

Estado de la publicación: El preprint ha sido publicado como artículo en una revista
DOI del artículo publicado: <https://doi.org/10.62167/qv.e0303>

Insumos y salidas eclipsadas en el agro moderno

Luciana Laura Couso, Marcela Harris, Laura Chornogubsky, Pablo Esteban Rodríguez, Ignacio Enrique Sanchez

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.12562>

Enviado en: 2025-07-08

Postado en: 2025-07-18 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Insumos y salidas eclipsadas en el agro moderno

Grupo de análisis crítico de la biotecnología

Couso, Luciana Laura (Cátedra de Genética - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, lcouso@agro.uba.ar ORCID <https://orcid.org/0009-0001-6531-6167>)

Harris, Marcela (Cátedra de Horticultura - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, mharris@agro.uba.ar ORCID <https://orcid.org/0000-0001-5086-9116>)

Chornogubsky, Laura (CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Sección Paleontología de Vertebrados, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"; Cátedra de Genética - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, lchorno@macn.gov.ar ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2420-8271>)

Rodríguez, Pablo Esteban (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Instituto de Investigaciones Gino Germani - CONICET, prodriguez@sociales.uba.ar ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0605-1899>)

Sánchez, Ignacio Enrique (Laboratorio de Fisiología Proteica, Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, IQUIBICEN-CONICET, isanchez@qb.fcen.uba.ar ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4284-9013>)

Resumen: La producción agropecuaria convencional se basa en la entrada al sistema cultivo de insumos provenientes del entorno como semillas o agroquímicos, lo que haría posible que el sistema genere la salida de producción. El análisis más común de estos sistemas visibiliza los insumos o salidas con valor de mercado. Ir más allá de los criterios económicos y analizar los cultivos como sistemas abiertos que intercambian materia y energía con su entorno permite visibilizar otros insumos y salidas que suelen quedar eclipsados pese a su relevancia social y biológica. Los insumos eclipsados incluyen reservas finitas como las de agua y petróleo. El caso del mar de Aral en Asia central muestra cómo consumir agua únicamente según la lógica de los cultivos individuales puede arruinar la capacidad de una región para sostener la vida humana. La huella social de la producción de fertilizantes organofosfatos en el Sahara Occidental subraya que el uso de un insumo puede tener consecuencias lejos del cultivo donde se aplica. Muchas salidas eclipsadas como los agroquímicos, los combustibles fósiles o los plásticos contaminan nuestro entorno y tienen efectos negativos sobre la biodiversidad y la salud humana. En conjunto, la producción basada en insumos genera costos a escala planetaria que con frecuencia se relativizan o invisibilizan. Esto contribuye a disociar los beneficios económicos de la producción agropecuaria tanto del costo de usar de los bienes comunes como del aumento en los "comunes negativos" (aquellos resultados de un proceso que pueden perjudicar a toda la sociedad). Proponemos que la gestión a largo plazo de este conflicto requiere ir más allá de los sistemas individuales y de los tiempos fisiológicos de los cultivos, necesitamos gestionar considerando los tiempos evolutivos en nuestro sistema integral e interconectado que es la Tierra.

Palabras clave: granos, glifosato, monocrotófos, eutrofización, externalidades

Contribuciones de los autores: LLC, MH, LC, PER e IES diseñaron la investigación, ejecutaron la investigación y escribieron el manuscrito.

Conflictos de intereses: los autores no declaran ningún conflicto de interés.

Eclipsed inputs and outputs in modern agriculture

Grupo de análisis crítico de la biotecnología

Couso, Luciana Laura (Cátedra de Genética - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, lcouso@agro.uba.ar)

Harris, Marcela (Cátedra de Horticultura - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, mharris@agro.uba.ar)

Chornogubsky, Laura (CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Sección Paleontología de Vertebrados, Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"; Cátedra de Genética - Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, lchorno@macn.gov.ar)

Rodríguez, Pablo Esteban (Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Instituto de Investigaciones Gino Germani - CONICET, prodriguez@sociales.uba.ar)

Sánchez, Ignacio Enrique (Laboratorio de Fisiología Proteica, Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, IQUIBICEN-CONICET, isanchez@qb.fcen.uba.ar)

Abstract: Conventional agricultural production is based on the input of resources into the cropping system from the surrounding environment, such as seeds or agrochemicals, which enables the system to generate productive outputs. The most common analysis of these systems highlights the inputs and outputs that have a market value. Going beyond economic criteria, analyzing field systems as systems that exchange matter and energy with their surroundings, allows us to identify other inputs and outputs that are often eclipsed despite their social and biological relevance. Eclipsed inputs include finite resource reservoirs such as water and crude oil. The case of the Aral sea in central Asia shows how consuming water solely according to the logic of individual fields can destroy a region's capacity to sustain human life. The social footprint of organophosphate fertilizers in Western Sahara underlines that the use of an input in a field can have consequences far away from it. Many eclipsed outputs such as agrochemicals, fossil fuels or plastics pollute our environment and have negative effects on biodiversity and human health. In all, input-based agriculture generates costs at a planetary scale, which are often relativized or invisibilized. This contributes to dissociating the economic benefits of agriculture from both the cost of using common goods and the rise in the "negative commons" (those results of a process that can harm the society as a whole). We propose that alleviating this conflict in the long term requires going beyond the handling of individual systems and crop physiology. Our management of agriculture needs to consider evolutionary timescales in our integral and interconnected system: Earth.

Keywords: grains, glyphosate, monocrotophos, eutrophication, externalities

Author contributions: LLC, MH, LC, PER and IES designed research, performed research and wrote the manuscript.

Conflict of interests: none declared.

1. Tecnología en el agro y uso de insumos

Podemos considerar la producción agropecuaria desde un punto de vista estrictamente económico. Invertimos en el sistema productivo (ingresa capital) y obtenemos un rendimiento (obtenemos capital). Esta descripción de entradas y salidas nos permite comprender ciertos aspectos de la producción pero deja otros afuera.

Un enfoque más tecnológico de las entradas y salidas nos muestra otros ángulos. Desde el sector agropecuario convencional se plantea que los enfoques tecnológicos han incrementado los rendimientos y la producción agropecuaria global [1]. Tomemos como ejemplo un campo en Argentina en donde se cultiva maíz amarillo mediante producción convencional. El primer paso del proceso productivo es definir los límites del sistema “cultivo”, lo que con frecuencia implica un límite físico como un alambrado (Figura 1). A partir de ahí, lo que ocurra dentro de los límites del alambrado estará altamente controlado y monitoreado hasta donde sea posible. Lo que ocurre afuera se llamará entorno, queda alienado del sistema [2] y el productor puede momentáneamente ignorarlo. Se identifican las especies vegetales y animales dentro de los límites del cultivo y se remueven las no deseadas, usando medios químicos o mecánicos. Esto constituye una salida del sistema. A continuación se prepara el campo y se introducen elementos en el cultivo, como semillas de la variedad de maíz elegida. Esta decisión de entrada a su vez determina gran parte de los manejos necesarios para una producción eficiente. Según cual sea dicha variedad deberán suministrarse además otras entradas como agua para riego, pesticidas de diversos tipos y/o fertilizantes para aumentar el rendimiento. Por ejemplo, si se siembra maíz “Bt” se pueden ahorrar los plaguicidas anti-lepidópteros. Esto se debe a que este maíz transgénico posee un gen adicional en su genoma obtenido de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, cuya expresión produce la proteína *Cry* que es mortal para plagas del maíz como los lepidópteros entre otros grupos de insectos [3]. A cambio, el manejo de un campo con maíz “Bt” requiere la entrada de algunos agroquímicos. Eventualmente sale del cultivo una producción, que se divide según la conveniencia de quien gestiona el cultivo. Una parte es comercializada, otra parte se utiliza para preparar el campo para nuevos usos productivos y otra parte se descarta.

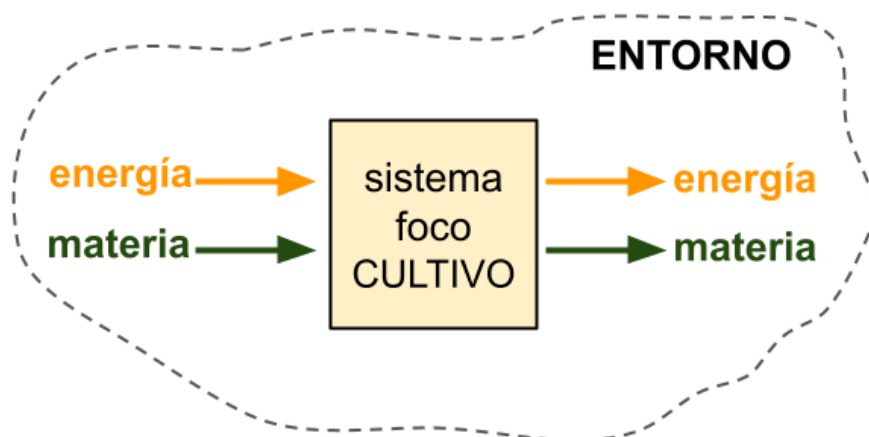


Figura 1. Sistema “cultivo”. Se trata de un sistema ecológico (y termodinámico) abierto porque intercambia materia y energía con el entorno.

El proceso de tecnologización del agro subsidia este campo de maíz con la entrada de diversos insumos que resultarían en un aumento del rendimiento productivo. Los insumos son materiales externos al sistema. Los mismos pueden provenir de otro sistema similar o de una industria que los fabrica, incluso muy lejos de donde son utilizados. Para poder aplicar insumos en el proceso productivo de un cultivo se requiere de disponibilidad de capital, ya que cotizan. Los insumos más comunes son las maquinarias, el agua, los agroquímicos (fertilizantes, pesticidas que incluyen herbicidas e insecticidas) y las semillas de genotipos mejorados o modificados genéticamente con resistencia a virus, bacterias, insectos y tolerancias a diversos tipos de estrés. A esta forma de producir alimentos la definió Ernesto Viglizzo como tecnología basada en insumos [4].

En el presente trabajo nos proponemos por un lado identificar de manera sistemática tanto las entradas de insumos en un campo de cultivo como las salidas de producción y desechos. Daremos cuenta de los insumos y salidas más conocidos del agro moderno, aquellos que entran en el balance económico de la producción por tener un valor de mercado. También señalaremos aquellos insumos y salidas menos visibles para productores, académicos y la sociedad en general por no contar con una cotización directa. A estos últimos los llamaremos insumos y salidas eclipsados.

2. Entradas de insumos a un cultivo

Desde un punto de vista productivo, en un campo de cultivo entran insumos y salen productos, ambos con valor de mercado. También es posible analizar los cultivos más allá de los criterios económicos, como sistemas abiertos que intercambian materia y energía con su entorno (Figura 1). Esto traslada la ecología y la termodinámica al campo de cultivo y puede hacer visibles muchas variables importantes que suelen permanecer ocultas [5]. Damos a continuación una lista de entradas y salidas de materia y energía que (sin ser exhaustiva) nos parece representativa para este caso. En términos de materia ingresan al sistema, por ejemplo, agua, semillas y fertilizantes. El agua se canaliza desde

un río o un lago, las semillas y los fertilizantes se pueden traer desde cultivos contiguos o desde sistemas lejanos, generalmente industrias. La materia que sale del sistema incluye no solamente la cosecha sino también residuos líquidos y sólidos. La entrada principal de energía a un cultivo es la radiación solar incidente, que ingresa a través de los vegetales y hace posible la producción de biomasa en el cultivo. Los vegetales son organismos autótrofos que fijan carbono gracias a la fotosíntesis. Esto es, transforman la energía lumínica en energía química contenida en los enlaces covalentes de biomoléculas de sus tejidos, como los hidratos de carbono. En un sistema silvestre, esta energía fijada por los organismos autótrofos circula principalmente a los organismos heterótrofos y descomponedores. En un campo de cultivo, el productor invertirá dinero y esfuerzo en insumos para que el consumo de biomasa vegetal por los organismos heterótrofos sea lo más reducido posible, de forma que la energía química se concentre en el producto comercializable del cultivo. La salida de energía del sistema no se da exclusivamente en forma de producto comercializable o de heterótrofos que entran, comen y salen. El metabolismo de los seres vivos del sistema, tanto autótrofos como heterótrofos, disipa energía que sale del cultivo en forma de calor. El análisis de un campo de cultivo como sistema ecológico y termodinámico abierto pone de manifiesto varios hechos importantes. Primero, que en el sistema hay entradas y salidas que quedan eclipsadas en un análisis económico o productivo al uso, típicamente por carecer de valor directo de mercado. Segundo, que toda entrada/salida de materia/energía del sistema lleva consigo una entrada/salida de materia/energía del entorno. Los cambios en el entorno quedan muchas veces fuera de un análisis productivo, pero como veremos más adelante pueden resultar muy relevantes para la sociedad donde se produce.

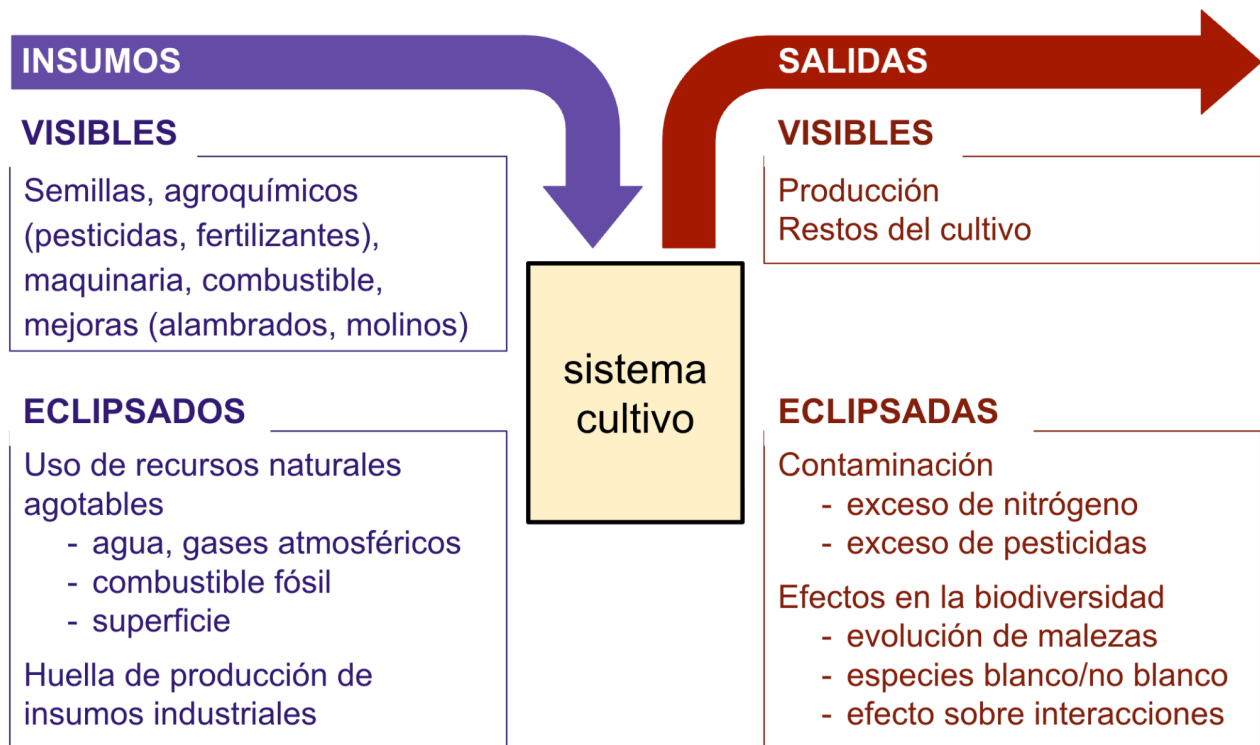


Figura 2. Insumos y salidas de un sistema “cultivo”. Tanto insumos como salidas pueden clasificarse en visibles y eclipsados.

Identificamos entonces de manera muy general aquellos insumos que ingresan a un sistema productivo como el cultivo de maíz (Figura 2). El conjunto de insumos comúnmente utilizados puede dividirse en dos tipos. Por un lado, los insumos visibles, se compran de manera directa en el mercado e implican un gasto de relevancia para el balance económico final. Por otro lado, los insumos eclipsados son menos visibles porque al no cotizar no se compran de manera directa. En muchas ocasiones, los insumos eclipsados implican el uso de bienes comunes.

2.1. *Insumos visibles de origen industrial con valor de mercado*

Hay insumos del sistema que son fácilmente identificables porque el productor debe adquirirlos, pagar por ellos y tenerlos en cuenta en el momento de realizar el balance económico final. Los más visibles tal vez sean las semillas, los pesticidas y los fertilizantes. Las semillas sembradas bajo este paradigma son una entrada visible que suele provenir de una industria semillera (actualmente ligada a la industria farmacéutica) que posee o bien la patente de la semilla o bien el permiso de comercialización y producción. Estas empresas comercializan semillas de genotipos que cumplen con normas de sanidad, porcentaje de emergencia, e implantación y cuyo producto está dentro de ciertos estándares de calidad. Sin sorpresas, sin variabilidad. Las semillas con un historial de mejoramiento o intervenidas mediante biotecnologías, como las semillas transgénicas, se cotizan como cualquier otro producto inerte comercializable. Se compran por peso y llegan en una bolsa hasta el campo de cultivo pero su lugar de origen puede ser muy lejos de allí. Estas semillas están asociadas a requerimientos generales y específicos, como condiciones ambientales o agroquímicos. La entrada de fertilizantes al sistema es un requerimiento visible y muy general para que la agricultura de insumos alcance los niveles deseados de rentabilidad. Los requerimientos específicos en general provienen de la compra de un paquete tecnológico que incluye tanto la semilla como el agroquímico vinculado a la misma. Detrás de cada semilla intervenida hay un agroquímico que entra en el sistema cultivo y detrás del agroquímico hay una empresa que realizó el desarrollo tecnológico y cobra por él. Por ejemplo, el trigo IND- ØØ412-7, más conocido como el trigo HB4, es un trigo transgénico que posee dos transgenes diferentes. El primero proviene del girasol y codifica para una proteína HAHB4, un factor de transcripción que aumenta sus niveles en respuesta a condiciones de estrés ambiental, principalmente, de estrés hídrico. El segundo, el gen *bar* proveniente de *Streptomyces hygroscopicus* que le otorga al trigo resistencia al glufosinato de amonio, un herbicida de contacto de amplio espectro [6]. La elección de una semilla transgénica como podría ser este trigo HB4 está asociada a un contexto de estrés ambiental pero también implica la utilización del glufosinato de amonio como herbicida. Finalmente, las prácticas productivas conocidas como mejoras (alambrado, molino, bomba de riego si la hubiera, maquinaria para preparar los suelos, sembrar, aplicar fertilizantes y fitosanitarios, cosechar, el combustible para la maquinaria) también son ingresos visibles de materia y energía en forma de trabajo. Todos estos insumos visibles se cotizan como parte de los gastos de la campaña anual de producción del sistema cultivo. Desde el punto de vista del productor estos insumos son muy importantes porque definen los costos y en consecuencias el

balance económico de la producción (en qué insumos se invierte y cuánto dinero, qué producción se obtiene y la ganancia que esto significa).

2.2. *Insumos eclipsados: recursos naturales finitos*

Los insumos de la sección anterior no son los únicos necesarios para la producción agropecuaria. Hay otros insumos que ingresan al cultivo desde el entorno y que por diversas razones no se suelen tener en cuenta. A continuación tratamos de visibilizar algunos de estos insumos eclipsados.

El entorno de la Figura 1 es un conjunto de lugares físicos. En otras palabras, los insumos que ingresan al sistema cultivo, como el agua o los fertilizantes, provienen de algún lado. En el caso del carbono que fijan las plantas de un cultivo, el aumento del tejido vegetal proviene del dióxido de carbono (CO_2) atmosférico que ingresa por los estomas. Si bien el dióxido de carbono no es un insumo en el sentido comúnmente utilizado, se trata sin duda de una entrada de materia al sistema y su disponibilidad es fundamental para el funcionamiento del cultivo (Figura 2). La reserva global del insumo eclipsado CO_2 es compartida por todo el planeta: si una molécula particular de este gas se fija en una planta de maíz en Sudamérica entonces no estará disponible para ser fijada por otra planta que se encuentre en África. Gracias al proceso de fotosíntesis, las plantas secuestran parte de este carbono atmosférico en su biomasa verde y liberan a la atmósfera oxígeno molecular (O_2). Este segundo gas no solamente es una salida eclipsada debida a la fotosíntesis, también es un insumo eclipsado que utilizan todos los organismos (tanto autótrofos como heterótrofos) para respirar y vivir (Figura 2). La misma lógica de la atmósfera como reservorio global de un insumo eclipsado gaseoso se aplica también al O_2 . Los niveles de O_2 y CO_2 en la atmósfera están ligados a la biomasa global de organismos autótrofos y heterótrofos. Los seres humanos también afectan sus concentraciones como resultado de la gestión planetaria, sea esta explícita o no. Por ejemplo, el control de las emisiones industriales influye sobre los niveles de CO_2 y la protección de los bosques como pulmones verdes a nivel global está ligada directamente con la producción de O_2 atmosférico.

La composición de la atmósfera actual de la tierra es característica del momento actual de nuestro planeta, con un 21% de O_2 y menos del 1% de CO_2 . Estos números son drásticamente distintos a los de la atmósfera de Marte, que contiene hoy un 95% de CO_2 y solamente trazas de O_2 , y han variado a lo largo de la historia de la Tierra por motivos diversos. El O_2 de nuestra atmósfera es esencialmente de origen biológico. Se ha postulado que con la aparición de las cianobacterias (organismos unicelulares presentes en las costas marinas) hace 3500 millones de años se comenzó a liberar O_2 que, luego de precipitar junto con el hierro de los océanos previamente anaeróbicos, comenzó a ser liberado y formar parte de la incipiente atmósfera [7]. Hoy además se considera que también existe formación de " O_2 oscuro" en los fondos oceánicos, posiblemente sin la participación de microorganismos [8]. Los primeros animales evolucionaron en los océanos hace unos 570 millones de años [9]. Esto estaría indicando que en ese momento los niveles de oxígeno marino ya serían compatibles con organismos multicelulares más

complejos [10]. Más aún, se considera posible que muchas de las radiaciones evolutivas de distintos grupos de animales estén relacionadas al aumento en la concentración de O₂ atmosférico.

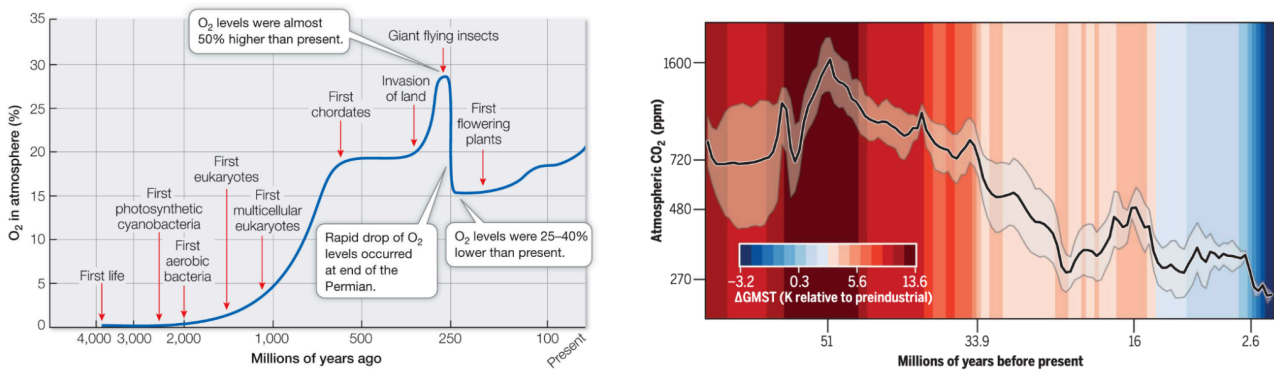


Figura 3: Reservorios de insumos gaseosos atmosféricos a lo largo de la historia de la Tierra. Izquierda: oxígeno, durante toda la historia de la Tierra y en relación a eventos de diversificación de la vida [7, 9, 10]. Derecha: dióxido de carbono, durante la Era Cenozoica y superpuesto con la temperatura promedio de la superficie terrestre (GMST) [11].

Por otro lado, el CO₂ también ha fluctuado a lo largo de la historia de la Tierra [11]. Los picos más altos de CO₂ durante la Era Cenozoica (que abarca los últimos 66 millones de años) se dieron durante el óptimo climático del Eoceno Temprano, hace poco más de 50 millones de años. En ese momento las concentraciones fueron de aproximadamente 1600 ppm. Con algunas oscilaciones, la concentración de CO₂ fue disminuyendo a lo largo del Cenozoico. Para comienzos del Oligoceno hace unos 34 millones de años, la concentración había caído a unas 600 ppm. Entre el Mioceno (entre 23 y 5 millones de años atrás) y el Pleistoceno (entre 5 millones de años y aproximadamente 12000 años atrás) los valores estuvieron entre 400 y 200 ppm, excepto por un aumento notable durante el Mioceno medio (500 ppm hace aproximadamente 16 millones de años). En épocas más recientes, preindustriales, los valores de CO₂ eran de 280 ppm hacia el año 1850, mientras que se estimaron en 419 ppm en 2022 [12]. El carbono atmosférico está ligado al uso de combustibles fósiles, que se obtienen a partir de petróleo crudo, una mezcla de compuestos proveniente de materiales orgánicos fosilizados. La extracción y uso de petróleo, entre otros usos para la producción agrícola, probablemente conduzca a lo largo de este siglo al agotamiento de las reservas mundiales. Esto implica que el combustible es un insumo con costos tanto visibles (gasto directo) como eclipsados (agotamiento de las reservas). Resumiendo, el O₂ y el CO₂ de la atmósfera son reservorios globales cuyos niveles son esenciales para el mantenimiento de la vida en su forma actual.

El agua es un muy buen ejemplo de un recurso natural que funciona como insumo eclipsado en muchos sistemas productivos. Como el O₂ y CO₂, se trata de un recurso finito que proviene de una fuente compartida por múltiples sistemas (contiguos, cercanos o incluso separados por grandes distancias). El agua es un bien común indispensable para la vida y tiene una disponibilidad finita y heterogénea. Cuando se utiliza como

insumo para riego en un campo de cultivo, un agente privado reduce las reservas locales existentes y por tanto disminuye su disponibilidad para otros usos, humanos y de otras especies. En 2020 se calculó que aproximadamente el 41% del riego mundial se realiza a expensas de las necesidades de caudales ambientales [13]. Es decir, a expensas del agua dulce que se requiere para sostener los socioecosistemas (ecosistemas con vida humana incluida). El riego genera biomasa de cultivo con valor de mercado que el productor comercializa y por la cual recibe ganancias para su propio usufructo (Figura 2). El uso acumulado por privados implica el desvío de caudal de agua de uso común convirtiéndose en una apropiación de dicho caudal que no es compensada más tarde.

Esta problemática del insumo eclipsado agua llevó a una drástica reducción del Mar de Aral en Asia central, el cuarto cuerpo de agua continental más grande que existía en la década de 1960 con una superficie aproximada de 67.000 km² (Figura 4, arriba). Esta zona tenía una gran riqueza de especies, incluyendo especies endémicas, tanto de fauna acuática, como aves, plantas, mamíferos, etc. Los afluentes principales del Mar de Aral son los ríos Amu y Syr Darya. El nivel de este lago estaba determinado por el balance entre el ingreso de agua por sus afluentes y la pérdida por evaporación neta. A lo largo de su historia, el Mar de Aral mostró fluctuaciones en su volumen hasta que en los tramos bajos del Amu y Syr Darya se intensificó la práctica de riego y comenzó un proceso rápido de desecación. En 1900 había aproximadamente 3 millones de hectáreas bajo riego en la cuenca del mar de Aral, en 1960 la cifra aumentó a 5 millones y hacia el 2000 ya eran 7,9 millones de hectáreas bajo riego [14, 15]. Para sostener el riego intensivo de cultivos como el algodón y el arroz, que consumen grandes cantidades de agua, se desvió una importante parte del caudal de los ríos hacia los campos. Dicho volumen dejó de ingresar al lago generando una disminución del nivel del lago [16]. Con la desecación se produjo una salinización, con un importante efecto ambiental y económico. En la década de 1960, por ejemplo, comenzó la crisis de la pesquería ya que muchas especies endémicas de peces se vieron afectadas por la salinización. Las capturas de peces entre 1961 y 1976 disminuyeron más de cuatro veces. Las especies dejaron de reproducirse y para finales de la década de 1970 la fauna comercial autóctona íctica había desaparecido totalmente [17]. Desde el mar Negro se introdujo el lenguado entre 1979 y 1987 para preservar la pesquería, y fue el único pez comercial que persistió entre 1991 y 2000.



Figura 4. Arriba: Imagen de los cambios en el Mar de Aral obtenida de Micklin y Aladin (2008) [16]. Abajo: Imágenes representativas del suelo descubierto por desecación en el Mar de Aral.

El retroceso del Mar de Aral ha dejado al descubierto 54.000 km² de suelo (Figura 4, abajo). Esta superficie comenzó con un proceso de desertificación acompañada desalinización que además contiene una alta concentración de pesticidas y otros agroquímicos que se depositaron por escorrentía desde los campos agrícolas de la zona [16]. Con la desertificación el nivel del agua subterránea en algunos lugares pasó de 5 a 10 m de profundidad haciéndose inaccesible para las raíces. Hubo un reemplazo de especies vegetales endémicas por especies halófitas y xerófitas tolerantes a salinidad y a bajas disponibilidades de agua respectivamente [18, 19]. Durante los 30 años comprendidos entre 1960 y 1990 la desecación disminuyó la biodiversidad: las especies de aves pasaron de 319 a 160, las de mamíferos de 72 a 32 y en el caso de los peces de 32 especies quedaron sólo 6 [17]. La salud humana local también se vio afectada por todos estos cambios: se detectaron elevados niveles de enfermedades respiratorias, cáncer de garganta y esófago, y trastornos digestivos causados por respirar aire e ingerir agua con alto contenido de sal [16]. La crisis de la pesquería también condujo al aumento del desempleo y a un deterioro de la salud por el incremento en la desnutrición y la anemia [20].

Este ejemplo muestra la cadena de consecuencias ambientales y de economía local de desviar el caudal del insumo eclipsado agua hacia cultivos sin considerar el balance hídrico (con sus fluctuaciones anuales e interanuales) y el contexto regional (Kazajistán y Uzbekistán son los países que poseen costas al Mar de Aral, pero los afluentes pasan por Kirguistán y Tayikistán). Hoy se continúa trabajando en la restauración de la vegetación y en la remediación de la zona con el fin de eliminar la contaminación.

En resumen, el agua y los gases de la atmósfera son insumos eclipsados en las prácticas agrícolas al uso. La disponibilidad global, regional y local de estos insumos eclipsados es limitada, por lo que mantenerlos fuera del balance de entradas y salidas de los cultivos individuales puede tener consecuencias a escalas más grandes.

2.3. Insumos eclipsados: huella de producción de insumos industriales

La producción agrícola basada en insumos requiere de la toma de decisiones cuyos efectos hay que considerar. Los efectos de las distintas decisiones se observan no solamente en el cultivo sino también en los sistemas del entorno donde ocurren procesos relacionados con la producción o distribución de los insumos. La historia de algunos agroquímicos como los fertilizantes comienza con la explotación minera de las rocas que contienen los minerales para su producción. Continúa con un proceso de fabricación industrial con una huella de carbono y generación de residuos, para luego concluir con la distribución global de estos productos en un mercado globalizado (distribución que requiere el uso de combustibles fósiles). Todo este camino involucra inversiones, uso de combustibles fósiles, emisiones, contaminación y acuerdos y políticas internacionales. Mientras que el uso de un fertilizante en un cultivo es un insumo visible, las consecuencias de su extracción, procesado y distribución muchas veces se encuentran eclipsadas.

Los agroquímicos organofosfatos que se utilizan como pesticidas y fertilizantes son productos industriales que pueden obtenerse solamente mediante procesos mineros a partir de reservas de roca de fosfatos [21]. Las cantidades crecientes de fosfato que demanda el mercado global son principalmente para la producción de agroquímicos asociada a la agricultura tecnologicada o de altos insumos. Esto deriva en un aumento del precio en el mercado y a una mayor explotación de las reservas.

Una de las mayores reservas mundiales de fosfatos se encuentra en territorio Saharaui en el Sahara Occidental, en las minas de Bou Craa, descubiertas en 1947. La explotación de los fosfatos en este territorio nunca estuvo en manos del pueblo que lo ocupa y por lo tanto los Saharauis no han recibido nunca ingresos por la venta de estas reservas. El Sahara Occidental fue ocupado en 1884 por la expansión colonialista de España, que en 1962 constituyó la primera empresa de explotación de fosfato en Bou Craa. En 1975, la presión internacional hizo que España se retirara de territorio Saharaui. En ese momento, España traspasa Bou Craa a Marruecos y Mauritania (aunque mantiene una participación del 35%). Posteriormente, Marruecos toma el control total de las minas, de sus reservas de fosfato y también de la mayor parte del territorio Saharaui. Cincuenta años más tarde, luego de la intervención de organismos internacionales, acuerdos entre potencias, violaciones de los mismos y luchas armadas, Marruecos continúa operando las minas de Bou Craa y vendiendo roca fosfórica al mercado global (principalmente a empresas de India, Mexico y Nueva Zelanda). Las exportaciones promedio de los últimos años le han generado a Marruecos un ingreso anual de alrededor de 250 millones de dólares. Marruecos ha realizado recientemente grandes inversiones en el puerto y en las

instalaciones de la mina con el objetivo de procesar los fosfatos obtenidos para producir fertilizantes y aumentar su precio de mercado [22].

Bou Craa es una mina a cielo abierto (Figura 5, izquierda) en donde se realiza la extracción con maquinaria de arranque. Inicialmente se estableció que las reservas de Bou Craa alcanzaban los 1.700 millones de toneladas de fosfato, pero estudios posteriores aseguran que ascienden a un total de 3.000 millones de toneladas. Una vez extraída, la roca es trasladada en la cinta transportadora de roca más larga del mundo, 100 kilómetros al oeste hasta el puerto de El Aaiún (Figura 5, centro). Desde allí, los buques de carga transportan los fosfatos a los importadores para la producción de fertilizantes. La extracción y primeros pasos de procesado de la roca se realizan entre Bou Craa y la zona cercana al puerto (Figura 5, derecha). Los ingresos de la explotación son percibidos por la empresa estatal marroquí OCP S.A. y los contaminantes de la explotación minera *in situ* son salidas principalmente locales a las que generalmente nos referimos como externalidades. Por otro lado, las empresas que compran el fosfato proveniente de Bou Craa deben pagar su transporte, completar el procesado para producir los fertilizantes y finalmente distribuirlos. Todas estas instancias implican consumo de combustibles fósiles, emisiones y contaminación [23], lo que constituye una externalidad eclipsada a escala planetaria.



Figura 5. Mina de fosfatos de Bou Craa en el Sahara Occidental. Izquierda: Fotografía de las minas de Bou Craa tomada desde la Estación Espacial Internacional en junio de 2018. Foto: M. Justin Wilkinson, Texas State University, Jacobs Contract at NASA-JSC. Centro: cinta transportadora que une Bou Craa con el puerto de El Aaiún a 100 km de distancia. Foto: usuario flickr jbdodane. Derecha: fosfatos sin tratar en la fábrica de la Compañía Nacional de Fosfatos de Marruecos (OCP). Foto: Fadel Senna / AFP.

Como hemos visto, el uso de organofosfatos como fertilizantes es aparentemente un insumo visible, pero con múltiples externalidades eclipsadas como huella de producción de los insumos industriales. El sistema Sahara Occidental provee la mayor parte de los fosfatos para la producción agrícola del planeta. Lo que recibe a cambio es contaminación, colonialismo y desplazamiento de sus habitantes, todas ellas externalidades eclipsadas. Este eclipse es posible en parte gracias a la separación geográfica, política y administrativa entre el Sahara Occidental y los sistemas donde se usan los fertilizantes. En conclusión, los insumos visibles vienen con frecuencia acompañados no solamente de insumos eclipsados sino de externalidades eclipsadas. A continuación analizamos más en detalle estas externalidades eclipsadas.

3. Salidas de un cultivo

Las salidas del sistema cultivo también se pueden diferenciar en dos grandes grupos (Figura 2). Las salidas más visibles están asociadas al producto comercializable y a sus residuos. También existen salidas eclipsadas o externalidades, que son menos visibles, no tienen un valor de mercado y frecuentemente poseen un flujo poco controlado.

3.1. Salidas visibles: producción y residuos

La principal salida visible del sistema en un cultivo de granos es el producto cosechado, un grano (semilla o fruto) con aproximadamente 13-14% de agua en su composición [24]. La baja perecibilidad del grano permite almacenarlo a su salida del sistema para comercializarlo a futuro. El método más utilizado en la actualidad es el silo bolsa, una bolsa de polietileno bicapa blanco y negro de 60-75 metros de largo. El silo bolsa se sella herméticamente en el mismo campo de cultivo y permite conservar el grano por aproximadamente 9 a 12 meses. El productor puede también acopiar en silos metálicos propios o rentados, que si bien tienen mayor costo, permite almacenar el grano hasta dos años en algunos casos). Por último, también se puede almacenar grano en acopios o cooperativas. Estas técnicas de almacenamiento hacen posible comercializar los granos bajo diversas modalidades: venta a cosecha, venta anticipada (*forward*, en la que se pacta un precio, pero con entrega futura), entrega de grano pero con precio a fijar en el futuro y canje (por servicios como riego o maquinaria, entre otros). El precio depende de diversos factores como oferta/demanda, factores climáticos, políticas comerciales, especulación, entre otros, y se negocian en bolsas de futuros, como la *Chicago Mercantile Exchange / Chicago Board of Trade* (CBOT) [25, 26]. En Argentina, el Mercado a Término de Buenos Aires (MATba) y el Rofex (Rosario Futures Exchange), que se unieron en 2019, son la principal plataforma en la que se negocian contratos de futuros y opciones de granos [27, 28]. En estas bolsas de futuros también se operan activos financieros, energía, bursátiles, entre otros, que influyen en el precio de referencia de los granos. En resumen, el valor económico del grano resulta de un número elevado de factores, muchos de ellos externos al sistema cultivo.

La salida de granos de un sistema suele medirse en kilogramos o toneladas por hectárea. En el paradigma actual de siembra directa, en el que no se realiza labranza o remoción de suelo para iniciar un cultivo, los residuos de cosecha (rastrojo) permanecen en el campo de cultivo. Si bien no son una salida del sistema, resulta interesante cuantificarlos. Esto es posible a partir del índice de cosecha, una relación frecuentemente reportada entre el peso de grano cosechado y el peso total de la biomasa aérea (en ocasiones se incorpora la biomasa radical al cálculo, conociendo al resultado como índice de reparto). El índice de cosecha depende de diversos factores, como la variedad cultivada, las características climáticas y edáficas de la zona, la densidad de siembra, la distancia entre hileras, entre otros. Históricamente, el índice de cosecha para híbridos convencionales era de 0,4 (cada tonelada cosechada generaba además tonelada y media de biomasa no cosechable) y en la actualidad pueden llegar a valores de 0,62 en el caso del maíz (cada tonelada cosechada genera además 613 kilogramos de biomasa no cosechable) [29, 30]. Podemos

concluir que la salida de una tonelada de granos del sistema da lugar a la transformación de una cantidad similar de materia en residuo de cosecha, lo que modifica a lo largo del tiempo la configuración interna del sistema cultivo.

3.2. *Externalidades negativas: Contaminación*

La contaminación es la introducción de sustancias o elementos físicos nocivos en un sistema. La producción agrícola basada en insumos como los agroquímicos, los combustibles fósiles o los plásticos puede dar lugar a contaminación de varias maneras, tanto en el sistema cultivo como en su entorno. Se estima que globalmente se generan al menos unas 10 millones de toneladas de residuos plásticos del agro al año, principalmente provenientes de plásticos para invernaderos, acolchados, tubos, redes y films para ensilaje. Muchos de estos residuos se acumulan en los ríos (incluso se han encontrados a cientos de kilómetros de donde se descartaron) y luego debido a las crecidas por lluvias terminan en los océanos [31]. En segundo lugar, el uso de combustibles fósiles contribuye al aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera desde el inicio de la era industrial [12], que en 2022 llegó a una media anual de 419 ppm. Se trata de una subida brusca (las concentraciones actuales fueron observadas por última vez hace unos 14 millones de años, durante el Mioceno [11]) y que puede dar lugar a alteraciones drásticas en la biosfera a través del efecto invernadero. Por su parte, el destino de los agroquímicos depende de sus propiedades físicas y químicas. Pueden ser retenidos y acumularse en el suelo o movilizarse. Si se movilizan, pueden ingresar en la atmósfera y ser arrastrados por el aire (volatilización), pueden ser absorbidos por plantas y animales o entrar en contacto con el agua, donde pueden concentrarse en ciertos cuerpos de agua (como ocurrió por ejemplo en el Mar de Aral). Dependiendo de sus características, los agroquímicos pueden tener alta persistencia y permanecer en el ambiente acumulados durante años. Por ejemplo, el DDT hace 30 años que no se utiliza en el agro pero aún hoy persiste en suelo y sigue volatilizando a la atmósfera [32]. Dependiendo de cada caso, se trata de contaminación visible o eclipsada.

El agua para consumo humano es escasa. Para cada población concreta, esto puede deberse tanto a la falta de acceso a fuentes de agua cercanas como al creciente deterioro por la contaminación de la calidad del agua dulce de cuencas de río, lagunas, deltas y la consecuente reducción de la cantidad de agua segura para consumo. Los fertilizantes nitrogenados utilizados en el agro son una potencial fuente de contaminación porque pueden llegar hasta los cuerpos de agua, donde mediante una cascada de efectos pueden generar toxicidad y convertir cuerpos de agua dulce seguros en fuentes no aptas para consumo. En Argentina este tipo de fertilizantes se utilizan en cultivos como soja, maíz o cebada. El exceso de nitrógeno de los fertilizantes en forma de nitratos llega a las aguas subterráneas por lixiviación y de allí pasa a los cuerpos de agua cercanos [33, 34]. Como resultado de este vertido de nitrógeno desde múltiples establecimientos de una zona se produce un aumento de materia orgánica en las aguas y ocurre el proceso denominado eutrofización (en este caso eutrofización cultural por estar acentuado por la acciones del hombre). Aparecen floraciones de cianobacterias (blooms de algas verde azuladas) que pueden ser tóxicas, disminuye el oxígeno disuelto generando anoxia y

limitando el crecimiento y desarrollo de muchas otras especies acuáticas [35–37]. Esta contaminación deriva en una importante pérdida de biodiversidad en los cuerpos de agua afectados. A diferencia de la eutrofización por causas externas al humano, que es lenta y acumulativa, la eutrofización cultural disminuye muy rápidamente la calidad como recurso hídrico de los cuerpos de agua afectados [38].

Los herbicidas son también insumos altamente contaminantes. El herbicida glifosato se sintetizó en 1959 en un laboratorio farmacéutico en Suiza, pero recién en 1970 comenzó a utilizarse para control de malezas de los cultivos [39]. Es un herbicida de amplio espectro, no selectivo y de acción sistémica. Su acción herbicida se debe a su capacidad de inhibir la enzima EPSPS (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa) presente en plantas y diversos microorganismos. Esta inhibición interfiere con la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptofano, esencial en plantas. Como esta enzima no está presente en mamíferos se pensó que el glifosato no sería un problema para la salud humana. Su adopción estuvo relacionada con una menor toxicidad de este compuesto en relación a los que se utilizaban hasta ese momento con el mismo fin, como la atrazina.

En 1996 se aprobó en Argentina el primer cultivo transgénico cuyo transgén otorgaba resistencia al glifosato: la soja RR (Roundup ready) (Figura 6). Roundup es el nombre comercial del glifosato, que fue inicialmente producido por la semillera multinacional Monsanto (absorbida en 2018 por la farmacéutica Bayer). La producción de soja transgénica en Argentina entre los años 1996-2010 pasó de 15 a 55 millones de toneladas/año [40, 41]. En tan sólo 5 años la superficie total utilizada en Argentina para cultivar soja ya correspondía a soja RR (Figura 6). Esto consolida a la Argentina como uno de los principales países de producción de transgénicos en monocultivo. La adopción del “modelo sojero” representó un cambio de paradigma tanto en lo productivo como en lo económico, lo político y lo ambiental. La base de este modelo involucra la compra a multinacionales de semillas transgénicas y también del paquete tecnológico asociado (basado en el glifosato).

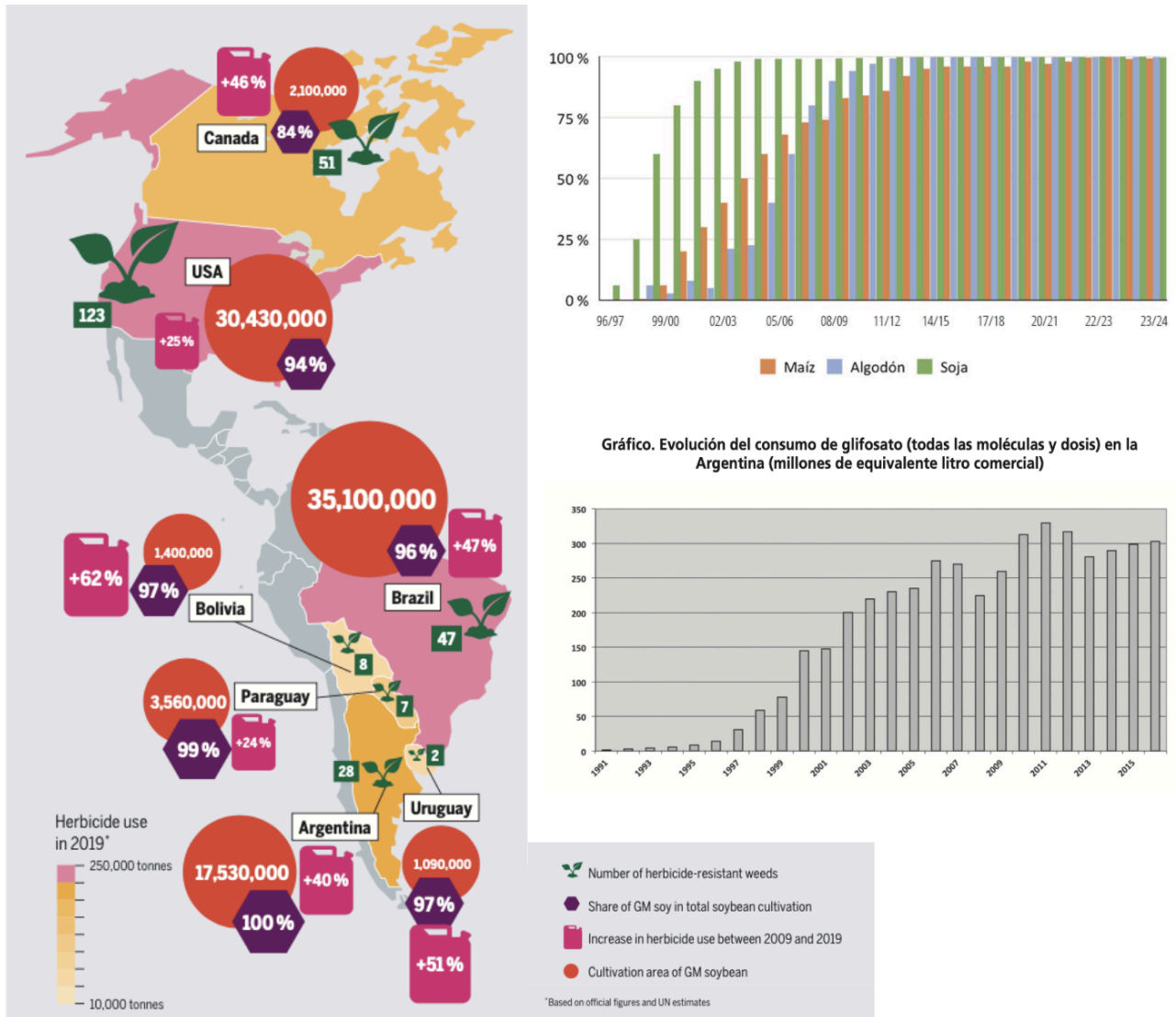


Figura 6. Cultivos transgénicos en América. Izquierda: Cultivo de soja transgénica en América en 2019 en hectáreas [42]. Derecha: Superficie de los 3 cultivos transgénicos más abundantes en Argentina (como % del total de cada cultivo) [43] y aumento en el consumo de glifosato en Argentina entre 1991 y 2015 [44].

Con el incremento del uso del glifosato o agroquímicos basados en glifosato (Figura 6) han aparecido problemas de diversa índole. Hoy día se trata de un compuesto casi ubicuo, presente incluso en orina de seres humanos y animales, por lo que los problemas asociados a la toxicidad por exposición directa son muy relevantes. Aunque inicialmente se lo consideró más seguro que otros herbicidas, el efecto de la exposición directa sobre la salud humana está documentado. Estudios sobre los efectos de la exposición a glifosato en humanos mostró impactos en el desarrollo mediados por el sistema endocrino y se evidenció la relación entre linfoma no Hodgkin y la exposición a glifosato. En el año 2015 la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo declaró “posiblemente carcinogénico” [45, 46]. También se estudió la toxicidad relacionada con los residuos de glifosato y metabolitos en alimentos y bebidas. En Argentina, la existencia de los denominados

“pueblos fumigados” llevó a la reglamentación de una distancia segura de las zonas pobladas para la pulverización con aviones sobre los campos.

La exposición directa no es la única forma de contaminación conocida causada por el glifosato. El glifosato llega hasta las fuentes de agua, hasta los alimentos y persiste en ambientes en donde habitan tanto poblaciones humanas como de otras especies. Otro efecto conocido del glifosato es la aparición y propagación de malezas resistentes al glifosato, lo que altera la diversidad genética. La aplicación de un herbicida en una población de malezas es una fuente de selección que favorece a los genotipos resistentes, estos sobreviven y se reproducen en la población y aumentan con el tiempo su frecuencia [47]. En el 2025 la cantidad de especies vegetales resistentes a un herbicida ascendía a 534, 60 de ellas resistentes al glifosato [45, 48]. Estas malezas resistentes son el resultado de la evolución de la población de estas especies vegetales y conforman actualmente un problema para la producción de cultivos. Para resolver algunos de estos problemas los productores adoptaron el uso combinado de múltiples herbicidas: El problema de los agroquímicos se quiere resolver con más agroquímicos.

Como vemos, la entrada visible y masiva de fertilizantes y herbicidas a un sistema cultivo tiene como contraparte la salida eclipsada (pero igualmente masiva) de las mismas o similares sustancias, cuyo principal efecto en otros sistemas es el de contaminantes que deterioran la calidad del agua, dan lugar a malezas resistentes y pueden enfermar a los seres humanos.

3.3. Externalidades negativas: efectos sobre la biodiversidad

Muchos de los insumos utilizados en el agro poseen una elevada toxicidad sobre diversas especies y no sólo sobre la especie blanco (ya sea por acción directa o indirecta). El glifosato tiene un efecto detrimental sobre la biodiversidad por ser un agroquímico tóxico para una variedad de organismos acuáticos, microflora del suelo y especies silvestres en general [45, 49].

El glifosato no es el único insumo cuya salida eclipsada puede dar lugar a efectos sobre la biodiversidad. Durante el verano de 1995-1996 en la Pampa Argentina se registró una mortalidad histórica por causas desconocidas del Aguilucho o gavilán langostero (*Buteo swainsoni*), un ave rapaz migratoria. Esta especie se alimenta en gran parte de saltamontes y orugas de zonas agrícolas del centro de Argentina, en donde pasan los meses desde noviembre a marzo antes de dirigirse a la zona de cría en el oeste de EEUU y Canadá [50]. Goldstein y colaboradores estudiaron la causa de muerte de 5095 aguiluchos en la Pampa Argentina, un número que representa al 1% de la población mundial de la especie [51]. Mediante análisis forenses se determinó que la causa de muerte fue la ingesta de invertebrados contaminados con monocrotofós (Figura 7). El monocrotofós es un agroquímico insecticida y acaricida organofosforado, sistémico y de amplio espectro, que actúa por ingestión y por contacto. En una primera etapa se utilizaba en soja, algodón y arroz, pero su uso se extiende ahora además a alfalfa, papa, sorgo, trigo, tabaco y girasol [51, 52]. En Argentina su uso en alfalfa estaba originalmente

asociado al control de orugas pero luego comenzó a utilizarse para control de saltamontes [51, 53]. Se hallaron residuos de este agroquímico en el tracto gastrointestinal de los aguiluchos analizados [51]. Se sabe por estudios en campos agrícolas de diversas zonas de EEUU e Israel que este producto es altamente tóxico para las aves y también para diversas especies de mamíferos. Que la decisión de utilizar un cierto agroquímico (como el monocrotofós) responda a un problema puntual que afecta la producción (como el control de saltamontes en alfalfa) no garantiza que esa decisión sea inocua. Las consecuencias sobre la biodiversidad también pueden verse en otros sistemas (si el agroquímico se mueve con el agua) e incluso de manera diferida en el tiempo (si tiene alta persistencia). Estos efectos colaterales o periféricos son parte de las consecuencias que deben considerarse al definir el uso de insumos altamente contaminantes.



Figura 7. Efecto de la salida eclipsada monocrotofós sobre la biodiversidad. El insecticida es ingerido por invertebrados de la familia Orthoptera, de los que se alimenta el gavilán langostero (Buteo swainsoni). El monocrotofós causó una mortandad masiva de gavilanes langosteros en Argentina en 1995-1996 [51]. Fotos: Gerald Holmes, SENASA, macloud, Germán Prancetti.

De manera global, los agroquímicos tóxicos generan externalidades negativas con efectos sobre ciertas especies, como la disminución del tamaño poblacional (que puede llegar incluso a la extinción local) o la alteración del repertorio genético de una población (como en la evolución de resistencias). A su vez, estos cambios pueden afectar a las interacciones de las especies que coexisten y a la resiliencia de los ecosistemas en su conjunto.

4. *Una visión más amplia de un campo de maíz*

Volvamos a nuestro ejemplo, un campo en Argentina en donde se cultiva maíz amarillo mediante producción convencional, supuestamente separado de su entorno por un alambrado (Figura 8). Un análisis convencional nos habla de insumos con valor de mercado como semillas y agroquímicos y de salidas que implican beneficios o costos directos como la producción y los desechos (Figura 1). Considerar el mismo campo desde el punto de vista más amplio de la ecología, la termodinámica, la economía y la geopolítica (Figura 2) nos habla también de insumos eclipsados que son recursos naturales finitos, como el agua, el O₂ y el CO₂ (Figuras 3 y 4) y de los daños asociados a la generación industrial de insumos visibles como los organofosfatos (Figura 5). Un análisis más completo de las salidas nos lleva a externalidades negativas como la contaminación por plásticos o fertilizantes o a los cambios no controlados en la biodiversidad por efecto de los agrotóxicos (Figuras 6 y 7). La lista de insumos y externalidades que hemos descrito no está completa. Podríamos añadir, por ejemplo, las consecuencias en diversas escalas del uso del petróleo para el traslado y empaquetado de la producción (Figura 8). O considerar que, aunque el maíz es un cultivo originario de México en donde mostraba su mayor diversidad genética, el origen actual de las semillas homogéneas genéticamente son multinacionales con base en otros países.

La manera en la que se presenta la producción basada en insumos invisibiliza buena parte de los costos planetarios de la producción agropecuaria. Las entradas al sistema que no son relevantes para la producción buscan limitarse o controlarse (para reducir gastos y/o aumentar la producción) y las salidas son manejadas a discreción en el discurso. Entonces, la contaminación o la disminución de la biodiversidad por efecto del cultivo son sólo externalidades. ¿Usamos la palabra externalidad para esconder algunas de las salidas del sistema? ¿Entonces en qué balance y cómo se contabilizan los efectos que tiene sobre otros sistemas el uso local de agroquímicos? ¿Acaso producir maíz en la pampa no lleva la carga en sus espaldas de la explotación minera asociada a la producción de los agroquímicos utilizados?



Figura 8. Insumos y salidas visibles y eclipsadas en la producción moderna de maíz. Centro: campo de maíz. Entorno cercano: mazorcas, contaminación por exceso de fertilizantes en una granja de Iowa, publicidad de fertilizantes con fosfatos de la National Fertilizer Company. Entorno global: maíz empaquetado en plástico fabricado a partir de petróleo, pozo de petróleo ardiendo en Irak, mina de fosfatos en el Sahara Occidental, mujeres saharauis. Fotos: Pieceearth, Forest y Kim Starr, Lynn Betts, Biblioteca pública de Boston, Sendik's Food market, US Navy, NASA, Saharuiak.

Buena parte del conflicto que describimos tiene que ver con el uso de los bienes comunes, aquellos que pueden beneficiar potencialmente a todos los seres humanos de una comunidad [54]. Sería el caso del agua, el petróleo o los gases de la atmósfera. Otra parte importante tiene que ver con los “comunes negativos”, aquellos resultados del proceso que pueden perjudicar a toda una sociedad humana, como la basura o la contaminación [55]. La producción agropecuaria implica comprar bienes comunes como agua o combustible, pero el precio que se paga no suele tener en cuenta las consecuencias de su explotación, como el eventual agotamiento del bien común, el costo de oportunidad (el agua o combustible que no va a otros usos humanos o de otros seres vivos) o los comunes negativos (externalidades negativas) que se generan en el proceso [56]. En general, quienes se hacen cargo de los costos de estas externalidades negativas comunes no son los productores tecnologizados. En primer lugar, podemos mencionar a la sociedad en su conjunto, que mitiga los daños a los comunes a través del uso de otro bien común, los impuestos. En segundo lugar, pagan los costos muchos colectivos humanos con menor poder que los productores tecnologizados. Por ejemplo, el poder en la Argentina de quienes se ven obligados a consumir agua contaminada con agrotóxicos o

el de los habitantes del Sahara Occidental es cercano a cero. Nuestros descendientes no nacidos no pueden presentarse en un juzgado a reclamar daños y perjuicios [57], pero nuestros modos de producción pueden reducir su calidad de vida o incluso la probabilidad de su existencia.

5. Muchos sistemas abiertos hacen un mundo de sistemas conectados

Desestimar los costos globales invisibilizados que resultan de la producción de insumos como los agroquímicos hace uso de la conceptualización de los sistemas productivos locales como si de sistemas cerrados o aislados se tratara. Como si fueran tubos de ensayo en un laboratorio, entidades en sí mismas que flotan en un entorno que no cambia.

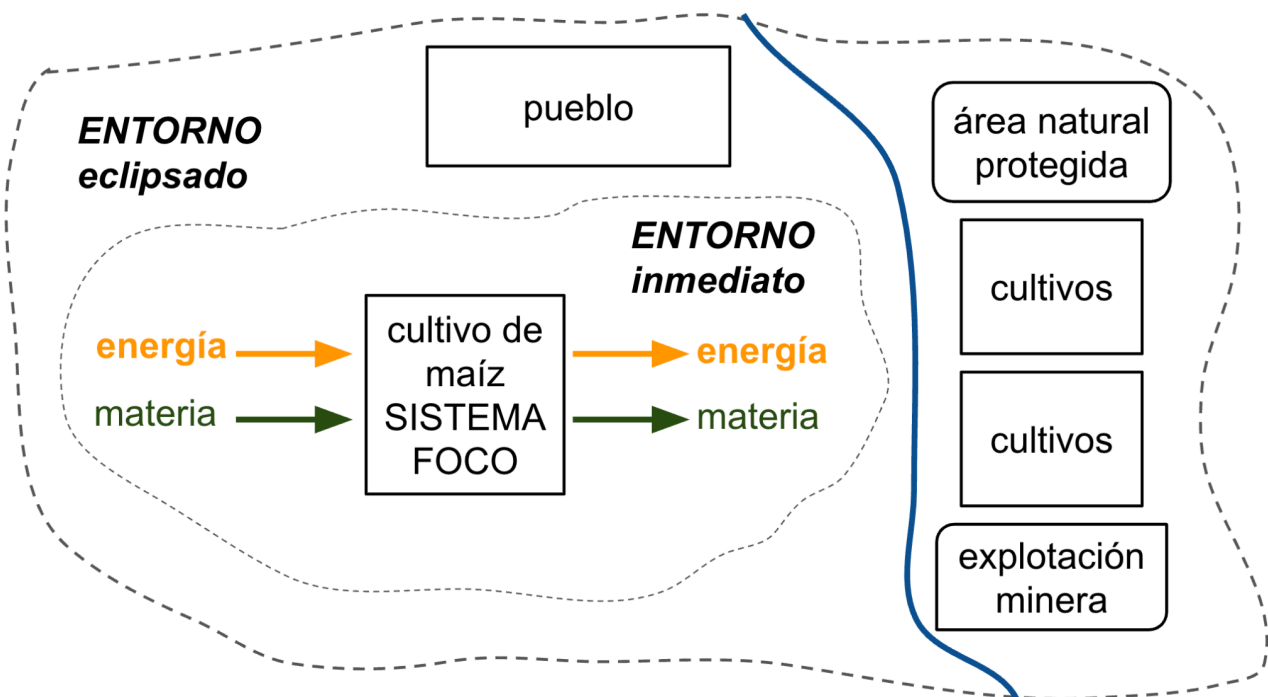


Figura 9: Esquema simplificado de posibles sistemas interconectados en la escala regional. Los insumos contaminantes aplicados inicialmente en el cultivo pueden salir de ese sistema y llegar al cauce del río y así al pueblo o a un área protegida. Las prácticas de producción en cultivos vecinos pueden ser diferentes. La explotación minera puede ser el sistema de origen de algunos insumos empleados en los cultivos.

La separación entre sistema cultivo y entorno no es más que una herramienta humana (Figura 1) que responde tanto a un cierto análisis de la realidad como a las necesidades productivas [2]. No refleja un límite absoluto entre sistema y entorno que podamos controlar totalmente. Cualquier sistema observado tiene efectos y se ve afectado por otros sistemas cercanos y lejanos. Cada sistema depende de otros, y todos están conectados (Figura 9). La interconexión entre sistemas tiene diferentes niveles de alcance: A escala local, la aplicación de un agroquímico volátil en un campo de producción de altos insumos puede afectar el campo vecino en donde se hace producción orgánica o llegar por volatilización hasta la población lindera y entrar en contacto directo con los pobladores o

incluso contaminar las fuentes de agua potable. En la escala regional, el uso del agua para cultivo disminuye su disponibilidad inmediata en los otros sistemas de la cuenca (como en el Mar de Aral). Si analizamos más allá de los límites regionales, en la escala global se utilizan grandes cantidades de agua dulce para enfriamiento y generación de electricidad en los centros de datos de las inteligencias artificiales. Un centro de datos de una empresa tecnológica en 2023 consumió más de 23 mil millones de litros de agua dulce para refrigeración, 80% de los cuales eran potables [58]. En esta escala también se puede mencionar la utilización de agroquímicos de producción y distribución mundial cuya base productiva está asociada al consumo de combustibles fósiles y a la desterritorialización de los antiguos pobladores (minas de roca de fosfatos de Bou Craa).

Entonces, ¿el sistema cultivo tiene algún elemento distintivo que lo hace ser una unidad diferente al todo? No, un cultivo es un sistema más en la matriz de sistemas interconectados que conforman el planeta. Cultivos, minas, bosques, lagos... Lo que distingue a todos esos sistemas entre sí es sólo el uso que hacemos los humanos de dichas áreas y que depende de normas culturales y económicas que inciden en los territorios de manera diferencial (compra, venta, herencia, alquiler, repartición, etc) [59]. Entonces, si nos preguntamos ¿qué es el entorno para un sistema cultivo? la respuesta es: todo el planeta. La única opción viable a largo plazo para gestionar la multiplicidad de interconexiones de nuestros campos y las consecuencias de la agricultura en las distintas escalas es considerar que el sistema es la Tierra.

Agradecimientos

LC, PER e IES son investigadores CONICET. LCC, MH, LC, PER e IES son investigadores-docentes de la Universidad de Buenos Aires.

Referencias:

- [1] **Pingali PL.** (2012) Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109: 12302–12308 DOI: 10.1073/pnas.0912953109.
- [2] **Couso LL, Rodríguez PE, and Sánchez IE.** Bioartefactos vivos, alienados y resucitados. *Química Viva* 24.
- [3] **López Pazos SA, and Cerón J.** (2010) Proteínas Cry de *Bacillus thuringiensis* y su interacción con coleópteros. *Nova* 8: 183–194 DOI: 10.22490/24629448.449.
- [4] **Viglizzo EF.** (2001) *La trampa de Malthus: agricultura, competitividad y medio ambiente en el siglo XXI*, 1. ed. Eudeba Ed. Univ. de Buenos Aires, Buenos Aires.
- [5] **Latour B.** (1983) Give me a laboratory and I will raise the world. In *Science observed: Perspectives on the social study of science* SAGE Publications. 141–170.
- [6] **Subsecretaría de Producción Agropecuaria y Forestal Ministerio de Economía de Argentina.** (2022) OGM vegetal: Eventos con autorización comercial. *Argentina.gob.ar*.
- [7] **Towe KM.** (1991) Aerobic carbon cycling and cerium oxidation: significance for Archean oxygen levels and banded iron-formation deposition. *Glob. Planet. Change* 5: 113–123 DOI: 10.1016/0921-8181(91)90132-G.
- [8] **Sweetman AK, Smith AJ, De Jonge DSW, Hahn T, Schroedl P, Silverstein M, et al.** (2024) Evidence of dark oxygen production at the abyssal seafloor. *Nat. Geosci.* 17: 737–739 DOI: 10.1038/s41561-024-01480-8.
- [9] **Sprigg RC.** (1947) Early Cambrian jellyfishes from the flinders ranges, South Australia. *Trans. R. Soc. S. Aust.* 71: 212–224.
- [10] **Mills BJW, Krause AJ, Jarvis I, and Cramer BD.** (2023) Evolution of Atmospheric O₂ Through the Phanerozoic, Revisited. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 51: 253–276 DOI: 10.1146/annurev-earth-032320-095425.
- [11] **The Cenozoic CO Proxy Integration Project (CenCOPIP) Consortium*†, Hönisch B, Royer DL, Breecker DO, Polissar PJ, Bowen GJ, et al.** (2023) Toward a Cenozoic history of atmospheric CO₂. *Science* 382: eadi5177 DOI: 10.1126/science.adi5177.
- [12] **Yoro KO, and Daramola MO.** (2020) CO₂ emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In *Advances in carbon capture* Woodhead Publishing. 3–28.
- [13] **Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.** (2020) *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020*,. FAO.
- [14] **Micklin P.** (2007) The Aral Sea Disaster. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 35: 47–72 DOI: 10.1146/annurev.earth.35.031306.140120.
- [15] **Micklin PP.** (1988) Desiccation of the Aral Sea: A Water Management Disaster in the Soviet Union. *Science* 241: 1170–1176 DOI: 10.1126/science.241.4870.1170.
- [16] **Micklin P, and Aladin NV.** (2008) Reclaiming the Aral Sea. *Sci. Am.* 298: 64–71 DOI: 10.1038/scientificamerican0408-64.
- [17] **Ermakhanov ZK, Plotnikov IS, Aladin NV, and Micklin P.** (2012) Changes in the Aral Sea ichthyofauna and fishery during the period of ecological crisis. *Lakes Reserv. Sci. Policy Manag. Sustain. Use* 17: 3–9 DOI: 10.1111/j.1440-1770.2012.00492.x.
- [18] **Novikova NM.** (1996) Current changes in the vegetation of the Amu Dar'ya delta. In *The Aral Sea Basin* P. P. Micklin, and W. D. Williams, eds. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. 69–78.
- [19] **Novikova NM, Kuz'mina ZhV, and Mamutov NK.** (2023) Desertification of the Amu Darya River Delta and Vegetation Dynamics in the Conditions of the Aral Sea Crisis. *Arid Ecosyst.* 13: 371–385 DOI: 10.1134/s2079096123040108.
- [20] **Micklin P.** (2010) The past, present, and future Aral Sea. *Lakes Reserv. Sci. Policy Manag. Sustain. Use* 15: 193–213 DOI: 10.1111/j.1440-1770.2010.00437.x.
- [21] **Martínez Milán JM.** (2019) Los fosfatos del Sahara Occidental y los principales

- productores mundiales de roca fosfática: política versus estrategia empresarial, 1969-1975. *Estud. Asia África* 54: 303–228 DOI: 10.24201/eea.v54i2.2396.
- [22] **Western Sahara Resource Watch (WSRW)**. (2024) *P de Pillaje 2024. Exportaciones marroquíes de fosfatos de los territorios ocupados del Sáhara Occidental*.
- [23] **Western Sahara Resource Watch (WSRW)**. (2023) Fosfatos de conflicto: cuatro décadas de saqueo. *West. Sahara Resour. Watch WSRW*.
- [24] **De Paepe JL, Aradvari Horvat SM, and Álvarez R**. (2022) Inclusion of soil organic carbon changes can reverse results of historical energy flux quantifications of Pampean agriculture. *Sci. Total Environ.* 835: 155533 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155533.
- [25] **CME Group**. (2025) Grain and Oilseed futures and options. *CME Group*.
- [26] **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. (2025) World Food Situation. *Food Agric. Organ. U. N.*
- [27] **Matba Rofex**. (2025) Matba Rofex. *A3 Merc.*
- [28] **Bolsa de Comercio de Rosario**. (2025) Bolsa de Comercio de Rosario. *Bolsa Comer. Rosario*.
- [29] **Bender RR, Haegele JW, Ruffo ML, and Below FE**. (2013) Nutrient Uptake, Partitioning, and Remobilization in Modern, Transgenic Insect-Protected Maize Hybrids. *Agron. J.* 105: 161–170 DOI: 10.2134/agronj2012.0352.
- [30] **Tollenaar M, Deen W, Echarte L, and Liu W**. (2006) Effect of Crowding Stress on Dry Matter Accumulation and Harvest Index in Maize. *Agron. J.* 98: 930–937 DOI: 10.2134/agronj2005.0336.
- [31] **Morales-Caselles C, Viejo J, Montero E, and Cózar A**. (2025) Agricultural plastics as marine pollutants: Empirical evidence from inland and coastal field surveys. *iScience* 28: 112701 DOI: 10.1016/j.isci.2025.112701.
- [32] **Kurt-Karakus PB, Bidleman TF, Staebler RM, and Jones KC**. (2006) Measurement of DDT Fluxes from a Historically Treated Agricultural Soil in Canada. *Environ. Sci. Technol.* 40: 4578–4585 DOI: 10.1021/es060216m.
- [33] **Galloway JN, Aber JD, Erisman JW, Seitzinger SP, Howarth RW, Cowling EB, et al**. (2003) The Nitrogen Cascade. *BioScience* 53: 341 DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2.
- [34] **Portela SI, Andriulo AE, Jobbágy EG, and Sasal MC**. (2009) Water and nitrate exchange between cultivated ecosystems and groundwater in the Rolling Pampas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 134: 277–286 DOI: 10.1016/j.agee.2009.08.001.
- [35] **Le Moal M, Gascuel-Oudou C, Ménesguen A, Souchon Y, Étrillard C, Levain A, et al**. (2019) Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Sci. Total Environ.* 651: 1–11 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.139.
- [36] **Miglioranza KSB, Beherucci ME, de Marco SG, Parsico MM, Bazterrica MC, Gavio MA, et al**. (2021) *Informe de revisión: Área: disponibilidad y contaminación del agua, suelos y aire: Contaminación de costas*. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Centro Científico Tecnológico Mar del Plata.
- [37] **Withers P, Neal C, Jarvie H, and Doody D**. (2014) Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? *Sustainability* 6: 5853–5875 DOI: 10.3390/su6095853.
- [38] **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. (2018) *More people, more food, worse water?: a global review of water pollution from agriculture*. International Water Management Institute, Colombo.
- [39] **Iturralde RS**. (2014) La construcción social del riesgo y el conocimiento científico: un estudio de caso sobre un conflicto socioambiental en 30 de agosto, provincia de Buenos Aires. *Cuad. Antropol.* 175–189.
- [40] **Barri F**. (2018) El “modelo sojero” de desarrollo. Contexto histórico, consecuencias y resistencias. In *La cuestión agraria y el agronegocio desde una perspectiva histórica*

Secretaría de Investigación, Ciencia y Técnica Facultad de Filosofía y Humanidades - U.N.C., Córdoba (Argentina). 123–148.

- [41] **Morandi E, and Pioli R.** (2010) *Proyecto Estratégico Agropecuario Agroalimentario Participativo y Federal 2010–2016: generación y transferencia de conocimiento para la implementación de estrategias de producción sustentable de soja.*,. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario., Rosario (Argentina).
- [42] **Heinrich-Böll-Stiftung European Union, Friends of the Earth Europe, Pesticide Action Network Europe, and BUND für Umwelt und Naturschutz Deutschland.** (2022) *Pesticide Atlas 2022.*, Heinrich Böll Stiftung.
- [43] **ArgenBio.** (2025) Evolución superficie de cultivos GM. *Argenbio Cons. Argent. Para Inf. El Desarro. Biotecnol.* .
- [44] **Pengue WA.** (2016) *Cultivos transgénicos, ¿hacia dónde fuimos? Veinte años después: La soja en Argentina 1996 - 2016.*, Fundación Heinrich Böll Stiftung, Santiago de Chile (Chile).
- [45] **Clapp J.** (2021) Explaining Growing Glyphosate Use: The Political Economy of Herbicide-Dependent Agriculture. *Glob. Environ. Change* 67: 102239 DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2021.102239.
- [46] **International Agency for Research on Cancer I, and World Health Organization W.** (2015) *IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides.*, WHO - IARC.
- [47] **Benbrook CM.** (2016) Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environ. Sci. Eur.* 28: 3 DOI: 10.1186/s12302-016-0070-0.
- [48] **Heap I.** (2025) The International Herbicide-Resistant Weed Database. .
- [49] **Schütte G, Eckerstorfer M, Rastelli V, Reichenbecher W, Restrepo-Vassalli S, Ruohonen-Lehto M, et al.** (2017) Herbicide resistance and biodiversity: agronomic and environmental aspects of genetically modified herbicide-resistant plants. *Environ. Sci. Eur.* 29: 5 DOI: 10.1186/s12302-016-0100-y.
- [50] **Sarasola JH, Galmes MA, and Santillan MA.** (2007) Ecología y conservación del Aguilucho Langostero (*Buteo swainsoni*) en Argentina. *Hornero* 22.
- [51] **Goldstein MI, Lacher TE, Woodbridge B, Bechard MJ, Canavelli SB, Zaccagnini ME, et al.** (1999) Monocrotophos-Induced Mass Mortality of Swainson’s Hawks in Argentina. *Ecotoxicology* 8: 201–214 DOI: 10.1023/A:1026496331396.
- [52] **Guth JA.** (1994) Monocrotophos—environmental fate and toxicity. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Continuation of Residue Reviews* 75–136.
- [53] **Canavelli SB, and Zaccagnini ME.** (1996) *Mortandad de aguilucho langostero (Buteo swainsoni) en la región pampeana: primera aproximación al problema.*,. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Parana, Entre Rios, Argentina.
- [54] **Ostrom E.** (2012) *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action.*,. Cambridge University Press.
- [55] **Monnin A.** (2021) Los bienes comunes negativos. In *Bestiario del antropoceno* Menguantes.
- [56] **Baniasadi M, Zare’ Mehrjordi MR, Mehrabi Boshrabadi H, Mirzaei Khalilabad HR, and Rezaei Estakhrooye A.** (2020) Evaluation of Negative Economic-Environmental Externalities of Overextraction of Groundwater. *Groundwater* 58: 560–570 DOI: 10.1111/gwat.12933.
- [57] **Krznic R.** (2021) *The good ancestor: how to think long term in a short-term world.*,. WH Allen, London.
- [58] **Li P, Yang J, Islam MA, and Ren S.** (2023) Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models. DOI: 10.48550/ARXIV.2304.03271.
- [59] **Anna Lowenhaupt Tsing.** (2023) *Los hongos del fin del mundo - sobre la posibilidad*

de vida en las ruinas capitalistas, Caja Negra Editora.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.