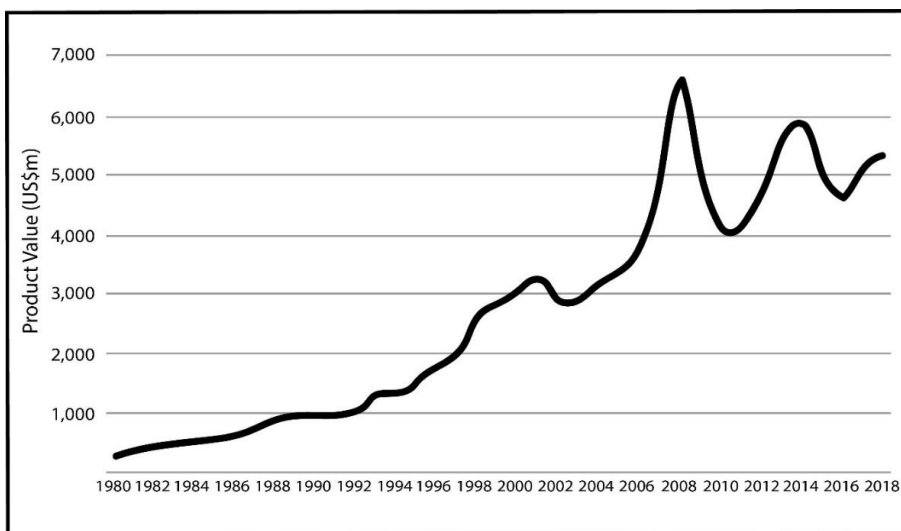
⁴ China es un importante productor de algodón transgénico HT, pero el único otro cultivo transgénico que el gobierno ha aprobado es la papaya (Personal del Servicio Agrícola Exterior 2017).

sobre el desarrollo, se presuponen relaciones Norte-Sur geográficamente estancadas (Horner y Nadvi, 2018). Este cambio es evidente en los datos comerciales oficiales, que muestran que las exportaciones mundiales de herbicidas casi se cuadruplicaron en volumen entre 2000 y 2017; este incremento fue un 30 por ciento más que todas las demás exportaciones de pesticidas (UN COMTRADE 2020). Los mercados "emergentes" son ahora los principales productores y exportadores de herbicidas. En 2018, cuatro de los diez principales exportadores mundiales de herbicidas (por volumen) eran economías "emergentes": China (1), India (5), Malasia (7) e Irlanda (10), seguidas de Argentina (11), Hungría (13), Polonia (14) y Sudáfrica (15; UN COMTRADE 2020). Entre estos países, China e India se destacaron como exportadores importantes tanto a países "emergentes" como a países de altos ingresos para una variedad de pesticidas, incluidos el glifosato técnico (es decir, ingredientes activos [IAs]) y los productos formulados. Fuentes de la industria estiman que más de 2.500 fabricantes de pesticidas operaban en China en 2013, produciendo más de 300 IAs y 3.000 formulaciones (Han, 2014). Sorprendentemente, China representó el 46 por ciento de todas las exportaciones mundiales de herbicidas en 2018, mientras que Estados Unidos, el segundo mayor exportador, representó solo el 9 por ciento (UN COMTRADE 2020).

Esta concentración de capacidad productiva en China es el resultado de una historia más compleja de reestructuración industrial y reorganización de la red de producción durante las dos décadas anteriores. Un punto de inflexión para la expansión del uso de herbicidas fue el año 2000, cuando expiró la patente final de Monsanto sobre el glifosato y los productores de genéricos expandieron la producción de glifosato IA y formularon nuevos herbicidas a base de glifosato (GBH) más económicos.⁵ Como era de esperar, esto tuvo efectos inmediatos a la baja en los precios globales. Al mismo tiempo, tras haber adoptado medidas para reducir los costos de producción, anticipándose a la competencia de los genéricos, Monsanto continuó fabricando IA y fórmulas de marca como un "productor propietario sin patente". La magnitud de la caída de los precios se puede ilustrar en Argentina, donde la patente del glifosato expiró anticipadamente en 1987. Los precios bajaron de US\$40 por litro a principios de la década de 1980 a alrededor de US\$10 a principios de la década de 1990 y a US\$3 en 2000 (Trigo et al, 2003). Las ventas de glifosato se dispararon como resultado (Figura 2), reflejando los espectaculares aumentos de volumen observados anteriormente, hasta la Gran Recesión de 2008 y 2009, que inició un período de volatilidad tanto en las ventas como en los precios vinculado a la variabilidad de los mercados de cultivos y la producción china de glifosato técnico (Shoham, 2015). En ese momento también surgieron nuevos desafíos a la promesa de seguridad y eficacia del biocida benigno, a los que volveremos en la siguiente sección.

⁵ Los productores genéricos normalmente se definen como empresas que fabrican IA o formulaciones que fueron investigadas, desarrolladas o introducidas por primera vez por otra empresa y atribuyen la mayoría de sus ventas a productos que no están patentados.

Figura 2. Ventas mundiales de glifosato, 1980 a 2018.



Fuente: Adaptado de datos proporcionados en comunicación con Phillips McDougall.

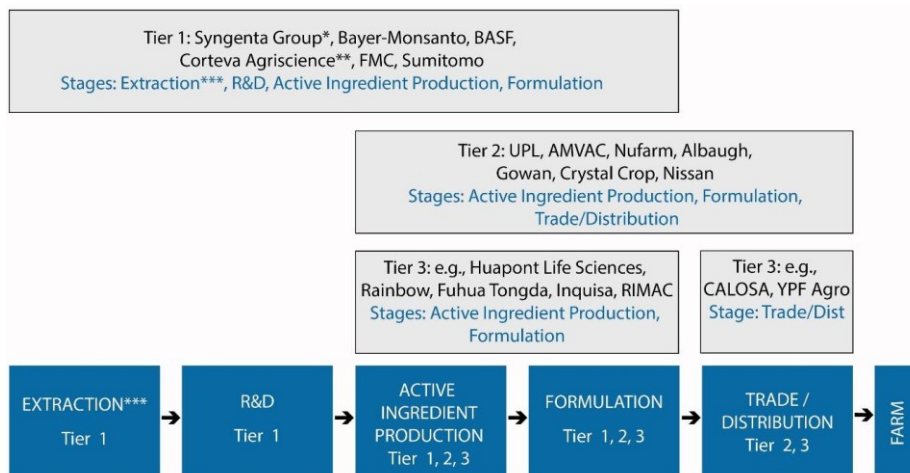
La transformación del glifosato de un producto protegido por patente a una materia prima de mercado requirió una profunda rearticulación de las redes globales de producción, distribución y uso. La disponibilidad de productos más económicos generó una mayor demanda en mercados emergentes más sensibles a los precios, donde los genéricos representan una proporción cada vez mayor del consumo total de pesticidas. Esto brindó una oportunidad para las empresas de segundo y tercer nivel, ya sea vendiendo directamente en estos mercados o beneficiándose de las estrategias de reducción de costos de las antiguas empresas de primer nivel, titulares de patentes (por ejemplo, externalización, licencias, desinversión; Skernivitz, 2019). Las empresas de China y, en menor medida, de la India han desempeñado un papel dominante —y cambiante— en estas transformaciones en la división organizacional y espacial del trabajo.

Inicialmente, las capacidades de producción en China y otros países "emergentes" se utilizaron para adquirir IA técnica y productos intermedios a precios más bajos en relaciones con proveedores cautivos, denominadas "fabricación por encargo" en la industria. Algunas de las empresas de genéricos más grandes, como Arysta LifeScience, con sede en EE. UU. (ahora propiedad de la empresa india UPL) y la firma israelí de genéricos Makhteshim Agan Industries (adquirida por ChemChina y rebautizada como Adama), adoptaron este enfoque de bajo uso de activos para externalizar la producción a empresas más pequeñas en China (y posteriormente también en India). Por lo tanto, las exportaciones chinas estaban dominadas por la "materia prima" menos rentable en las cadenas de suministro de agroquímicos, compuesta casi exclusivamente por IA genéricos. Coincidiendo con el vencimiento de la patente de Monsanto para el glifosato, el gobierno nacional chino facilitó este desarrollo con un programa discriminatorio de devolución de impuestos a la exportación sobre productos pesticidas clave para otorgar a los productores una posición favorable en el mercado global. Los IA "puros" recibieron mayores devoluciones que las formulaciones, lo que proporcionó a las empresas importadoras internacionales material económico que podía reprocesarse en formulaciones de mayor valor y exportarse con un margen de beneficio considerable. Junto con la mano de obra de bajos salarios, la fácil disponibilidad de capital y los estándares ambientales relativamente laxos, posicionó rápidamente a la industria de pesticidas de China como el proveedor clave de IA de herbicidas sin patente a nivel mundial (ChinaAg, 2018).

Después de que las empresas chinas se convirtieran en proveedores indispensables de "productos químicos primarios" de bajo valor, el Estado chino cambió de táctica y se embarcó en una estrategia de modernización a principios de la década de 2010. La estrategia coincidió con la sobreproducción mundial y una caída del precio del glifosato después de la crisis financiera y encajó con la estrategia de "salida" de China, en la que la modernización de la capacidad de producción nacional se acompañó de una importante inversión extranjera directa (McMichael, 2020). El gobierno chino buscó una reducción considerable del número de empresas agroquímicas y la consolidación de un pequeño número de empresas de pesticidas internacionalmente competitivas o, mejor aún, grandes conglomerados. La reestructuración liderada por el Estado se conectó con tres objetivos clave de modernización que se lograron al menos parcialmente: (1) aumentar las exportaciones de productos terminados y formulados en comparación con los IA; (2) dirigirse a los usuarios de alto nivel en la UE y América del Norte; y (3) desarrollar marcas y alejarse de las exportaciones orientadas a la cantidad (Han, 2014). En relación con estos cambios, el estado introdujo regulaciones ambientales más estrictas que llevaron a medidas enérgicas contra fabricantes más pequeños, cierres y fusiones y reubicaciones forzosas. En conjunto, estas prácticas redujeron la capacidad de producción de glifosato AI chino de aproximadamente 940.000 toneladas en 2014 a aproximadamente 725.000 toneladas en 2018, lo que desaceleró el crecimiento de las exportaciones de glifosato y elevó los precios a nivel mundial. Para poner la capacidad china de glifosato en perspectiva, en 2016 se estimaba que China aún representaba aproximadamente el 70 % de la producción mundial de glifosato (ChinaAg, 2018; PMD, 2019; Rana, 2020).

La reestructuración del sector de pesticidas de China también provocó una reorganización global de la industria. Las fluctuaciones generales de los precios, la competencia de genéricos y los altibajos en los principales mercados de productos primarios agrícolas llevaron a una oleada de fusiones y adquisiciones (F&A) en la industria agroquímica. Para 2015, el número de empresas de primer nivel se redujo a seis; desde entonces, otras F&A redujeron ese número a solo cuatro empresas globales: Syngenta Group (dominado por ChemChina), Bayer-Monsanto, Corteva Agriscience (fusión entre Dow y DuPont) y BASF. La adquisición de Syngenta por ChemChina fue la mayor fusión en la historia de China. Inmediatamente después de estas F&A ampliamente difundidas, un grupo de empresas de segundo nivel se consolidó, incluidas Sumitomo Chemical (Japón), Nufarm (Australia), FMC Corporation (Estados Unidos), United Phosphorous Limited (India) y varias empresas chinas, incluidas Nutrichem, Red Sun, Shandong Weifang Rainbow y Yangnong. Un mayor número de empresas especializadas conforman un tercer nivel, que incluye empresas en un panorama en constante evolución de productores y formuladores de grado técnico en China, India y otras economías emergentes. Estas empresas incluyen Huapont Life Sciences, Fuhua Tongda, Jiangsu Huifeng, Sichuan Leshan Fuhua, Wynca, Lier y Kumiai Chemical (ChinaAg, 2018; PMD, 2019; ver Figura 3). Los herbicidas, principalmente el glifosato, desempeñan el papel más importante en las carteras de estas empresas chinas de tercer nivel.

Figura 3. Representación esquemática de la red de producción de herbicidas genéricos.



Nota: *Incluye ChemChina, Sinochem y Adama. **Dow/DuPont. ***La relación de las empresas agroquímicas con la extracción de recursos requiere mayor investigación. Sobre la propiedad de Bayer-Monsanto de una mina de fosfato elemental, véase Elmore (2018).

Estas fusiones y adquisiciones, y las desinversiones que las acompañaron, dieron lugar a cambios en las cadenas de suministro que reconfiguraron geografías con un desarrollo desigual. El reposicionamiento estratégico del sector en China, ya mencionado, brindó a las empresas indias la oportunidad de ocupar los niveles inferiores de la red. Posteriormente, la producción india de agroquímicos aumentó un 64% entre 2007 y 2017 (Shan, 2019). Además de UPL, empresas más pequeñas como Coromandel, Punjab Chemicals e Indogulf se posicionaron para beneficiarse al asumir la producción ante el aumento de los costos de producción, las regulaciones más estrictas y la consolidación impulsada por el Estado en China. Como resultado, los productores indios casi triplicaron sus exportaciones a otros mercados asiáticos, Latinoamérica y África entre 2012 y 2017 (UN COMTRADE, 2020). Además de ser uno de los mercados de agroquímicos de más rápido crecimiento, las empresas chinas utilizan a los productores indios como fuentes alternativas de productos técnicos e intermedios y colaboran en el desarrollo de nuevos productos y formulaciones (PMD, 2012; Shan, 2019). De esta manera, ha surgido un patrón complejo a nivel mundial en el que los productos (IA y formulaciones) se trasladaron entre empresas de diferentes niveles al plano regional, lo que implicó desinversiones y adquisiciones, así como licencias cooperativas, acuerdos de subcontratación en cascada y el control indirecto y directo de los canales de comercialización en regiones clave como América Latina.

Nuestro análisis de informes de la industria y el comercio señala tres tendencias clave en el desarrollo reciente de la red de producción de herbicidas. En primer lugar, la producción de IA se ha desplazado en gran medida hacia el Sur Global, con China como destino clave e India desempeñando un papel cada vez más destacado. Esto ha venido acompañado de una oleada de transacciones en las que empresas consolidadas venden sustancias más antiguas a empresas genéricas más pequeñas con mayor presencia de producción en estos países. En estas transacciones, las sustancias cambian de manos repetidamente, incluyendo muchas identificadas como altamente peligrosas por instituciones como la PAN.⁶ Estas desinversiones

⁶ Un ejemplo reciente es el metsulfurón-metilo, un componente de la IA. Este herbicida fue vendido por DuPont a FMC en 2017 tras la fusión de DuPont con Dow, y FMC cedió rápidamente la sustancia a la empresa india Crystal en 2018. El

normalmente incluyen registros, información de fabricación y derechos de propiedad intelectual (Euromonitor International, 2016; PMD, 2019). En segundo lugar, el proceso de modernización emprendido por el capital chino condujo a la especialización en la producción y formulación de IA más avanzada, así como a la adquisición de conocimiento mediante la inversión en empresas globales clave en genéricos. Movimientos como la adquisición de Makhteshim (ahora Adama) por parte de ChemChina fueron paralelos a los de otras empresas, como la adquisición por parte de Sumitomo de una participación mayoritaria en la empresa india Excel Crop Care, y la compra por parte de la empresa india UPL de Arysta Life Science en Estados Unidos. Estas fusiones y adquisiciones implicaron regularmente un desplazamiento de la producción hacia el sur. En el caso de Adama, por ejemplo, las instalaciones chinas se convirtieron en el centro neurálgico de la fabricación y formulación de IA tras la adquisición de la empresa por parte de ChemChina (PMD, 2019). En tercer lugar, aunque las empresas impulsadas por la I+D representan una participación mayoritaria del mercado agroquímico (59 por ciento), compiten directamente con las empresas de genéricos, ya que la proporción de IA sin patente ahora supera con creces a las que están bajo patente debido a la parálisis de los nuevos descubrimientos (PMD, 2019). Visto a través de esta lente, el ensamblaje-glifosato se sostiene organizativamente por una serie de empresas en red de segundo y tercer nivel que han dependido de la producción de IA y, cada vez más, de formulaciones de GBH para ingresar a un mercado de genéricos en rápida expansión. El ensamblaje proporciona las condiciones materiales (bajo costo, suministro abundante) para el cambio agrario, ya que el glifosato permite el reemplazo de mano de obra en el Sur Global y Europa del Este, lo que a su vez produce una geografía global de ubicuidad química.

4. Geografías químicas y vitalidad de la naturaleza

A lo largo de su impresionante historia, el éxito del glifosato como herbicida de amplio espectro se basó en la promesa de una eficiencia y productividad cada vez mayores con poco o ningún riesgo. Paradójicamente, su popularidad se debió tanto a su capacidad para eliminar múltiples tipos de malezas como a su supuesta seguridad para los organismos humanos y no humanos, así como para el medio ambiente en general. Sus defensores declararon que, en el marco de los sistemas de siembra directa y en combinación con la semilla transgénica, el glifosato era una mejoría para el suelo y más eficiente, ya que los agricultores ahora podían pulverizar durante la temporada de crecimiento, eliminando todo lo demás excepto el cultivo deseado. La eficiencia, a su vez, parecía mejorar la seguridad, ya que los herbicidas selectivos y los compuestos no selectivos más tóxicos podían sustituirse por este único biocida, aparentemente benigno (Cuhra, Bøhn y Cuhra, 2016). La construcción de un biocida benigno, combinada con su bajo costo, condujo a la expansión de los usos de los GBHs: para la desecación como "ayuda para la cosecha" en cultivos de cereales, caña de azúcar y legumbres; para limpiar la tierra entre los árboles en huertos; para limpiar las vías fluviales de especies de plantas invasoras; para eliminar la maleza no leñosa de los bordes de las carreteras y vías férreas; y para controlar las malezas en entornos urbanos como parques y escuelas (Cuhra, Bøhn y Cuhra, 2016 ; Van Bruggen et al, 2018). A pesar de que los científicos disidentes desafiaron durante mucho tiempo estas afirmaciones y el uso generalizado de la sustancia química, sólo en la última década hemos visto la erosión de la doble promesa de la eficiencia y seguridad del glifosato. Basándonos en la creciente atención a las geografías químicas, extenderemos el

metsulfurón es un herbicida selectivo a base de sulfonilurea introducido por DuPont en 1984 y utilizado principalmente en cereales, arroz y caña de azúcar. Estuvo en la lista PAN de pesticidas altamente peligrosos entre 2011 y 2013 y actualmente está prohibido en China.

enfoque para abarcar la materialidad del glifosato en sí, abordando cómo actúa sobre la habilidad evolutiva de las plantas para desarrollar resistencia y cómo la exposición afecta a la salud humana, incluidos el cáncer y la disrupción endocrina. La inestabilidad del ensamblaje-glifosato, a partir de estos desbordamientos y daños iatrogénicos ilustra las formas en que la doble promesa de eficiencia y seguridad está produciendo una doble crisis de resistencia de malezas y problemas de salud; ilustrando los límites de la reparación, a medida que surgen nuevos problemas como efecto de las interacciones dentro del ensamblaje.

5. Resistencia a las malezas

Como biocidas, los herbicidas no sólo se apropian de los recursos materiales y la energía necesarios para la producción, sino también de la susceptibilidad biológica de las plantas plaga a estos productos químicos (Jørgensen et al., 2018). Sin embargo, a su vez, las plantas evolucionan bajo la presión selectiva de estos herbicidas, lo que les genera resistencia. Esta erosión de la susceptibilidad impulsa la bien documentada "rutina de pesticidas", ya que los biocidas de nueva generación reemplazan a compuestos más antiguos que han perdido su eficacia (Zimdahl, 2010; Swinton y Van Deynze, 2017; Green, 2018; Heap y Duke, 2018). El glifosato en sí mismo es resultado de este proceso, en el que los problemas iatrogénicos de una reparación requieren reparaciones adicionales, a la vez que se consolida el paradigma químico. Cuando Monsanto introdujo el glifosato en 1972, reemplazó tanto a herbicidas no selectivos como a varios herbicidas selectivos cuya eficacia disminuía debido a la resistencia generalizada de las malezas. Hoy, sin embargo, los científicos especializados en malezas lamentan que no se hayan comercializado nuevos modos de acción en treinta años (Heap y Duke 2018). Como muestra la Tabla 1, solo tres de los quince herbicidas más populares en 2018 se desarrollaron después de 1990; los dos desarrollados en la década de 2000 son herbicidas selectivos, y el cuarto herbicida es el 2,4-D, un pilar agroquímico desde la década de 1940. Mientras tanto, el ciclo de resistencia a los herbicidas, o el tiempo en el que la resistencia de las malezas reduce significativamente su eficacia, ha disminuido. Algunos expertos especulan que este tiempo de renovación biológica de la resistencia a las malezas es de tan solo seis o siete años (Green 2018).

Tabla 1. Principales herbicidas en 2018

Rango	Ingrediente activo	Ventas (millones de dólares)	Fecha de lanzamiento	Empresa principal
1	Glifosato	5.325	1972	Bayer
2	Glufosinato	916	1986	BASF
3	Mesotriona	780	2001	Syngenta
4	2,4-D	748	1945	Nufarm
5	Atrazina	655	1957	Syngenta
6	Metoclor	645	1975	Syngenta

7	Paraquat	585	1962	Syngenta
8	Acetoclor	475	1985	Bayer
9	Pinoxaden	435	2006	Syngenta
10	Pendimetalina	405	1976	BASF
11	Dicamba	388	1965	BASF
12	Flumioxazina	380	1993	Sumitomo
13	Clomazona	365	1986	FMC
14	Picloram	310	1963	Dow
15	Cletodim	309	1987	Sumitomo

Nota: Adaptado de Phillips McDougall (2019)

Los optimistas en la ciencia de las malezas predijeron que el glifosato no provocaría un desarrollo significativo de resistencia de las malezas porque, a diferencia de la mayoría de los otros modos de acción de los herbicidas, la resistencia no se produjo en las poblaciones de plantas silvestres (Heap y Duke, 2018). Además, la resistencia al glifosato parecía ser difícil de adquirir a través de las vías conocidas. Mientras que en algunos herbicidas, una mutación en solo un par de bases puede conferir hasta diez veces la resistencia y muchas mutaciones de un solo par de bases pueden llevar a este resultado, en el glifosato muy pocas mutaciones de un solo par de bases llevan a un nivel significativo de resistencia (Heap y Duke, 2018). Este optimismo pronto se desvaneció. De hecho, el mismo año en que Monsanto introdujo la soja Roundup Ready en los Estados Unidos y Argentina (1996), el primer caso de resistencia evolucionada al glifosato se registró en Australia en la hierba *Lolium rigidum*, encontrada en un plantación de manzanas que había sido tratado con un GBH varias veces al año durante quince años. Desde la perspectiva de la ciencia de las malezas, la introducción de cultivos transgénicos HT creó las condiciones perfectas para la resistencia de las malezas porque la selección tuvo lugar en áreas de tierra más grandes y durante períodos de tiempo más largos que cualquier otra clase de herbicida (Heap y Duke, 2018). Hasta la fecha, los científicos especializados en malezas han informado sobre cuarenta y ocho especies de plantas resistentes al glifosato, incluidas especies que son resistentes al glifosato solo y aquellas que poseen rasgos de resistencia a múltiples herbicidas, en veintisiete países (Heap, 2020).

El alcance de los mecanismos de resistencia de las malezas también es significativo. Si las mutaciones de un solo par de bases generan bajos niveles de resistencia al glifosato, las alteraciones de doble par de bases son mucho más efectivas. Estos y otros cambios genéticos (como la delección de codones y la amplificación génica) generan resistencia en el sitio objetivo, lo que hace que la enzima objetivo (EPSPS) sea resistente al glifosato. Dado que el glifosato se desarrolló para uso comercial en cultivos transgénicos modificados genéticamente (HT-MG), los científicos de Monsanto argumentaron que las mutaciones dobles no podían transferirse de cultivos transgénicos cultivados a plantas silvestres, ya que las mutaciones tendrían que

desarrollarse simultáneamente (Green, 2018; Heap y Duke, 2018). Se equivocaron. Las malezas sí desarrollaron mutaciones dobles, pero lo hicieron en secuencia: el bajo nivel de resistencia conferido por un solo cambio genotípico permitió que suficientes plantas sobrevivieran y posteriormente desarrollaran la segunda mutación. La adopción de múltiples rasgos de resistencia se denomina resistencia progresiva y se deriva de la aplicación de bajas dosis de glifosato. La progenie de plantas con baja resistencia combina rasgos, lo que lleva a la acumulación de mayores niveles de resistencia. La solución ha sido aplicar dosis más altas de glifosato para maximizar la tasa de eliminación. Esta estrategia ha fracasado con varias gramíneas, que representan casi la mitad de todas las malezas resistentes al glifosato, donde las aplicaciones de altas dosis coexisten con altas tasas de resistencia de las malezas (Heap y Duke, 2018). Las plantas también han desarrollado formas únicas de resistencia al glifosato en sitios no objetivo para inhibir la translocación del compuesto desde las hojas rociadas hasta los meristemas. Los científicos recién están comenzando a estudiar los mecanismos que han desarrollado las malezas que limitan la translocación del compuesto, incluyendo cambiar la forma de la hoja para absorber menos herbicida en aerosol y secuestrar el compuesto en el tejido epidérmico para prevenir o minimizar la translocación. Las plantas también han desarrollado una forma de resistencia que los científicos de malezas llaman el fenómeno Phoenix. Observado en *Ambrosia trifida*, la ambrosía gigante, las hojas de la planta mueren en cuestión de horas después del tratamiento en lugar del efecto sistémico normal, que generalmente demora días. Debido a que el compuesto está atrapado en las hojas muertas, la planta posteriormente vuelve a crecer, surgiendo de las cenizas biocidas (Heap y Duke, 2018).

Los fracasos de los científicos especializados en malezas y los investigadores agroquímicos para predecir y resolver el problema de la resistencia ilustran los puntos de Guthman (2019) sobre el conocimiento como parte del conjunto agroquímico. El conocimiento no solo está limitado por el conjunto, sino que la creciente resistencia de las malezas ya ha tenido un enorme impacto en la red de productos básicos de herbicidas. Bayer (Monsanto) y Corteva AgriScience han desarrollado y comercializado nuevos paquetes de semillas transgénicas con características apiladas, que combinan glifosato con tolerancia al dicamba o 2,4-D, respectivamente (Birkett 2020a, 2020b). Bayer y BASF incluso se han asociado para introducir una línea de soja de triple evento apilado que combina resistencia contra glifosato, glufosinato y dicamba (Bird, 2020). Además de esto, se han introducido paquetes HT-GM sin glifosato que acumulan rasgos resistentes a otros herbicidas en la soja y otros cultivos (Bayer: glufosinato e isoxaflutol; Syngenta: dicamba y s-metolaclor; FMC: sulfentrazona y piroxasulfona; Birkett 2018; PMD 2020a). En 2020, Bayer también anunció el desarrollo en fase temprana del primer nuevo modo de acción de herbicida en treinta años dirigido a las gramíneas, precisamente la clase de malezas que ha desarrollado más resistencia al glifosato (Birkett, 2020a), y la promesa de los biopesticidas también ocupa un lugar destacado. En otras palabras, el estancamiento institucional ha significado que la espiral de herbicidas se impulsa más por nuevas combinaciones que por nuevos descubrimientos de nuevos productos químicos o alternativas a estos.

Aunque podría ser tentador ver esto como una crisis terminal para los agroquímicos, la dinámica dialéctica de esta crisis, por un lado, y la revolución de los herbicidas en el Sur Global y Europa del Este, por el otro, sugieren que estos límites también producirán sorpresas y oportunidades para nuevas formas de acumulación de capital en y a través de las redes de producción de herbicidas (Boyd, Prudham y Schurman, 2001; Mansfield, 2011; Guthman, 2019). De hecho, existe una importante expansión y oportunidad en el mercado de genéricos, ya que los productores químicos de segundo y tercer nivel innovan en procesos y formulaciones para aumentar la oferta de herbicidas, manteniendo precios bajos. La empresa china de segundo nivel Jiangsu Yangnong (con ventas anuales de 700 millones de dólares), por ejemplo, ha incorporado recientemente dicamba a su línea de productos para satisfacer la demanda de cultivos transgénicos modificados genéticamente con rasgos apilados y alternativas al

glifosato para malezas resistentes (PMD 2020b). Aunque el glifosato representa el 40 por ciento de las ventas de Albaugh, con sede en EE.UU., la empresa, con filiales en Argentina, Brasil y México y casi la mitad de sus ventas en América Latina, ha impulsado la producción de 2,4-D y dicamba, y ha lanzado nuevas formulaciones de herbicidas selectivos (PMD 2019). Los productores químicos también pueden buscar nuevos mercados, donde la resistencia al glifosato aún no es un problema importante y, de hecho, los productores latinoamericanos lo están haciendo en Centroamérica (PMD 2019). En general, los formuladores de GBH genéricos se encuentran en una posición ventajosa, especialmente dado que la pérdida de la protección de patentes para los IA existentes coincide con la ausencia de nuevos descubrimientos de IA. De hecho, la “nueva” posición de Albaugh en el 2,4-D es un regreso a sus raíces, ahora con un giro global: la primera planta de formulación de la compañía en Ankeny, Iowa, fue un importante productor de 2,4-D para el Oeste de EE. UU. en la década de 1980.

6. Salud y seguridad

Además de la eficiencia, la seguridad fue la otra mitad de la promesa que permitió la omnipresencia del glifosato. Así como su propia omnipresencia aceleró claramente el desarrollo de la resistencia de las malezas, las recientes preocupaciones sobre la seguridad del glifosato para los humanos plantean interrogantes sobre la omnipresencia de sustancias químicas y su aparición en humanos y organismos no vegetales. La reclasificación del glifosato por parte de la OMS como “probablemente cancerígeno para los humanos” contrasta marcadamente con las antiguas afirmaciones de Monsanto sobre su baja toxicidad y su inocuidad ambiental, respaldadas por agencias reguladoras (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer 2017). Tras la evaluación de la OMS, tanto la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria tomaron medidas muy controvertidas, reafirmando sus evaluaciones de que el glifosato no es cancerígeno (Cuhra, Bøhn y Cuhra, 2016; Myers et al., 2016; Benbrook, 2019). En 2020, mientras escribíamos este artículo, la EPA volvió a respaldar el glifosato, afirmando que no existe ningún riesgo para la salud humana y un riesgo ambiental mínimo (EPA 2020). Las últimas afirmaciones de la EPA sobre la seguridad del glifosato aparentemente desestiman la nueva evidencia sobre el vínculo entre el glifosato y el cáncer, principalmente el Linfoma no Hodgkin (Zhang et al., 2019; Portier, 2020), así como entre el glifosato y los resultados no cancerosos; por ejemplo, en los riñones, el hígado y el sistema gastrointestinal (véase Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2019). Nuevos estudios también están descubriendo que el glifosato actúa epigenéticamente y como disruptor endocrino para producir efectos reproductivos y de desarrollo a largo plazo (Duforestel et al., 2019; Kubsad et al., 2019; Teleken et al., 2020). Cabe destacar que la evaluación de la EPA de EE.UU. también contrasta con la de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de EE.UU., que confirma que existen riesgos tanto cancerosos como no cancerosos para la salud humana (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades 2019). Estos hallazgos contradictorios están impulsando acciones legales en curso en numerosas jurisdicciones sobre los riesgos ambientales y para la salud del compuesto. La primera demanda exitosa contra Bayer/Monsanto por exposición al glifosato concluyó en 2018, cuando un jurado otorgó a DeWayne Johnson la asombrosa suma de 289 millones de dólares (Gillam, 2018). Desde entonces, se han presentado numerosas demandas individuales y colectivas contra la empresa en Estados Unidos y en todo el mundo (Houston, 2019; Labin, 2019; U.S Right to Know s/f).

Para complicar aún más las cosas, se ha asumido que el glifosato es seguro basándose en afirmaciones de que no persiste en el medio ambiente, sino que se descompone rápidamente en compuestos no biocidas, aunque se desconoce mucho sobre el destino real y la persistencia

del glifosato o sus metabolitos. Como reflejo de la forma en que el conocimiento es interno al conjunto, esta brecha de conocimiento existe en parte porque los GBH se clasifican como no tóxicos. Es decir, dado que los GBH se consideran seguros, las agencias gubernamentales no realizan análisis regulares de residuos en tierras agrícolas ni en productos alimenticios. A pesar de la falta de análisis sistemáticos, los estudios han descubierto la notable omnipresencia del glifosato en el suelo, el microbioma humano, los alimentos y el agua (Battaglin y Kolok, 2014; Bai y Ogbourne, 2016; Cuhra, Bøhn y Cuhra, 2016; Myers et al., 2016; Van Bruggen et al., 2018). En la década de 2000, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) detectó niveles bajos de glifosato o su principal metabolito (AMPA) en el 58 % de casi 4000 muestras de suelo y agua de treinta y ocho estados. El primer modelo global de riesgo ambiental determinó que el glifosato y el AMPA eran contaminantes persistentes de bajo nivel en aproximadamente el 93 % de las tierras de cultivo, alcanzando niveles de riesgo entre medios y altos en aproximadamente el 1 % de las tierras de cultivo a nivel mundial (Maggi et al., 2020). Pruebas ocasionales de alimentos en Estados Unidos y Canadá han revelado una presencia generalizada de glifosato y su principal metabolito (Bai y Ogbourne, 2016; Benbrook, 2016). Sin embargo, hasta la fecha, los hallazgos sobre los niveles de residuos no han dado lugar a medidas regulatorias prohibitivas. En cambio, en 1999, 2012 y 2015, la EPA aumentó los niveles de tolerancia (es decir, los residuos permitidos) en cereales y cultivos forrajeros entre un 15 % y un 600 % (Benbrook, 2016).

A pesar de las garantías de seguridad de la industria y las agencias reguladoras, la determinación de los GBH como probables carcinógenos por parte de la OMS en 2015 y las recientes sentencias contra Monsanto en casos legales han situado al glifosato en el centro de la preocupación pública sobre los pesticidas, lo que ha dado lugar a una creciente disparidad de regulaciones a múltiples escalas. Algunos ejemplos incluyen suspensiones temporales (por ejemplo el sistema de la Universidad de California), prohibiciones del uso urbano, prohibiciones sobre la aplicación pos-emergencia (estado de Andhra Pradesh, India), suspensiones de nuevos registros de GBH (Vietnam) y la prohibición de las importaciones (Sri Lanka). La incertidumbre en torno a la licencia del glifosato en la UE también sigue siendo un factor clave. Si bien el número de acciones regulatorias a múltiples escalas contra el glifosato está aumentando, las empresas agroquímicas, como hemos comentado, no están abandonando el glifosato, sino que están creando nuevas formulaciones de ingredientes activos existentes, incluido el glifosato, para uso agrícola. Al combinar el glifosato con herbicidas de alta toxicidad, la prioridad de la seguridad, ya de por sí sometida a una considerable presión, se sacrifica en aras de la eficiencia.

7. Conclusión

La promesa de un biocida benigno parece demasiado buena para ser verdad. Sin embargo, el desenlace de esa promesa no puede entenderse adecuadamente sin recurrir al conjunto más amplio de relaciones sociales y naturales que se han articulado en y a través del glifosato. Hemos visto cómo la transición del compuesto de una solución de malezas de boutique y alto precio al herbicida más barato y ubicuo del mundo estuvo vinculada inicialmente a la expansión de los métodos agrícolas de la siembra directa con la promesa de una mejor salud del suelo y menores emisiones. La introducción de paquetes de semillas transgénicas de alta tecnología impulsó esta transformación, a la par de cambios más amplios en las prácticas agrícolas en el Sur Global, ya que el glifosato ofreció una solución fácilmente accesible a los crecientes costos de la mano de obra rural. A medida que los biocidas de alta tecnología reemplazaron diversas técnicas de manejo de malezas, incluidos múltiples herbicidas, el compuesto se usó de forma ubicua en franjas masivas de terreno.

Nuestro argumento ha sido que comprender estas dinámicas en la agricultura requiere considerar las interacciones entre las industrias químicas de las etapas iniciales como parte de los ensamblajes entre el ser humano y la naturaleza. Al centrarnos en la industria de herbicidas genéricos, hemos detallado el rápido crecimiento y la reestructuración de su red de producción, que ha satisfecho la demanda con formulaciones de bajo costo. Con sede en China, las empresas de tercer nivel integraron la fabricación de glifosato en una estrategia de entrada a la red. La aplicación de la normativa y las políticas para promover la modernización de productos y procesos condujeron a una reorganización de las empresas y sus relaciones, lo que generó una consolidación considerable no solo entre las empresas de I+D de primer nivel, sino también entre los productores y formuladores de IA genéricos, ya que parte de la producción se trasladó de China a la India y otros lugares.

¿Qué implicaciones tienen nuestros argumentos sobre el ensamblaje-glifosato para nuestra concepción de la agricultura industrial impulsada por sustancias químicas? Algunos ven un sistema capitalista de producción de alimentos en crisis que finalmente ha superado un punto de inflexión. Para el geógrafo histórico Moore (2015), por ejemplo, las supermalezas anuncian el fin de un sistema agroalimentario centrado en la "comida barata". Al observar la disminución de los rendimientos de la productividad con cada ola de innovación moderna, Moore argumentó que los ciclos de intensificación del capital en la producción de alimentos que facilitaron el aumento vertiginoso de los rendimientos y las caídas sin precedentes de los precios de los alimentos en el siglo XX han llegado a su límite en el siglo XXI. La obstinada persistencia de los expertos y protagonistas de la industria que siguen defendiendo lógicas modernistas de reparación e ingeniería técnica podría ser el último aliento para un sistema en crisis terminal. Sin embargo, esta no es nuestra conclusión; nuestro análisis del ensamblaje-glifosato sugiere que afirmaciones como estas son, en el mejor de los casos, prematuras. Los mercados globales de pesticidas y la gran mayoría de las ventas de sustancias de IA continúan creciendo, en parte porque, como hemos demostrado, la resistencia de las malezas brinda nuevas oportunidades de ganancias y acumulación a medida que las sustancias de IA más antiguas disfrutaban de un regreso en formulaciones de herbicidas mixtos y semillas transgénicas de alta tecnología con rasgos apilados. Al igual que en el análisis de Guthman (2019), son precisamente estos múltiples enredos en condiciones de ubicuidad química los que ilustran los límites de los (re)encuadres modernistas de la agricultura intensiva en agroquímicos, ya sea como una crisis terminal o como capaz de infinitas soluciones tecnológicas. En lugar de conclusiones estilizadas como estas, hemos conceptualizado el glifosato como un elemento clave que anima un ensamblaje sociotécnico más amplio que organiza métodos específicos de producción agrícola y conocimiento biotecnológico. Desde esta perspectiva de ensamblaje, nos centramos en desenredos contradictorios para comprender mejor la ubicuidad química del glifosato y las incertidumbres y ansiedades resultantes. Para ello es necesario reconocer que los agroquímicos son productos básicos por derecho propio (más que simplemente insumos de producción) y, como tales, son agentes activos que (re)ordenan elementos heterogéneos de formas profundamente contradictorias, creando tanto las condiciones materiales para el éxito en el mercado como poniendo en peligro ese éxito.

Nuestro análisis del conjunto de glifosato sugiere que es necesario un diálogo fructífero y poco explorado entre los estudios centrados en las socio-naturalezas de los pesticidas y otras geografías químicas, así como en el estudio de las geografías cambiantes de la producción global. Si los productos químicos como el glifosato son ubicuos, la producción de esta ubicuidad resulta de la interacción entre el conocimiento sociotécnico, las naturalezas humano-ambiental y sobrehumana, y las políticas y planes de capitales y estados competitivos. La transformación del glifosato de propiedad intelectual protegida a un producto básico del mercado global ha coincidido con la disrupción de una geografía de pesticidas de larga data en la que los agroquímicos se producían (y consumían) en gran medida en el Norte Global y se

exportaban a países del Sur Global. En el nuevo mapa de la ubicuidad química, los países de ingresos medios también son los principales productores, exportadores y mercados finales en una geografía caracterizada por nuevas dinámicas Sur-Sur. Al vincular la ubicuidad química con la evolución de las redes empresariales, nuestro enfoque en el ensamblaje del glifosato destaca que su mercantilización es profundamente contradictoria y siempre incompleta. Si bien estas dinámicas de producción se encuentran formalmente fuera de las instituciones de reparación, como la ciencia de las malezas, aprender a considerar estas dimensiones puede ayudar a comprender cómo se desarrollarán los límites de la reparación. A medida que el panorama regulatorio del glifosato cambia y tanto la producción como el uso de genéricos se expanden rápidamente en el Sur Global, es evidente que un enfoque más global y transdisciplinario puede comprender los riesgos y las oportunidades asociados en una geografía altamente dinámica de desarrollo desigual.

Agradecimientos

Agradecemos a Ryan Galt y Annie Shattuck por sus cruciales contribuciones a las ideas de este artículo. También agradecemos a la editora Kendra Strauss y a tres revisores anónimos por sus sugerencias.

Bibliografía

- **Aga, A. (2018).** Merchants of knowledge: Petty retail and differentiation without consolidation among farmers in Maharashtra, India. *Journal of Agrarian Change* 18 (3):658–76. doi: <https://doi.org/10.1111/joac.12249>.
- **Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2019).** Toxicological profile for glyphosate, Draft for Public Comment 257, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Washington, DC.
- **Bai, S. H., and S. M. Ogbourne. (2016).** Glyphosate: Environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. *Environmental Science and Pollution Research International* 23 (19):18988–9001. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7425-3>.
- **Barry, A. (2017).** Manifesto for a chemical geography. Inaugural lecture, University College London, UK, January 24.
- **Battaglin, W. A., and A. Kolok. (2014).** Featured collection introduction: Contaminants of emerging concern II. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 50 (2):261–65. doi: <https://doi.org/10.1111/jawr.12176>.
- **Benbrook, C. M. (2016).** Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe* 28 (1):3. doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>.
- **Benbrook, C. M. (2019).** How did the U.S. EPA and IARC research diametrically opposed conclusions on the genotoxicity of glyphosate-based herbicides? *Environmental Sciences Europe* 31:2. doi: <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0184-7>.
- **Berndt, C., and M. Boeckler. (2020).** Geographies of marketization: Performance struggles, incomplete commodification and the “problem of labour.” In *Market/place: Exploring spaces of exchange*, ed. C. Berndt, J. Peck, and N. Rantisi, 69–88. Newcastle upon Tyne, UK: Agenda.
- **Berndt, C., J. Peck, and N. M. Rantisi. (2020).** *Market/place: Exploring spaces of exchange*. Newcastle upon Tyne, UK: Agenda.

- **Berndt, C., M. Werner, and V. R. Fernández. (2020).** Postneoliberalism as institutional recalibration: Reading Polanyi through Argentina's soy boom. *Environment and Planning A: Economy and Space* 52 (1):216–36. doi: <https://doi.org/10.1177/0308518X19825657>.
- **Bigger, P., J. Dempsey, A. P. Asiyani, K. Kay, R. Lave, B. Mansfield, T. Osborne, M. Robertson, and G. L. Simon. (2018).** Reflecting on neoliberal natures: An exchange. *Environment and Planning E: Nature and Space* 1:25–75.
- **Bird, J. (2020).** Decision on triple-stack soybean approval returned to EU Commission. Phillips McDougall Agrow News, January 29.
- **Birkett, R. (2018).** Argentina approves three GMOs. Phillips McDougall Agrow News, March 7.
- **Birkett, R. (2020a).** Bayer highlights crop protection pipeline. Phillips McDougall Agrow News, February 17.
- **Birkett, R. (2020b).** Brazil CTNBio approves Corteva stacked GM maize. Phillips McDougall Agrow News, February 11.
- **Bonanno, A., V. C. Materia, T. Venus, and J. Wessler. (2017).** The plant protection products (PPP) sector in the European Union: A special view on herbicides. *The European Journal of Development Research* 29 (3):575–95. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0088-1>.
- **Boyd, W., W. S. Prudham, and R. A. Schurman. (2001).** Industrial dynamics and the problem of nature. *Society & Natural Resources* 14 (7):555–70. doi: <https://doi.org/10.1080/08941920120686>.
- **Cáceres, D. M. (2018).** Biotecnología y Poder ¿Usan los cultivos transgénicos menos agroquímicos? [Biotechnology and Power: Do transgenic crops use fewer agrochemicals?] *Revista Interdisciplinaria de Estudios Agrarios* 48:29–55.
- **Callon, M. (1998).** An essay on framing and overflowing: Economic externalities revisited by sociology. In *The laws of the markets*, ed. M. Callon, 244–69. Oxford, UK: Blackwell. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-954X.1998.tb03477.x>.
- **Callon, M. (2007).** What does it mean to say that economics is performative? In *Do economists make markets? On the performativity of economics*, ed. D. MacKenzie, F. Muniesa, and L. Siu, 311–57. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- **ChinaAg. (2018).** Pesticide powerhouse: A complete guide to China's rapid rise to global agrochemical dominance. Accessed October 23, 2019. <https://www.chinaag.org/2018/08/03/pesticide-powerhouse-a-complete-guide-to-chinas-rapid-rise-to-global-agrochemical-dominance>.
- **Conroy, M. E., D. L. Murray, and P. M. Rosset. (1996).** *A cautionary tale: Failed U.S. development policy in Central America*. Boulder, CO: Lynne Rienner.
- **Cuhra, M., T. Bøhn, and P. Cuhra. (2016).** Glyphosate: Too much of a good thing? *Frontiers in Environmental Science* 4:1–14. doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00028>.
- **Das Gupta, S., B. Minten, N. C. Rao, and T. Reardon. (2017).** The rapid diffusion of herbicides in farming in India: Patterns, determinants, and effects on labor productivity. *The European Journal of Development Research* 29 (3):596–613. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0091-6>.
- **Duforestel, M., A. Nadaradjane, G. Bougras-Cartron, J. Briand, C. Olivier, J.-S. Frenel, F. M. Vallette, S. A. Lelièvre, and P.-F. Cartron. (2019).** Glyphosate primes mammary cells for tumorigenesis by reprogramming the epigenome in a TET3-dependent manner. *Frontiers in Genetics* 10:885. doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00885>.
- **Duke, S. O., and S. B. Powles. (2008).** Glyphosate: A once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* 64 (4):319–25. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.1518>.

- **Elmore, B. J. (2018).** The commercial ecology of scavenger capitalism: Monsanto, fossil fuels, and the remaking of a chemical giant. *Enterprise & Society* 19 (1):153–78. doi: <https://doi.org/10.1017/eso.2017.22>.
- **Environmental Protection Agency. (2020).** Glyphosate: Interim registration review decision, Case Number 0178. EPA-HQ-OPP-2009-0361, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- **Euromonitor International. (2016).** Passport: Global agrochemicals. Trends, developments, and prospects. London: Euromonitor International.
- **Foreign Agricultural Service Staff. (2017).** Agricultural biotechnology annual regulatory process continues churning, commercialization not in sight (China, Peoples Republic of). In USDA Foreign Agricultural Service GAIN Report, approved by M. Ward; prepared by FAS staff, pp. 1–17. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- **Franz, J. E., M. K. Mao, and J. A. Sikorski. (1997).** *Glyphosate: A unique global herbicide*. Washington, DC: American Chemical Society.
- **Galt, R. E. (2014).** *Food systems in an unequal world: Pesticides, vegetables, and agrarian capitalism in Costa Rica*. Tucson: University of Arizona Press.
- **Gianessi, L. P. (2013).** The increasing importance of herbicides in worldwide crop production. *Pest Management Science* 69 (10):1099–105. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.3598>.
- **Gillam, C. (2018).** I won a historic lawsuit, but may not live to get the money. *Time Magazine*, November 21. Accessed June 8, 2020. <https://time.com/5460793/dewayne-lee-johnson-monsanto-lawsuit/>.
- **Goodman, D., B. Sorj, and J. Wilkinson. (1987).** *From farming to biotechnology*. London: Basil Blackwell.
- **Green, J. M. (2018).** The rise and future of glyphosate and glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science* 74 (5):1035–39. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.4462>.
- **Grossman, L. S. (1998).** *The political ecology of bananas: Contract farming, peasants, and agrarian change in the Eastern Caribbean*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.
- **Guthman, J. (2019).** *Wilted: Pathogens, chemicals, and the fragile future of the strawberry industry*. Oakland: University of California Press.
- **Guthman, J., and B. Mansfield. (2013).** The implications of environmental epigenetics. *Progress in Human Geography* 37 (4):486–504. doi: <https://doi.org/10.1177/0309132512463258>.
- **Hagblade, S., B. Minten, C. Pray, T. Reardon, and D. Zilberman. (2017).** The herbicide revolution in developing countries: Patterns, causes, and implications. *The European Journal of Development Research* 29 (3):533–59. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0090-7>.
- **Han, S. (2014).** Chinese pesticide exports up in 2013. Phillips McDougall Agrow News, April 1.
- **Heap, I. (2020).** The international herbicide-resistant weed atabase. Accessed May 30, 2020. <http://www.weedscience.org>.
- **Heap, I., and S. O. Duke. (2018).** Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science* 74 (5):1040–49. doi: <https://doi.org/10.1002/ps.4760>.
- **Hedlund, J., S. B. Longo, and R. York. (2020).** Agriculture, pesticide use, and economic development: A global examination (1990–2014). *Rural Sociology* 85 (2):519–44. doi: <https://doi.org/10.1111/ruso.12303>.
- **Heynen, N., J. McCarthy, S. Prudham, and P. Robbins. (2007).** *Neoliberal environments: False promises and unnatural consequences*. London and New York: Taylor & Francis.

- **Horner, R., and K. Nadvi. (2018).** Global value chains and the rise of the Global South: Unpacking twenty-first century polycentric trade. *Global Networks* 18 (2):207–37. doi: <https://doi.org/10.1111/glob.12180>.
- **Houston, C. (2019).** Victorian farmer leads class action against Roundup manufacturer. *The Sydney Morning Herald*, December 15. Accessed June 8, 2020. <https://www.smh.com.au/national/victorian-farmer-leads-class-action-against-roundup-manufacturer-20191215-p53k5p.html>.
- **Huang, J., S. Wang, and Z. Xiao. (2017).** Rising herbicide use and its driving forces in China. *The European Journal of Development Research* 29 (3):614–27. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0081-8>.
- **Huber, M. T. (2017).** Hidden abodes: Industrializing political ecology. *Annals of the American Association of Geographers* 107 (1):151–66. doi: <https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1219249>.
- **International Agency for Research on Cancer. (2017).** IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Some organophosphate insecticides and herbicides. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, World Health Organization.
- **Jørgensen, P. S., A. Aktipis, Z. Brown, Y. Carrière, S. Downes, R. R. Dunn, G. Epstein, G. B. Frisvold, D. Hawthorne, Y. T. Gröhn, et al. (2018).** Antibiotic and pesticide susceptibility and the Anthropocene operating space. *Nature Sustainability* 1:632–41.
- **Kloppenborg, J. R., Jr. (1988 [2004]).** *First the seed: The political economy of plant biotechnology*. London: Cambridge University Press.
- **Kubsad, D., E. E. Nilsson, S. E. King, I. Sadler-Riggelman, D. Beck, and M. K. Skinner. (2019).** Assessment of glyphosate induced epigenetic transgenerational inheritance of pathologies and sperm epimutations: Generational toxicology. *Scientific Reports* 9:6372. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42860-0>.
- **Labin, J. (2019).** Canadian lawyers file \$500M class-action lawsuit against makers of Roundup. *Edmonton Journal*, November 21. Accessed June 8, 2020. <https://edmontonjournal.com/news/local-news/toronto-lawyers-announce-500-million-class-action-lawsuit-against-the-makers-of-roundup-herbicide/>.
- **Maggi, F., D. la Cecilia, F. H. M. Tang, and A. McBratney. (2020).** The global environmental hazard of glyphosate use. *Science of the Total Environment* 717:137167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137167>.
- **Magin, R. (2003).** Glyphosate: Twenty-eight years and still growing—The discovery, development, and impact of this herbicide on the agrichemical industry. In *Pesticide formulations and application systems: 23rd International Symposium*, ed. G. Volgas, R. Downer, and H. Lopez, 149–57. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- **Mansfield, B. (2011).** Is fish health food or poison? Farmed fish and the material production of un/healthy nature. *Antipode* 43 (2):413–34. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1467-8330.2010.00743.x>.
- **Martínez Dougnac, G. (2016).** Monocultivo sojero, concentración económica, acaparamiento y despojo de tierras: Formas actuales de la expansión del capital en la agricultura argentina. Rosario, Argentina: Legem Ediciones/Universidad de Buenos Aires, Centro Interdisciplinario de Estudios Agrarios.
- **McMichael, P. (2020).** Does China’s “going out” strategy prefigure a new food regime? *The Journal of Peasant Studies* 47 (1):116–54. doi: <https://doi.org/10.1080/03066150.2019.1693368>.
- **Moore, J. W. (2015).** *Capitalism in the web of life: Ecology and the accumulation of capital*. London: Verso.

- **Myers, J. P., M. N. Antoniou, B. Blumberg, L. Carroll, T. Colborn, L. G. Everett, M. Hansen, P. J. Landrigan, B. P. Lanphear, R. Mesnage, et al. (2016).** Concerns over use of glyphosate-based herbicides and risks associated with exposures: A consensus statement. *Environmental Health* 15 (1):19. doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0117-0>.
- **Pesticide Action Network (PAN). (2020).** Consolidated list of banned pesticides. Accessed June 11, 2020. <http://pan-international.org/pan-international-consolidated-list-of-banned-pesticides/>.
- **Phillips McDougall (PMD). (2012).** Agrochemical trade from Asia—China and India. *Agrifutura Newsletter* 148, February.
- **Phillips McDougall (PMD). (2019).** AgriService: Industry overview-2018 market. 1–22.
- **Phillips McDougall (PMD). (2020a).** FMC launches new authority edge herbicide. *AgreWorld Daily Note*, January 23.
- **Phillips McDougall (PMD). (2020b).** Sinochem—Chemchina agribusiness merger: Overview and Sinochem international company profile. *Agrifutura Newsletter* 242, January.
- **Portier, C. J. (2020).** A comprehensive analysis of the animal carcinogenicity data for glyphosate from chronic exposure rodent carcinogenicity studies. *Environmental Health* 19:18. doi: <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00574-1>.
- **Rana, S. (2020).** China’s glyphosate capacity stabilises following consolidation. *Informa Agribusiness Intelligence*, *Agrow News*, February 7.
- **Romero, A. M., J. Guthman, R. E. Galt, M. Huber, B. Mansfield, and S. Sawyer. (2017).** Chemical geographies. *GeoHumanities* 3 (1):158–77. doi: <https://doi.org/10.1080/2373566X.2017.1298972>.
- **Schreinemachers, P., and P. Tipraqsa. (2012).** Agricultural pesticides and land use intensification in high, middle and low income countries. *Food Policy* 37 (6):616–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.06.003>.
- **Schurman, R., and W. A. Munro. (2013).** *Fighting for the future of food: Activists versus agribusiness in the struggle over biotechnology*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- **Shan, M. (2019).** New ecology of global pesticide supply & demand market: Dialogue with Chinese/Indian suppliers and global buyers. *Agropages News*, March 4. Accessed April 11, 2019. <http://news.agropages.com/News/NewsDetail--29570.htm>.
- **Shattuck, A. (2019).** Risky subjects: Embodiment and partial knowledges in the safe use of pesticide. *Geoforum*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2019.04.029>.
- **Shattuck, A. (2021).** Generic, growing, green?: The changing political economy of the global pesticide complex. *The Journal of Peasant Studies*, 48(2). Routledge: 231–253.
- **Shoham, J. (2015).** *Agrow—Glyphosate situation & outlook*. London: Informa UK.
- **Skernivitz, T. (2019).** The read on seed: What’s next for suppliers after mega-mergers? *Agropages News*, January 31. Accessed June 6, 2019. <http://news.agropages.com/News/NewsDetail--29211.htm>.
- **Swinton, S. M., and B. Van Deynze. (2017).** Hoes to herbicides: Economics of evolving weed management in the United States. *The European Journal of Development Research* 29 (3):560–74. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0077-4>.
- **Tamru, S., B. Minten, D. Alemu, and F. Bachewe. (2017).** The rapid expansion of herbicide use in smallholder agriculture in Ethiopia: Patterns, drivers, and implications. *The European Journal of Development Research* 29 (3):628–47. doi: <https://doi.org/10.1057/s41287-017-0076-5>.
- **Teleken, J. L., E. C. Z. Gomes, C. Marmentini, M. B. Moi, R. A. Ribeiro, S. L. Balbo, E. M. P. Amorim, and M. L. Bonfleur. (2020).** Glyphosate-based herbicide exposure during pregnancy and lactation malprograms the male reproductive morphofunction in F1 offspring. *Journal of*

- Developmental Origins of Health and Disease 11 (2):146–53. doi: <https://doi.org/10.1017/S2040174419000382>.
- **Thrupp, L. A. (1990).** Inappropriate incentives for pesticide use: Agricultural credit requirements in developing countries. *Agriculture and Human Values* 7 (3–4):62–69. doi: <https://doi.org/10.1007/BF01557311>.
 - **Torretta, V., I. Katsoyiannis, P. Viotti, and E. Rada. (2018).** Critical review of the effects of glyphosate exposure to the environment and humans through the food supply chain. *Sustainability* 10 (4):950. doi: <https://doi.org/10.3390/su10040950>.
 - **Trigo, E., D. Chudnovsky, E. Cap, and A. López. (2003).** Los transgénicos en la agricultura argentina: Una historia con final abierto [Transgenic crops in Argentinian agriculture: An unfinished history]. Winnipeg, MB, Canada: International Institute for Sustainable Development.
 - **UN COMTRADE. (2020).** UN COMTRADE database. Accessed May 28, 2020. <https://comtrade.un.org/data/>.
 - **U.S. Right to Know. (n.d. Monsanto Roundup & Dicamba trial tracker. Accessed June 8, 2020).** <https://usrtk.org/monsanto-roundup-trial-tracker-index/>.
 - **Van Bruggen, A. H. C., M. M. He, K. Shin, V. Mai, K. C. Jeong, M. R. Finckh, and J. G. Morris. (2018).** Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *The Science of the Total Environment* 616–617:255–68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.309>.
 - **Werner, M. (2016).** Global production networks and uneven development: Exploring geographies of devaluation, disinvestment, and exclusion. *Geography Compass* 10 (11):457–69. doi: <https://doi.org/10.1111/gec3.12295>.
 - **Wesseling, C., M. Corriols, and V. Bravo. (2005).** Acute pesticide poisoning and pesticide registration in Central America. *Toxicology and Applied Pharmacology* 207 (2 Suppl.):697–705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2005.03.033>.
 - **Wesseling, C., B. V. W. De Joode, C. Ruepert, C. León, P. Monge, H. Hermosillo, and L. J. Partanen. (2001).** Paraquat in developing countries. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 7 (4):275–86. doi: <https://doi.org/10.1179/107735201800339209>.
 - **Woodburn, A. T. (2000).** Glyphosate: Production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science* 56 (4):309–12. doi: [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).
 - **Zhang, L., I. Rana, R. M. Shaffer, E. Taioli, and L. Sheppard. (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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>.
 - **Zimdahl, R. L. (2010).** *A history of weed science in the United States*. London: Elsevier.

Fondos

Esta investigación fue financiada por la National Science Foundation, (Grant BCS2026088—The Generic Herbicide Industry) y la Swiss National Science Foundation (Grant 204766—Making Herbicide Markets).

Sobre los autores y las autoras

Marion Werner. Profesora Asociada del Departamento de Geografía de la Universidad de Buffalo, SUNY, Buffalo, NY 14261. Correo electrónico: wernerm@buffalo.edu . Sus intereses de investigación incluyen las políticas laborales de género y raciales, así como la economía política de los sistemas agroalimentarios en América Latina y el Caribe.

Christian Berndt. Profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Zúrich, Zúrich 8057, Suiza. Correo electrónico: christian.berndt@geo.uzh.ch. Sus líneas de investigación se centran en las geografías de la mercantilización y la mercantilización, con un enfoque regional en América Latina.

Becky Mansfield. Profesora del Departamento de Geografía de la Universidad Estatal de Ohio, Columbus, OH 43210. Correo electrónico: mansfield.32@osu.edu. Su investigación sobre geografías químicas se centra en el género, la raza y las políticas de conocimiento en la gobernanza de la salud ambiental.