



Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

Representación Brasil

Informe de consultoría:

**Reducción de insumos químicos sintéticos
en la agricultura de América Latina: un ejercicio reflexivo**

Consultores:

Fernando Vilella, Marcelo Posada y Daniel Lema

Buenos Aires, marzo de 2022

Índice

Introducción.....	3
1. Análisis introductorio a la temática de la reducción de los IQS.....	4
2. Informe final conjunto.....	8

Introducción

De acuerdo a los Términos de Referencia oportunamente firmados con el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), se presenta aquí el Informe personal de consultoría.

Este documento expone el resultado de las actividades de:

- revisión bibliográfica
- recopilación de información
- sistematización
- análisis
- discusión interna
- elaboración del informe final

En tanto que el trabajo se realizó en permanente interacción con los otros integrantes del equipo consultor (Daniel Lema y Marcelo Posada), se ha optado por presentar un primer apartado donde se expone la elaboración introductoria que contextualiza el trabajo encarado.

Seguidamente, se adjunta el informe completo, elaborado en colaboración por los tres consultores, donde lo expuesto en la primera parte de este informe se articula con el cuerpo total del producto conjunto.

1. Análisis introductorio a la temática de la reducción de los IQS

El sector de los alimentos, desde la producción agrícola hasta la distribución minorista y todos los sectores coadyuvantes, constituye un componente clave de la estructura económica de América Latina. Es un gran generador de divisas, fuerte empleador de mano de obra y gran usuario de recursos naturales. Dado el peso de la región en la estructura alimentaria mundial, las empresas del sector tienen relevancia global, y sus decisiones y resultados impactan más allá de América Latina en sí. Entre esas decisiones y resultados cabe mencionar, por un lado, su influencia en el nivel general de precios de los alimentos, en función del volumen que vuelque al mercado mundial, y por el otro, el flujo de los servicios ecosistémicos que se generan en la región, según sean o no afectados negativamente por el desenvolvimiento empresarial agrícola, impactando a nivel mundial.

La relevancia sectorial a nivel regional queda expresada en el nivel de participación de la agricultura en PIB, que en conjunto ronda el 4,5%, aunque con países con sistemas agrícolas tradicionales donde la agricultura representa el 18% del PIB, como Haití, o el 15%, como Nicaragua; a la par que otros, con una estructura económica más diversificada y modernizada, a la par que con un sector agrícola tecnificado y con fuerte inserción internacional, exponen valores más cercanos a la media, como Brasil, con el 4% del PIB, o Argentina, con el 6%.

La diversidad de situaciones sectoriales entre países de la región obedece a distintas cuestiones. Inicialmente, debe considerarse la dotación de tierras y aguas y las características del clima en sus localizaciones. A la vez, en combinación con lo anterior, influye notablemente el patrón de estructura agraria imperante en cada país, que puede funcionar como un ralentizador o un dinamizador del cambio productivo. Asimismo, la dotación relativa de mano de obra y la modelización del patrón tecnológico condicente con dicha dotación, configura sistemas agrícolas diversos y con diferentes niveles productivos. Y, no menos importante, el patrón de políticas económicas y sectoriales nacionales contribuyen también en grado elevado a la configuración de los sistemas agrícolas nacionales, según su papel de incentivador o ralentizador de las inversiones, la producción y la comercialización externa.

Si bien a lo largo de la última década y media, el papel relativo del sector en el conjunto de las economías nacionales de la región ha disminuido, debe señalarse que se tiende a subestimar el papel de la integralidad del sector en el conjunto económico. Más allá del valor añadido aportado por la agricultura, la ganadería, la pesca y la silvicultura, debe considerarse el valor que entrañan las otras actividades “aguas arriba” y “aguas abajo” de dichas actividades primarias, que en realidad -a nivel estadístico- quedan captadas por otras grandes aglomeraciones sectoriales, difumando en parte el real papel del sector alimentario en la estructura económica nacional y regional. Estimaciones de FAO y OCDE consideran que la visión “ampliada” del sector representa un 20% del PIB promedio regional.¹

Un análisis del último medio siglo, aproximadamente, de la performance de la agricultura latinoamericana expone que, en promedio, el PIB agrícola se incrementó un 2,8% anual, mientras que la productividad creció a una tasa anual del 1,5%, con trayectorias destacadas de Argentina, Brasil, Chile y México.² El desempeño agrícola regional es robusto, pero evolución es disímil respecto de otros sectores y, por lo ya mencionado, entre países. Específicamente la agricultura

¹ OCDE-FAO (2019).

² Bravo-Ortega, C. (2019).

expuso en la última década una tasa de crecimiento anual superior a la de la industria manufacturera (2,03%), pero sustancialmente menor a la del sector servicios (4,09%), en concordancia con la tendencia global.³

La contribución del sector al conjunto de la economía regional depende de su tasa de crecimiento, y las proyecciones estimadas para la próxima década concluyen que se agudizarán las tendencias presentes actualmente: en aquellos países donde el sector demuestra un dinamismo mayor que el resto de la economía, será la agricultura y la alimentación el sector que dinamizará al conjunto de la economía, mientras que, a la inversa, en aquellos donde actualmente la dinámica sectorial está ralentizada, serán los que peor performance agrícola exhibirán.

El crecimiento agrícola discurre por dos carriles centrales: por un lado, el empleo de las tecnologías existentes en el mercado, combinado con el incremento de la utilización de los factores de producción disponibles, y por el otro, por la adopción temprana de nuevas tecnologías orientadas a incrementos de productividad. El primero de ellos es el que ha sido empleado a lo largo del último medio siglo y que permitió llegar hasta el nivel de producción y productividad presente. Sin embargo, el paulatino agotamiento de la disponibilidad de tierras cultivables no utilizadas, a la par que el debilitamiento de la capacidad de producción de los recursos naturales -por sobreproducción y/o por aplicación excesiva de insumos químicos sintéticos-, conducen al sector a indagar crecientemente en la segunda vía. Históricamente, está demostrada la correlación existente entre los incrementos en la producción agrícola con los incrementos en la productividad sectorial. Y como se señaló, el sector es en gran medida motor de la economía de cada país regional, por carácter transitivo, la productividad agrícola es el factor de crecimiento de la economía en su conjunto.⁴

Pese al gran avance de la frontera agrícola en la región, y con ello a la disminución de la disponibilidad de nuevas tierras, América Latina sigue siendo una de las pocas regiones del mundo donde la dotación actual y potencial de este recurso aún es significativa. Siendo así, estaría induciendo a considerar que la producción agrícola y alimentaria regional continuará siendo un pilar del crecimiento económico y puente de la inserción de la región en el mundo. Pero a la vez, impone la necesidad de que el sector se plantee un manejo responsable y eficaz de los recursos naturales que son la base física de su desarrollo.

La expansión de la producción agrícola de la región deberá, entonces, basarse en una plena comprensión de las limitantes ambientales a las que se enfrenta, con especial énfasis en prestar atención a la capacidad de resiliencia ambiental de las áreas productivas. Así, la estrategia expansiva deberá sustentarse en mejoras en la productividad, sostenibles desde todas las perspectivas posibles (ambientales, económicas y sociales).

Pese a la positiva evolución sectorial en cuanto a producción y productividad, el modelo de desarrollo agrícola imperante en América Latina (más allá de sus heterogeneidades regionales), enfrenta un eventual escenario de deterioro de los recursos naturales sobre los que se basa la producción. Dicho deterioro se atribuiría, principalmente, al impacto ambiental de la actividad agrícola, y se concentra en: degradación de los suelos, pérdida de áreas boscosas, reducción de la biodiversidad, agotamiento y contaminación de las reservas de agua dulce, y generación de emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen a profundizar el proceso de cambio

climático. Las magnitudes de estos impactos son estimadas de modo diferencial por distintos estudios, según se indicará más adelante en el texto del documento.

³ Morris, Michael et al. (2020).

⁴ Morris, Michael et al. (2020); Bravo-Ortega, C. (2019); Fuglie, Keith (2018).

Frente a esta situación, desde distintos ámbitos se impulsan medidas de políticas tendientes a limitar o anular el impacto ambiental de los sistemas agrícolas, insistiéndose que los primeros perjudicados por sus consecuencias son los propios agricultores.⁵

A grandes trazos, pueden sistematizarse los grandes lineamientos de políticas propuestas en⁶:

- Establecer sistemas de vigilancia del cambio climático.
- Incrementar la investigación sobre tecnologías y prácticas agrícolas climáticamente inteligentes.
- Incentivar la adopción de tecnologías climáticamente inteligentes.
- Promover el desarrollo y la utilización de instrumentos de gestión del riesgo climático.
- Impulsar el desarrollo de modelos que utilicen información de teledetección para la vigilancia hidrometeorológica.
- Desarrollar y poner en funcionamiento sistemas de alerta temprana.
- Generar redes público-privadas para facilitar la divulgación de información y la concientización sobre la cuestión del cambio climático en sus aspectos relacionados con la agricultura.
- Ralentizar la expansión de la frontera agrícola que deforesta o reduce hábitats de biodiversidad.
- Impulsar la adopción de tecnologías de incremento de la productividad ambientalmente neutras.
- Reducir la utilización de insumos químicos sintéticos con impacto negativo en el medio ambiente.
- Incrementar la investigación pública y privada en el desarrollo de tecnologías contributivas a la neutralidad de carbono de los sistemas agrícolas.
- Impulsar mecanismos de reducción o eliminación de gases de efecto invernadero.

Entre las líneas de acción que se derivan de estos objetivos de políticas, adquiere especial relevancia para el desenvolvimiento de los sistemas agrícolas en la región, la del impulso a la reducción de la utilización de insumos químicos sintéticos, que constituyen uno de los pilares de los incrementos de la productividad agrícola, particularmente a través de la fertilización.

Distintos estudios internacionales han correlacionado la utilización de fertilizantes químicos y la agudización de los procesos de cambio climático, derivando de ello recomendaciones en el sentido de reducir su utilización, ampliando dicha sugerencia al resto de los agroquímicos (herbicidas, insecticidas, acaricidas, termiticidas, nematocidas, molusquicidas, roenticidas y funguicidas). La decisión multilateral de impulsar una reducción del empleo de fertilizantes nitrogenados, como forma de mitigación del cambio climático, quedó plasmada en la denominada Declaración de Colombo⁷, de octubre de 2019. A través de ella se impulsa la reducción de la utilización de fertilizantes nitrogenados a la mitad del actual nivel para el año 2030. Por su parte,

⁵ CEPAL-FAO-IICA (2019).

⁶ FAO (2021); Morris, Michael et al. (2020); CEPAL-FAO-IICA (2019); Vergara, W. et al. (2014); IPCC (2020).

⁷ https://www.inms.international/sites/inms.international/files/Colombo%20Declaration_Final.pdf

la regulación a nivel internacional del manejo de los plaguicidas antes mencionados, tiene sus antecedentes en los Convenios de Rotterdam⁸ y, particularmente, de Estocolmo⁹.

Un ejemplo extremo de la aplicación de estas sugerencias es el verificado en 2021 en Sri Lanka (precisamente el país desde donde se impulsó la Declaración de Colombo). Allí, en abril de 2021 se prohibió la importación y utilización de fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos, orientándose la producción agrícola, tanto la de consumo internos como la de exportación (como el té), a un sistema agroecológico. Al cabo de un semestre, el funcionamiento del sistema en cuanto a volúmenes producidos y precios alcanzados -en el mercado local- generó una difícil situación económica y social (combinada con la reducción del ingreso de divisas, producto del cierre al tránsito turístico debido a la pandemia Covid que llevaba ya un año). Frente a esa situación, el gobierno debió dar marcha atrás y derogar la prohibición, más allá de que continuó planteándose como objetivo, ahora de mediano plazo, avanzar hacia una agricultura sin inputs químicos sintéticos.¹⁰

Considerando este caso extremo y reciente, se estima pertinente realizar un ejercicio analítico y reflexivo respecto de cuál podría ser el efecto para la agricultura de América Latina de la aplicación de la recomendación de políticas centrada en la reducción de la utilización de insumos químicos sintéticos.

A tal fin, se ha preparado este documento, que se estructura en dos grandes secciones siguiendo a esta Introducción. En la primera parte se efectúa un ejercicio en torno al hipotético impacto que tendría a nivel de producción, productividad y precios, la aplicación de estas medidas de reducción de insumos químicos sintéticos, tomando en consideración cuatro cultivos -trigo, maíz, soja y arroz- relevantes para la alimentación humana en forma directa, a través de su procesamiento industrial, y en forma indirecta, por su uso como alimento ganadero para la producción de proteína animal.

En la misma primera sección se continúa dicho ejercicio, verificando aquí qué impacto podría desencadenar esa reducción de los inputs químicos aplicados a la agricultura regional, a nivel de la generación de gases de efecto invernadero y, por ende, del cambio climático.

Finalmente, en la segunda sección se presenta un breve panorama del papel que desempeña la región en relación con la provisión de servicios ecosistémicos, y de cómo la mencionada reducción impactaría en dicha provisión.

⁸ https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/rotterdam_sp.pdf

⁹ https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/stockholm_sp.pdf

¹⁰ https://theprint.in/world/how-sri-lankas-overnight-flip-to-total-organic-farming-has-led-to-an-economic-disaster/728414/?amp&_twitter_impression%E2%80%A6

2. Informe final conjunto

Reducción de insumos químicos sintéticos en la agricultura de América Latina: un ejercicio reflexivo

Introducción

El sector de los alimentos, desde la producción agrícola hasta la distribución minorista y todos los sectores coadyuvantes, constituye un componente clave de la estructura económica de América Latina. Es un gran generador de divisas, fuerte empleador de mano de obra y gran usuario de recursos naturales. Dado el peso de la región en la estructura alimentaria mundial, las empresas del sector tienen relevancia global, y sus decisiones y resultados impactan más allá de América Latina en sí. Entre esas decisiones y resultados cabe mencionar, por un lado, su influencia en el nivel general de precios de los alimentos, en función del volumen que vuelque al mercado mundial, y por el otro, el flujo de los servicios ecosistémicos que se generan en la región, según sean o no afectados negativamente por el desenvolvimiento empresarial agrícola, impactando a nivel mundial.

La relevancia sectorial a nivel regional queda expresada en el nivel de participación de la agricultura en PIB, que en conjunto ronda el 4,5%, aunque con países con sistemas agrícolas tradicionales donde la agricultura representa el 18% del PIB, como Haití, o el 15%, como Nicaragua; a la par que otros, con una estructura económica más diversificada y modernizada, a la par que con un sector agrícola tecnificado y con fuerte inserción internacional, exponen valores más cercanos a la media, como Brasil, con el 4% del PIB, o Argentina, con el 6%.

La diversidad de situaciones sectoriales entre países de la región obedece a distintas cuestiones. Inicialmente, debe considerarse la dotación de tierras y aguas y las características del clima en sus localizaciones. A la vez, en combinación con lo anterior, influye notablemente el patrón de estructura agraria imperante en cada país, que puede funcionar como un ralentizador o un dinamizador del cambio productivo. Asimismo, la dotación relativa de mano de obra y la modelización del patrón tecnológico condicente con dicha dotación, configura sistemas agrícolas diversos y con diferentes niveles productivos. Y, no menos importante, el patrón de políticas económicas y sectoriales nacionales contribuyen también en grado elevado a la configuración de los sistemas agrícolas nacionales, según su papel de incentivador o ralentizador de las inversiones, la producción y la comercialización externa.

Si bien a lo largo de la última década y media, el papel relativo del sector en el conjunto de las economías nacionales de la región ha disminuido, debe señalarse que se tiende a subestimar el papel de la integralidad del sector en el conjunto económico. Más allá del valor añadido aportado por la agricultura, la ganadería, la pesca y la silvicultura, debe considerarse el valor que entrañan las otras actividades “aguas arriba” y “aguas abajo” de dichas actividades primarias, que en realidad -a nivel estadístico- quedan captadas por otras grandes aglomeraciones sectoriales, difumando en parte el real papel del sector alimentario en la estructura económica nacional y regional. Estimaciones de FAO y OCDE consideran que la visión “ampliada” del sector representa un 20% del PIB promedio regional.¹¹

¹¹ OCDE-FAO (2019).

Un análisis del último medio siglo, aproximadamente, de la performance de la agricultura latinoamericana expone que, en promedio, el PIB agrícola se incrementó un 2,8% anual, mientras que la productividad creció a una tasa anual del 1,5%, con trayectorias destacadas de Argentina, Brasil, Chile y México.¹² El desempeño agrícola regional es robusto, pero evolución es disímil respecto de otros sectores y, por lo ya mencionado, entre países. Específicamente la agricultura expuso en la última década una tasa de crecimiento anual superior a la de la industria manufacturera (2,03%), pero sustancialmente menor a la del sector servicios (4,09%), en concordancia con la tendencia global.¹³

La contribución del sector al conjunto de la economía regional depende de su tasa de crecimiento, y las proyecciones estimadas para la próxima década concluyen que se agudizarán las tendencias presentes actualmente: en aquellos países donde el sector demuestra un dinamismo mayor que el resto de la economía, será la agricultura y la alimentación el sector que dinamizará al conjunto de la economía, mientras que, a la inversa, en aquellos donde actualmente la dinámica sectorial está ralentizada, serán los que peor performance agrícola exhibirán.

El crecimiento agrícola discurre por dos carriles centrales: por un lado, el empleo de las tecnologías existentes en el mercado, combinado con el incremento de la utilización de los factores de producción disponibles, y por el otro, por la adopción temprana de nuevas tecnologías orientadas a incrementos de productividad. El primero de ellos es el que ha sido empleado a lo largo del último medio siglo y que permitió llegar hasta el nivel de producción y productividad presente. Sin embargo, el paulatino agotamiento de la disponibilidad de tierras cultivables no utilizadas, a la par que el debilitamiento de la capacidad de producción de los recursos naturales -por sobreproducción y/o por aplicación excesiva de insumos químicos sintéticos-, conducen al sector a indagar crecientemente en la segunda vía. Históricamente, está demostrada la correlación existente entre los incrementos en la producción agrícola con los incrementos en la productividad sectorial. Y como se señaló, el sector es en gran medida motor de la economía de cada país regional, por carácter transitivo, la productividad agrícola es el factor de crecimiento de la economía en su conjunto.¹⁴

Pese al gran avance de la frontera agrícola en la región, y con ello a la disminución de la disponibilidad de nuevas tierras, América Latina sigue siendo una de las pocas regiones del mundo donde la dotación actual y potencial de este recurso aún es significativa. Siendo así, estaría induciendo a considerar que la producción agrícola y alimentaria regional continuará siendo un pilar del crecimiento económico y puente de la inserción de la región en el mundo. Pero a la vez, impone la necesidad de que el sector se plantee un manejo responsable y eficaz de los recursos naturales que son la base física de su desarrollo.

La expansión de la producción agrícola de la región deberá, entonces, basarse en una plena comprensión de las limitantes ambientales a las que se enfrenta, con especial énfasis en prestar atención a la capacidad de resiliencia ambiental de las áreas productivas. Así, la estrategia expansiva deberá sustentarse en mejoras en la productividad, sostenibles desde todas las perspectivas posibles (ambientales, económicas y sociales).

Pese a la positiva evolución sectorial en cuanto a producción y productividad, el modelo de desarrollo agrícola imperante en América Latina (más allá de sus heterogeneidades regionales),

enfrenta un eventual escenario de deterioro de los recursos naturales sobre los que se basa la producción. Dicho deterioro se atribuiría, principalmente, al impacto ambiental de la actividad

¹² Bravo-Ortega, C. (2019).

¹³ Morris, Michael et al. (2020).

¹⁴ Morris, Michael et al. (2020); Bravo-Ortega, C. (2019); Fuglie, Keith (2018).

agrícola, y se concentra en: degradación de los suelos, pérdida de áreas boscosas, reducción de la biodiversidad, agotamiento y contaminación de las reservas de agua dulce, y generación de emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen a profundizar el proceso de cambio climático. Las magnitudes de estos impactos son estimadas de modo diferencial por distintos estudios, según se indicará más adelante en el texto del documento.

Frente a esta situación, desde distintos ámbitos se impulsan medidas de políticas tendientes a limitar o anular el impacto ambiental de los sistemas agrícolas, insistiéndose que los primeros perjudicados por sus consecuencias son los propios agricultores.¹⁵

A grandes trazos, pueden sistematizarse los grandes lineamientos de políticas propuestas en¹⁶:

- Establecer sistemas de vigilancia del cambio climático.
- Incrementar la investigación sobre tecnologías y prácticas agrícolas climáticamente inteligentes.
- Incentivar la adopción de tecnologías climáticamente inteligentes.
- Promover el desarrollo y la utilización de instrumentos de gestión del riesgo climático.
- Impulsar el desarrollo de modelos que utilicen información de teledetección para la vigilancia hidrometeorológica.
- Desarrollar y poner en funcionamiento sistemas de alerta temprana.
- Generar redes público-privadas para facilitar la divulgación de información y la concientización sobre la cuestión del cambio climático en sus aspectos relacionados con la agricultura.
- Ralentizar la expansión de la frontera agrícola que deforesta o reduce hábitats de biodiversidad.
- Impulsar la adopción de tecnologías de incremento de la productividad ambientalmente neutras.
- Reducir la utilización de insumos químicos sintéticos con impacto negativo en el medio ambiente.
- Incrementar la investigación pública y privada en el desarrollo de tecnologías contributivas a la neutralidad de carbono de los sistemas agrícolas.
- Impulsar mecanismos de reducción o eliminación de gases de efecto invernadero.

Entre las líneas de acción que se derivan de estos objetivos de políticas, adquiere especial relevancia para el desenvolvimiento de los sistemas agrícolas en la región, la del impulso a la reducción de la utilización de insumos químicos sintéticos, que constituyen uno de los pilares de los incrementos de la productividad agrícola, particularmente a través de la fertilización.

Distintos estudios internacionales han correlacionado la utilización de fertilizantes químicos y la agudización de los procesos de cambio climático, derivando de ello recomendaciones en el sentido de reducir su utilización, ampliando dicha sugerencia al resto de los agroquímicos (herbicidas, insecticidas, acaricidas, termiticidas, nematocidas, molusquicidas, roenticidas y funguicidas). La decisión multilateral de impulsar una reducción del empleo de fertilizantes nitrogenados, como forma de mitigación del cambio climático, quedó plasmada en la denominada

Declaración de Colombo¹⁷, de octubre de 2019. A través de ella se impulsa la reducción de la utilización de fertilizantes nitrogenados a la mitad del actual nivel para el año 2030. Por su parte,

¹⁵ CEPAL-FAO-IICA (2019).

¹⁶ FAO (2021); Morris, Michael et al. (2020); CEPAL-FAO-IICA (2019); Vergara, W. et al. (2014); IPCC (2020).

¹⁷ https://www.inms.international/sites/inms.international/files/Colombo%20Declaration_Final.pdf

la regulación a nivel internacional del manejo de los plaguicidas antes mencionados, tiene sus antecedentes en los Convenios de Rotterdam¹⁸ y, particularmente, de Estocolmo¹⁹.

Un ejemplo extremo de la aplicación de estas sugerencias es el verificado en 2021 en Sri Lanka (precisamente el país desde donde se impulsó la Declaración de Colombo). Allí, en abril de 2021 se prohibió la importación y utilización de fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos, orientándose la producción agrícola, tanto la de consumo internos como la de exportación (como el té), a un sistema agroecológico. Al cabo de un semestre, el funcionamiento del sistema en cuanto a volúmenes producidos y precios alcanzados -en el mercado local- generó una difícil situación económica y social (combinada con la reducción del ingreso de divisas, producto del cierre al tránsito turístico debido a la pandemia Covid que llevaba ya un año). Frente a esa situación, el gobierno debió dar marcha atrás y derogar la prohibición, más allá de que continuó planteándose como objetivo, ahora de mediano plazo, avanzar hacia una agricultura sin inputs químicos sintéticos.²⁰

Considerando este caso extremo y reciente, se estima pertinente realizar un ejercicio analítico y reflexivo respecto de cuál podría ser el efecto para la agricultura de América Latina de la aplicación de la recomendación de políticas centrada en la reducción de la utilización de insumos químicos sintéticos.

A tal fin, se ha preparado este documento, que se estructura en dos grandes secciones siguiendo a esta Introducción. En la primera parte se efectúa un ejercicio en torno al hipotético impacto que tendría a nivel de producción, productividad y precios, la aplicación de estas medidas de reducción de insumos químicos sintéticos, tomando en consideración cuatro cultivos -trigo, maíz, soja y arroz- relevantes para la alimentación humana en forma directa, a través de su procesamiento industrial, y en forma indirecta, por su uso como alimento ganadero para la producción de proteína animal.

En la misma primera sección se continúa dicho ejercicio, verificando aquí qué impacto podría desencadenar esa reducción de los inputs químicos aplicados a la agricultura regional, a nivel de la generación de gases de efecto invernadero y, por ende, del cambio climático.

Finalmente, en la segunda sección se presenta un breve panorama del papel que desempeña la región en relación con la provisión de servicios ecosistémicos, y de cómo la mencionada reducción impactaría en dicha provisión.

¹⁸ https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/rotterdam_sp.pdf

¹⁹ https://observatoriop10.cepal.org/sites/default/files/documents/treaties/stockholm_sp.pdf

²⁰ https://theprint.in/world/how-sri-lankas-overnight-flip-to-total-organic-farming-has-led-to-an-economic-disaster/728414/?amp&_twitter_impression%E2%80%A6

Parte I

Producción, productividad y uso de insumos en la agricultura

Introducción

En los últimos años se ha incrementado la difusión de información y estudios que sugieren que como consecuencia del crecimiento de la agricultura moderna los ecosistemas se están degradando, el mundo se está deforestando y desertificando. Al mismo tiempo, se sugiere que sistemas alternativos como la agricultura orgánica o agroecológica pueden ser más amigables con el ambiente que la agricultura convencional. Sin embargo, estas afirmaciones muchas veces no se sustentan en estudios científicos y pueden ser cuestionadas por otros trabajos con resultados que sugieren lo contrario. En este sentido, un trabajo reciente de Grau²¹ presenta evidencia de que la superficie global de bosques se ha mantenido relativamente estable por cuatro décadas, que los sistemas agrícolas y naturales son cada vez más productivos y que la desertificación es un fenómeno localizado y frecuentemente en retroceso. Al mismo tiempo, analiza estudios que muestran que la agricultura orgánica consume más tierra por unidad de producto (i.e., favorece la deforestación y la pérdida de otros hábitats naturales y el uso ineficiente de otros recursos) y que la mezcla entre sistemas productivos y naturales pocas veces mejora los rendimientos.

Tal como se mencionó previamente, una experiencia reciente de aplicación de sistemas agrícolas alternativos se dio en el año 2021 en Sri Lanka. Este país prohibió la importación y utilización de fertilizantes nitrogenados y otros agroquímicos, induciendo la adopción de un sistema agroecológico tanto para productos de consumo interno como de su principal producto de exportación, el té. En menos de un año la caída en los volúmenes de producción y el incremento de costos generaron una crisis económica, particularmente por la reducción del ingreso de divisas (agravada por la pandemia COVID-19 que redujo además el flujo turístico). Finalmente, el gobierno derogó la prohibición, aunque mantiene el objetivo de mediano plazo de realizar una transición hacia una agricultura sin insumos químicos sintéticos.²²

Considerando estos antecedentes, en esta sección se discuten aspectos conceptuales sobre el uso de factores e insumos y los cambios en productividad de la agricultura moderna. Se analizan en particular los efectos globales y para América Latina de una potencial restricción en uso de insumos químicos y se presenta la evolución reciente de la producción y productividad agrícola en un grupo de diez países seleccionados de América Latina para los cuatro principales cultivos destinados a la producción de alimentos (trigo, maíz, soja y arroz). En la sección final se discute el impacto podría desencadenar esa reducción de los inputs químicos aplicados a la agricultura regional considerando en particular la emisión de gases de efecto invernadero y del cambio climático.

Uso de factores, insumos y productividad agrícola: aspectos conceptuales

En la producción agrícola moderna se utilizan factores primarios de producción (tierra, trabajo, capital) y una cantidad de insumos intermedios, tales como fertilizantes, herbicidas, insecticidas,

²¹ Grau, H. Ricardo (2021).

²² https://theprint.in/world/how-sri-lankas-overnight-flip-to-total-organic-farming-has-led-to-an-economic-disaster/728414/?amp&_twitter_impression%E2%80%A6

etc, los cuales han incrementado su participación en el proceso productivo en las últimas décadas. El concepto económico de “función de producción” ayuda a comprender de manera estilizada el proceso productivo y a definir indicadores que pueden ser utilizados luego para representar cambios en la productividad y eficiencia, así como para caracterizar el cambio tecnológico a lo largo del tiempo.

Una función de producción puede escribirse como:

$$Y = f(X, t) \quad (1)$$

donde Y es el producto, X un vector de factores (tierra, trabajo, capital) e insumos (fertilizantes, herbicidas, semillas, etc) y t es una variable temporal que indica el momento en el cual se realiza el proceso (año, mes). Esta variable temporal se utiliza para estimar el cambio tecnológico, que puede ser medido por los cambios del producto a lo largo del tiempo con la condición de mantener constante el uso de factores e insumos²³.

A partir de este concepto pueden estimarse algunos indicadores de productividad parcial, tales como el producto por unidad de superficie (rendimientos), el producto por unidad de trabajo (producción por hombre) o el producto por unidad de insumo (producción por kg de fertilizante). Estos indicadores parciales se calculan realizando el cociente entre la cantidad de producto y la cantidad de factor o insumo y si se miden a lo largo de un período de tiempo proporcionan una medida del cambio de productividad y, en parte, del cambio tecnológico asociado.

Estos indicadores son una medida parcial de productividad y de cambio tecnológico porque sólo consideran el cambio en producción en términos relativos a un solo factor o insumo, pero no consideran que otros factores pueden también estar modificándose. Es decir, a lo largo de los años los rendimientos de los cultivos pueden estar aumentando en términos de kg por hectárea, pero esto no necesariamente nos indica un cambio tecnológico o de eficiencia ya que otros factores pueden también estar aumentando y ser la causa del incremento de producción por hectárea. Por ejemplo, puede estar aumentando el uso de fertilizantes químicos lo que contribuye a aumentar la producción por incremento de uso de recursos y no necesariamente esto implica un cambio tecnológico o de productividad total.

En este sentido, lo que realmente debe medirse para estimar el cambio tecnológico y de eficiencia es el cambio en la productividad del uso conjunto de factores e insumos productivos a lo largo del tiempo. Esto es lo que se define como Productividad Total de los Factores (PTF).

La PTF es un concepto que se vincula directamente con el cambio tecnológico. En términos operativos una medida de la PTF puede ser definida como:

$$PTF = Y/X \quad (2)$$

²³ Formalmente la tasa de cambio tecnológico puede ser definida como la derivada logarítmica de la producción $Y=f(X,t)$ con respecto a la variable tiempo (t):

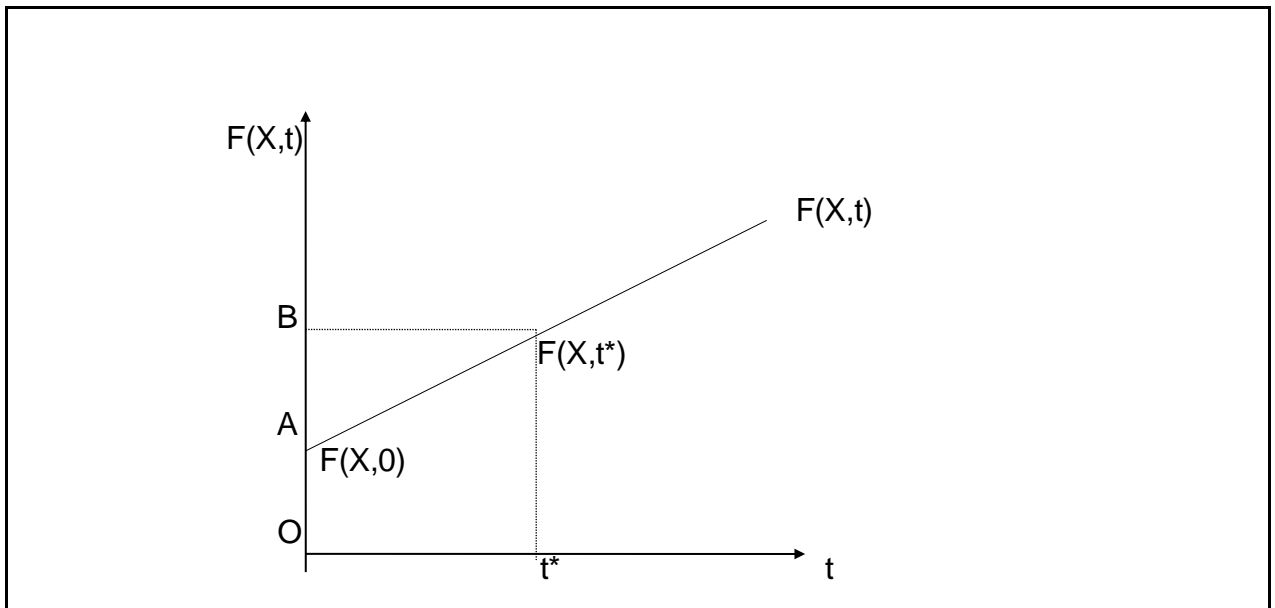
$$A(X, t) = \frac{\partial \ln f(X, t)}{\partial t}$$

A(X,t) representa la tasa de cambio en la producción por unidad de tiempo, suponiendo que se mantienen constantes todos los factores productivos (X) y se atribuye este cambio a la mejora en la tecnología.

donde PTF mide el producto agregado Y , producido por unidad del conjunto agregado de insumos X . Esta relación se puede estimar calculando índices de producción y de insumos en cada período y luego evaluar su evolución a lo largo del tiempo. Puede interpretarse que el ratio de la PTF entre dos períodos de tiempo iguala al ratio de la función de producción evaluada en dos períodos de tiempo distintos (o para dos estados distintos de la tecnología) manteniendo la cantidad de insumos constante. En consecuencia, la tasa de crecimiento de la productividad es equivalente a la tasa de crecimiento del producto menos la tasa de crecimiento de los insumos entre dos momentos del tiempo. Esta tasa además puede interpretarse como una reducción real de costos por unidad de producción ya que representa la posibilidad de producir mayores cantidades de producto con la misma cantidad de insumos o, de manera equivalente, una cantidad constante de producto con un menor uso de recursos.

Podemos representar este concepto como en el Gráfico 1, donde la canasta de factores e insumos se mantiene fija en X , y el tiempo se representa en el eje de abscisas. La medida dada de cambio en productividad es el ratio OB/OA , que iguala al ratio $PTF(t)/PTF(0)$. Es decir, el cambio en la PTF es un índice de la efectividad relativa de un determinado conjunto de insumos y factores X , utilizados para la producción en diferentes estados de la tecnología. Si el cambio tecnológico incrementa la eficiencia de este conjunto de insumos el índice resulta mayor que uno. Si el cambio técnico hace al conjunto de insumos menos eficientes el índice será menor a uno. Si, por otra parte, el cambio tecnológico no modifica la efectividad del agregado de insumos el índice igualará la unidad.

Gráfico 1. Cambio tecnológico



Fuente: elaboración propia en base a Chambers (1988)

La estimación empírica de este indicador puede aproximarse al concepto teórico mediante la construcción de índices definidos en intervalos discretos (años). Tal como se mencionó anteriormente, el concepto de función de producción es un punto de partida central para la implementación práctica y la agregación de los factores e insumos. En general, resulta poco usual contar con toda la información empírica necesaria como para obtener los valores de los parámetros que caracterizan una función de producción particular y deben realizarse supuestos simplificadores que se ajusten a la información disponible.

Un indicador del cambio tecnológico puede definirse evaluando la función de producción para un vector de insumos X constante, con la tecnología, o la variable tiempo, moviéndose. Un índice de este tipo mediría el cambio en la función de producción solamente debido al transcurso del tiempo y esto resultaría simple si se observasen situaciones en las cuales el vector de insumos permaneciese constante en el tiempo y sería una aproximación al cambio tecnológico y de eficiencia puro. Por supuesto que esta situación no resulta de las más probables en una economía de mercado donde los agentes toman sus decisiones a partir de algún proceso de optimización. Si la tecnología cambia a lo largo del tiempo resulta lógico que los participantes de los mercados cambien también las combinaciones óptimas de insumos utilizados en el proceso productivo. En consecuencia, los niveles de producción y uso de insumos cambian en forma conjunta con la tecnología y se requiere de la construcción de índices adecuados para identificar los efectos sobre la producción del cambio tecnológico y diferenciarlo de los efectos de cambio en la cantidad de insumos utilizados.

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta es que los insumos y factores que intervienen en el proceso productivo tiene relaciones de sustitución y complementariedad entre sí. Por un lado, dependiendo del proceso productivo y la tecnología, es posible en alguna medida sustituir un factor por otro y mantener el nivel de producción constante. Por ejemplo, el capital puede ser sustituido por mayores cantidades de trabajo (menos máquinas y más horas de trabajo), o algunas unidades de tierra pueden sustituirse por mayor cantidad de fertilizantes o insumos químicos, incrementando los rindes por hectárea y manteniendo así la producción total. Las posibilidades de sustitución pueden ser mayores o menores dependiendo del proceso productivo y esto a su vez cambia con la tecnología disponible. Al mismo tiempo, dada una tecnología existe entre los factores algún grado de complementariedad lo que implica que no es posible, en general, la sustitución completa, sino que los factores e insumos deben combinarse en alguna medida y no es posible prescindir de algunos de ellos de manera total.

Esta discusión conceptual es relevante ya que resalta la dificultad empírica para realizar análisis contra-fácticos sobre potenciales reducciones en el uso de insumos, así como su impacto sobre el cambio tecnológico y la eficiencia. Es decir, no es trivial suponer por ejemplo, la eliminación de algunos insumos químicos o su sustitución parcial por otros de manera directa en un proceso productivo y al mismo tiempo estimar los efectos productivos. En muchos casos el mismo uso de factores o insumos puede suponer la incorporación de tecnologías. El cambio tecnológico suele estar incorporado en los factores productivos y de esta forma se determinan en forma simultánea tanto la cantidad y tipo de factores e insumos a incorporar como la tecnología. El cambio tecnológico incorporado, sumado a la complementariedad factorial en el proceso productivo, limita la posibilidad práctica de eliminar algunos insumos en un proceso productivo para una tecnología dada.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que el proceso de cambio tecnológico suele ser inducido por cambios en los precios relativos de los factores y productos. Nuevas tecnologías se desarrollan para ahorrar los factores relativamente más escasos o de mayor precio relativo. Así, el nivel de uso de insumos y también la tecnología son endógenos a los precios, por lo cual suponer cambios exógenos en el uso de recursos manteniendo tecnologías o procesos productivos constantes puede resultar complejo.

En síntesis, el análisis de la evolución de la PTF y de las productividades parciales (ej. rendimientos/ha) son un indicador del cambio tecnológico y de eficiencia productiva de un conjunto de insumos y factores. En particular el cambio en la PTF, si es positivo, puede asociarse a una reducción real de costos debida a mejoras en la tecnología y en la eficiencia de combinación de recursos para obtener un producto. Al mismo tiempo, la evolución de la productividad es afectada por un sendero de cambio tecnológico que se define en función de precios relativos y que es condicional a una combinación dada de factores. En consecuencia, puede afirmarse que eliminar o reducir exógenamente el uso de uno o más factores productivos (como por ejemplo los insumos

químicos) en la agricultura no sólo afectaría negativamente los niveles de producción sino también las tasas de cambio en la productividad y la eficiencia productiva. Y esto a su vez determinaría necesariamente un aumento de costos de producción y de precios de los alimentos.

Uso de insumos químicos y productividad agrícola

La tierra es el factor de producción específico de la agricultura. La expansión de la producción basada en el incremento de superficie cultivada puede implicar avanzar sobre zonas frágiles que serían mejor aprovechadas para producción ganadera extensiva, uso forestal sostenible o reservas naturales de biodiversidad. Una visión de “intensificación sostenible” de la agricultura postula que los incrementos de producción futuros no deberán basarse en incrementos en la superficie cultivada sino de mayor producción a partir del área actualmente en cultivo, con el menor impacto ambiental posible.

Aumentar la producción agrícola por unidad de superficie puede lograrse mediante dos mecanismos:

- i. Incrementando en nivel de insumos empleados por unidad de tierra (intensificación del uso factorial)
- ii. Aumentando la eficiencia con la cual se usan los insumos disponibles (cambio tecnológico)

Los dos mecanismos pueden actuar de manera independiente y también combinarse en función de la tecnología disponible y los precios relativos vigentes. En cuanto a la intensificación, la utilización de insumos químicos (fundamentalmente fertilizantes y agroquímicos) así como de energía fósil en la producción agrícola son el centro de preocupación de muchos observadores.

Una reducción potencial en el uso de fertilizantes en los sistemas agrícolas actuales podría tener al menos tres consecuencias. En primer lugar, pérdida de producción por el efecto directo sobre el proceso productivo. En este sentido, en términos económicos resulta relevante considerar cómo se induce la reducción en el uso de fertilizantes.

Una opción podría ser un mecanismo de comando y control que limite cuantitativamente el uso de estos insumos en los países. La heterogeneidad de ambientes y de sistemas productivos puede hacer muy difícil la implementación de un mecanismo de este tipo. La alternativa es inducir la reducción en el uso utilizando el sistema de precios a través de la aplicación de impuestos que incrementen sus precios reales. Los impuestos introducen una distorsión económica y una

pérdida de bienestar que en teoría sería compensada por beneficios ambientales, si es que se han realizado las estimaciones de costos y beneficios de manera adecuada. Si esto no es así, en la medida que los precios relativos fertilizante/producto agrícola no reflejen los verdaderos costos de oportunidad, esta pérdida implicaría menor generación de excedente, y por lo tanto costos en términos de bienestar para la sociedad.

En segundo lugar, desde un punto de vista agronómico el uso de fertilizantes contribuye a una mayor producción de materia seca y mayor potencial de crecimiento del cultivo. Ambos factores son importantes para el manejo de los suelos agrícolas: la materia seca contribuye al mantenimiento y aumento de la materia orgánica que es un factor determinante en las características productivas del mismo. A su vez, el mayor vigor de crecimiento del cultivo resulta en menor riesgo de erosión, por permanecer menos tiempo el suelo desnudo o con poca

cobertura, a la par que contribuye en el proceso de captura de carbono, mejorando el balance global.

En tercer lugar, bajos niveles de uso de fertilizantes químicos con niveles de producción crecientes pueden tener como resultado un balance negativo de nutrientes. Es decir, la extracción de recursos puede ser mayor que la reposición por fertilización y por la liberación natural de nutrientes del perfil del suelo. La no reposición puede no tener consecuencias productivas si no se supera determinado umbral, pero si este proceso es continuo sería esperable una caída en la fertilidad del suelo y una reducción de la producción futura.

El aspecto negativo del uso de fertilizantes químicos se relaciona con las potenciales externalidades tales como contaminación de napas o de cursos de agua y son temas que tienen importante relevancia en los países que tienen altos niveles de uso de estos insumos. En América Latina los niveles de uso de fertilizantes químicos son menores que en países de la Unión Europea o los Estados Unidos lo que plantea una menor problemática de externalidades negativas potenciales. No obstante, el control de la dinámica de nutrientes en el suelo y en cursos de agua resulta importante en particular para las áreas de producción intensiva (por ejemplo, horticultura), donde en general se utilizan mayores niveles de insumos químicos y la producción se realiza en zonas periurbanas con mayor población que puede ser afectada.

El caso de otros insumos químicos, como los pesticidas, tiene particularidades diferentes. En particular el uso de plaguicidas puede afectar a trabajadores agrícolas y consumidores de manera directa, pero además resulta crecientemente relevante por su impacto potencial en la biodiversidad. Este tipo de insumos tienen regulaciones de uso que a nivel internacional se reflejan en las normas “SPS” (“Sanitary and Phytosanitary”, o “Sanitarias y Fitosanitarias”) de la Organización Mundial de Comercio las cuales establecen criterios detallados sobre las condiciones mínimas que deben cumplir productos de origen animal y vegetal destinados al consumo humano.²⁴

El problema de uso óptimo de pesticidas no sólo es agronómico, sino que es además económico. El nivel óptimo de uso de un agroquímico está determinado teóricamente por la igualación del Valor del Producto marginal del insumo al precio de este insumo en el mercado. Si el agroquímico tiene externalidades negativas, el óptimo social puede sin embargo ser menor al óptimo privado ya que un decisor no internaliza los costos sociales. Pero además se debe incorporar otra dimensión al análisis cuantitativo: en un mercado con variedad de agroquímicos que son potenciales sustitutos, se debe elegir el insumo que a igual o similar costo, resulta en menos externalidades negativas. Y también sería posible combinar el uso con prácticas que minimicen el uso de agroquímicos necesarios. En este sentido algunas prácticas agronómicas tales como rotaciones, fechas de siembra, elección de genética de cultivares, manejo integrado de plagas y monitoreo de malezas pueden ser parte del menú.

Así, el problema del proceso decisorio es multidimensional y no sólo depende de aspectos cuantitativos o de dosificación de cantidades. Esto sugiere que una política que busque limitar el uso de agroquímicos debe considerar los incentivos económicos, la disponibilidad de información y los procesos decisorios de la producción agropecuaria para tener un resultado adecuado.

En síntesis, podemos afirmar que, en última instancia, el cambio tecnológico y las mejoras de eficiencia son los factores más importantes para incrementar la productividad por unidad de agroquímico empleado y asegurar una producción sostenible. En este sentido, es importante enfatizar que el aumento en la PTF a lo largo del tiempo puede ser considerado como una

contribución importante a la sostenibilidad ambiental. Mejoras en la PTF implican que se produce más con igual cantidad de insumos, o que el mismo nivel de producción se logra con menor nivel de insumos y factores, lo que contribuye al ahorro de recursos, entre ellos el ambiente.

²⁴ https://www.wto.org/english/thewto_e/coher_e/wto_codex_e.htm

Reducción del uso de insumos químicos e impactos globales

Un trabajo reciente del Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los EEUU (ERS-USDA) analiza posibles impactos de la reducción en el uso de insumos químicos que podrían resultar de la implementación del programa de la Unión Europea denominado “Farm to fork”.²⁵

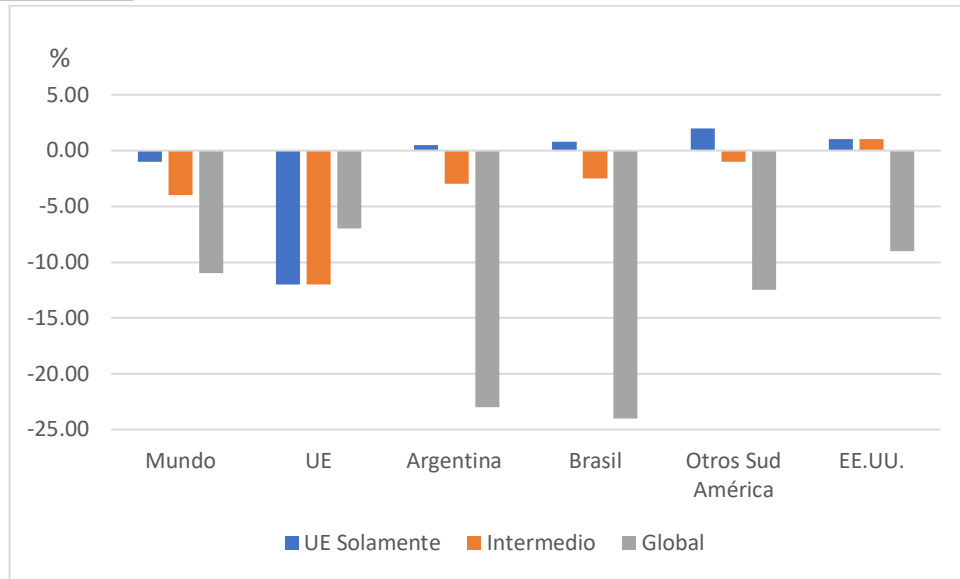
El programa propone, entre otros objetivos, una reducción del 20% en el uso de fertilizantes, 50% en plaguicidas, 10% en área sembrada y 50% en antimicrobianos utilizados en producción animal. Un aspecto importante del programa es que la UE tiene como objetivo que el mismo no se limite a sus miembros, sino que tenga un alcance más general, influyendo sobre los países que tienen flujos comerciales con la UE en bienes agrícolas. La justificación de esta aproximación es contribuir a la mitigación de las consecuencias del cambio climático y a preservar la biodiversidad y el ambiente como “bienes públicos globales”.

El estudio de estimación de impactos realizado por el ERS-USDA se fundamenta en un modelo de equilibrio general global que cambia los precios relativos de los insumos químicos y de la tierra (vía impuestos) para generar una reducción en el uso de insumos y factores. En particular predice los cambios en producción y precios, dadas las reducciones de uso de fertilizantes, plaguicidas, agentes antimicrobianos y tierra que son objetivos del programa. El estudio contempla tres escenarios. En el Escenario 1, solo los . países de la UE adoptan las metas del programa. El Escenario 2 (Intermedio) supone que además de la UE, algunos países (los principales socios comerciales) adoptan las pautas, y al resto se le impone un 50% de restricción a las exportaciones a la UE. Finalmente, en el Escenario 3 la adopción del programa tiene alcance global. Los resultados reflejan lo que ocurriría en un horizonte de 8 a10 años.

Los resultados del estudio muestran que, en términos de producción a nivel mundial, como consecuencia del programa “Farm to Fork” los niveles de producción agrícola se reducirían según el escenario considerado, entre un 1% y 11% (ver Gráfico 2). Se observa que los impactos de una adopción global de restricciones productivas serían negativos en los países de Sud América, en particular para los grandes productores de granos como Argentina y Brasil, que experimentarían reducciones del orden del 23/24%.

Gráfico 2. Cambios en producción agrícola y alimentos para tres Escenarios (%)

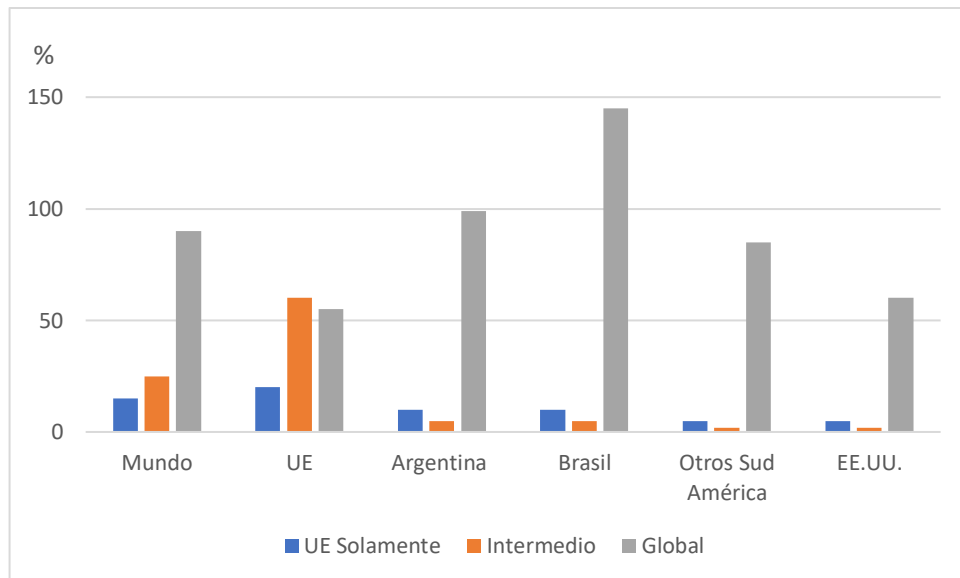
²⁵ Beckman, J. et al. (2020).



Fuente: elaboración propia en base a Beckman et al. (2020)

Por otra parte, la reducción de cantidades implicaría un incremento en los precios de mercado de entre un 9% (escenario 1) y 89% (Escenario 3) para el mundo en su conjunto (Ver Gráfico 3). En el escenario global los precios se incrementarían fuertemente en todos los países productores y exportadores de granos como Argentina, Brasil y los EE.UU.

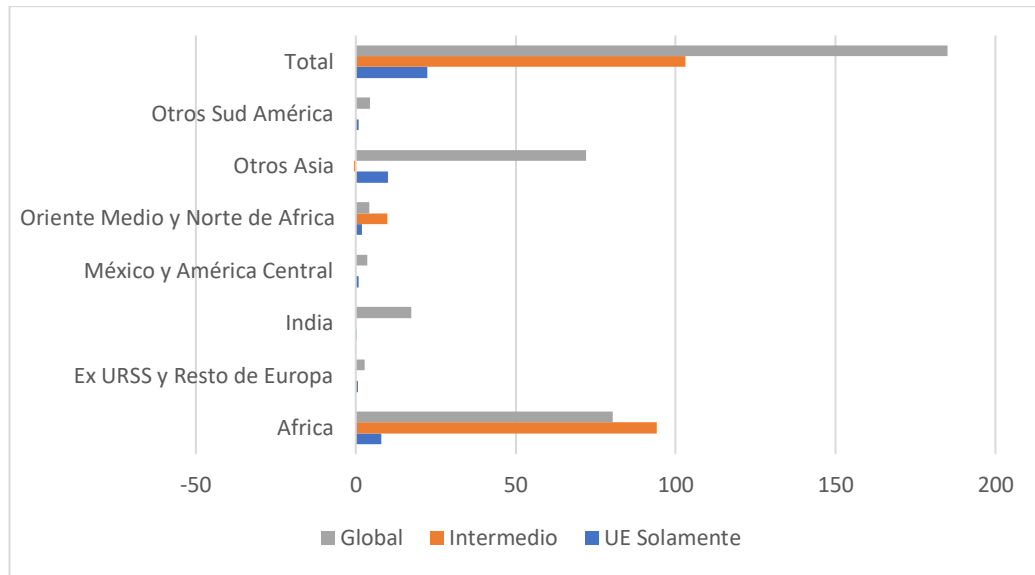
Gráfico 3. Cambio en precios agrícolas para tres Escenarios



Fuente: elaboración propia en base a Beckman et al. (2020)

Esta combinación de disminución de producción global agrícola y aumento de precios determinaría que la población mundial sujeta a inseguridad alimentaria aumentaría entre 22 y 189 millones de personas hacia el año 2030 (Ver Gráfico 4).

Gráfico 4. Incremento neto en inseguridad alimentaria (millones de personas)



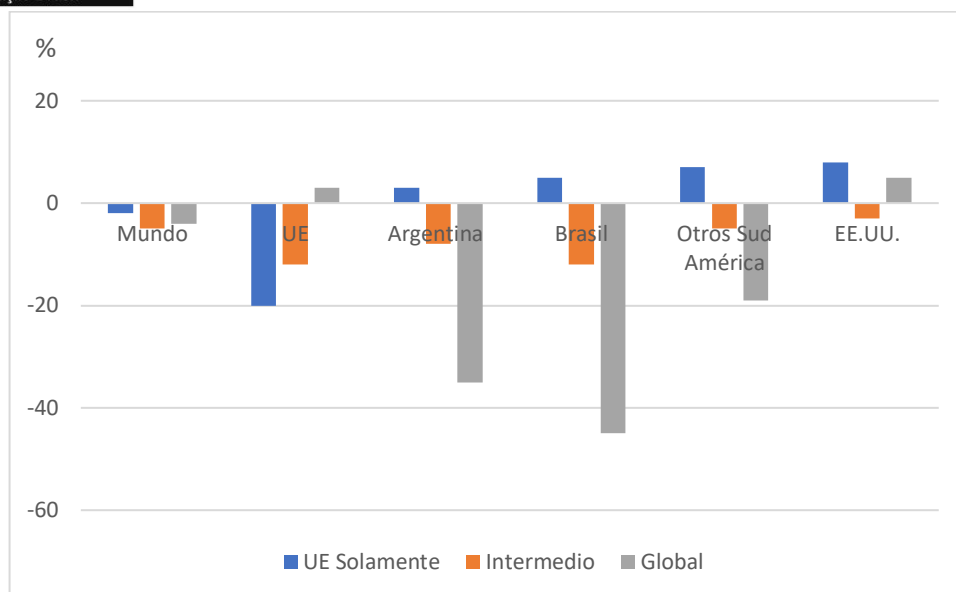
Fuente: elaboración propia en base a Beckman et al. (2020)

Estas estimaciones sugieren que los impactos globales de una restricción en el uso de recursos en la agricultura no son menores en términos de bienestar. Si consideramos una situación intermedia como el Escenario 2 (tal vez el más probable donde la UE aplica restricciones a socios comerciales) las consecuencias serían una reducción del 4% en la producción mundial, un aumento del 21% en los precios, un aumento en el costo anual de alimentación por persona de US\$ 159, y un aumento de 103 millones de personas en condiciones de inseguridad alimentaria.

En cuanto a los países de América Latina analizados²⁶ el trabajo del USDA sugiere que los Escenarios 1 y 2 tendrían impactos relativamente menores sobre la producción agrícola. Sin embargo, bajo el Escenario 3 (adopción plena de restricciones) la producción caería entre un 10% y un 25%, con fuertes reducciones en Argentina y Brasil particularmente. Asimismo, las exportaciones de estos países caerían fuertemente (Ver Gráfico 5).

Gráfico 5. Cambio en exportaciones agrícolas para tres Escenarios

²⁶ Argentina, Brasil, México y América Central y Otros países de Sudamérica.



Fuente: elaboración propia en base a Beckman et al (2020)

En términos de ingresos brutos de los agricultores, el Escenario 2 en general implica resultados negativos, con pérdidas que van entre el 2.3% para Brasil, el 4.7% para Argentina y el 2.1% para otros países de Sud América. En cambio, en los Escenarios 1 y 3 los resultados predicen incrementos significativos de los ingresos de los agricultores, excepto para el caso de Brasil en el Escenario 3 (Ver Cuadro 1).

Cuadro 1. Cambio en ingreso bruto de los productores agrícolas

	UE Solamente	Intermedio	Global
Mundo	2	3.6	17.1
UE	-16.4	7.5	14.6
Argentina	5.9	-4.7	16.9
Brasil	3.4	-2.3	-5.1
Otros Sud América	4.9	-2.1	15.8
EE.UU.	6.2	0.5	34.2

Fuente: elaboración propia en base a Beckman et al (2020)

Los resultados del estudio del ERS-USDA son estimaciones globales sujetas a importantes supuestos, pero permiten inferir que las limitaciones en el uso de insumos en la agricultura pueden tener impactos productivos y de bienestar muy relevantes.

En la siguiente sección se presenta una descripción de la evolución de la producción, productividad y uso de factores en los cuatro cultivos más relevantes para la alimentación humana en diez países de América Latina y se analizan las potenciales consecuencias de una limitación en el uso actual de insumos químicos.

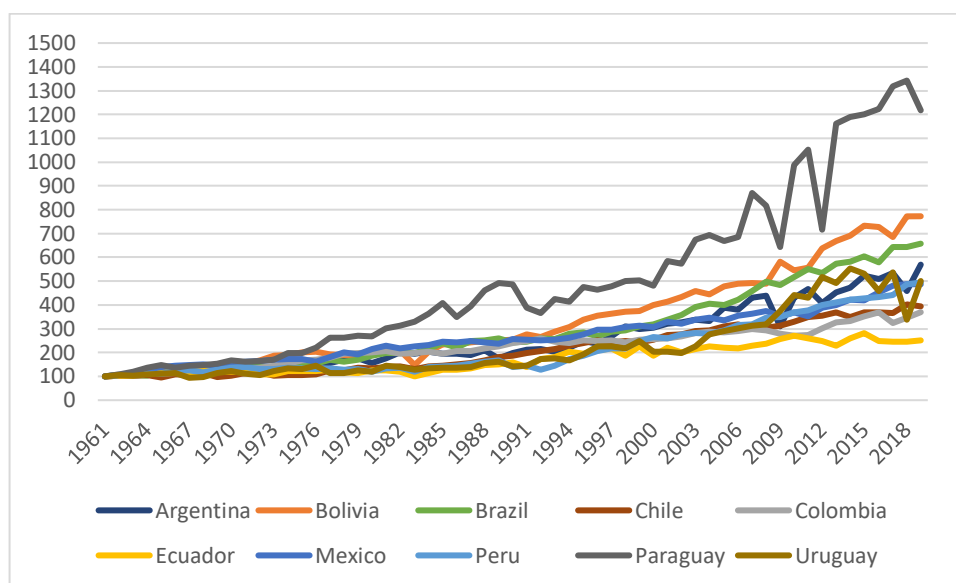
Producción, productividad y uso de insumos en la agricultura de América Latina

En esta sección se presenta primero una reseña de la evolución de la producción, uso de factores y productividad agrícola para diez países de América Latina: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Paraguay, Perú y Uruguay. Luego, para este mismo grupo de países se analiza en particular la evolución de los indicadores de productividad de la tierra (rendimientos) y uso de insumos con especial referencia a los cuatro cultivos más relevantes para la alimentación humana: maíz, arroz, soja y trigo. A partir de esta información se discute en cada caso el potencial efecto de limitaciones en el uso de insumos químicos.

Productividad Total de Factores y uso de insumos

La información del Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (ERS-USDA) sobre estimaciones globales de evolución de productividad agrícola permite calcular la evolución de la producción, uso de factores y PTF para el conjunto de países seleccionados²⁷. El Gráfico 6 presenta la evolución de un índice de producción agrícola (cultivos) entre 1961 y 2019. Se observa que todos los países incrementaron de manera importante la producción, multiplicando el nivel inicial entre 3 y 12 veces en los últimos 60 años.

Gráfico 6. Índice de producción agrícola (cultivos) 1961-2019 (1961=100)

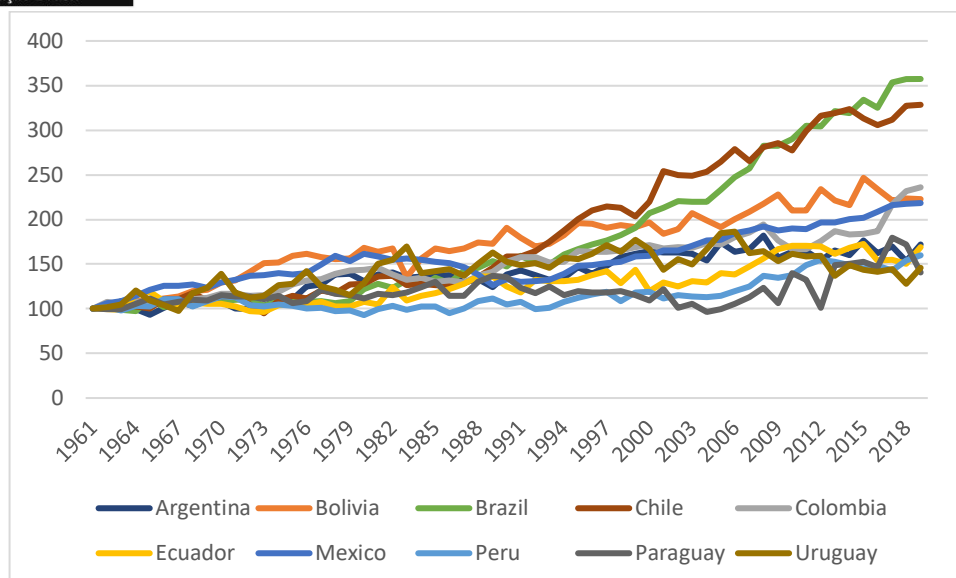


Fuente: elaboración propia en base a ERS-USDA

Como se mencionó antes, el crecimiento de la producción puede tener su origen en el aumento del uso de factores y/o en el incremento de la productividad. En el Gráfico 7 se muestra la evolución del índice de Productividad Total de Factores (PTF) en la agricultura de los países seleccionados.

Gráfico 7. Índice de PTF (1961=100)

²⁷ <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>



Fuente: elaboración propia en base a ERS-USDA

Se observa para los países de la muestra la PTF se incrementó aproximadamente, en promedio, entre 2 y 3 veces con respecto al período base. Esto implica que, con la misma cantidad de recursos (tierra, trabajo, capital, insumos químicos) que los utilizados en el año 1961, sólo gracias a los avances tecnológicos y mejoras de eficiencia, la producción en el año 2019 resulta entre 2 y 3 veces superior al año base. Cómo la cantidad de factores se ha incrementado en este período, la producción observada resultó mucho mayor. Pero lo importante es que el crecimiento de la producción fue mayor que el crecimiento del uso de factores, lo que resulta en un incremento de la productividad.

Este incremento puede pensarse, alternativamente, como una reducción real de costos. Así, puede interpretarse que en el año 2019 se necesitarían entre 2 y 3 veces menos recursos para producir las mismas cantidades que en el año 1961. Es decir, el aumento de la productividad implicó un ahorro en las cantidades utilizadas de recursos, lo que implica no sólo una reducción de costos monetarios sino también una menor presión sobre los recursos naturales por unidad de producción agrícola.

El Cuadro 2 y el Gráfico 8 presentan las tasas de crecimiento anual de los índices de producción agropecuaria total, producción agrícola, factores agregados (tierra, trabajo capital, insumos), tierra agrícola, fertilizantes y PTF en el período 1961-2019²⁸.

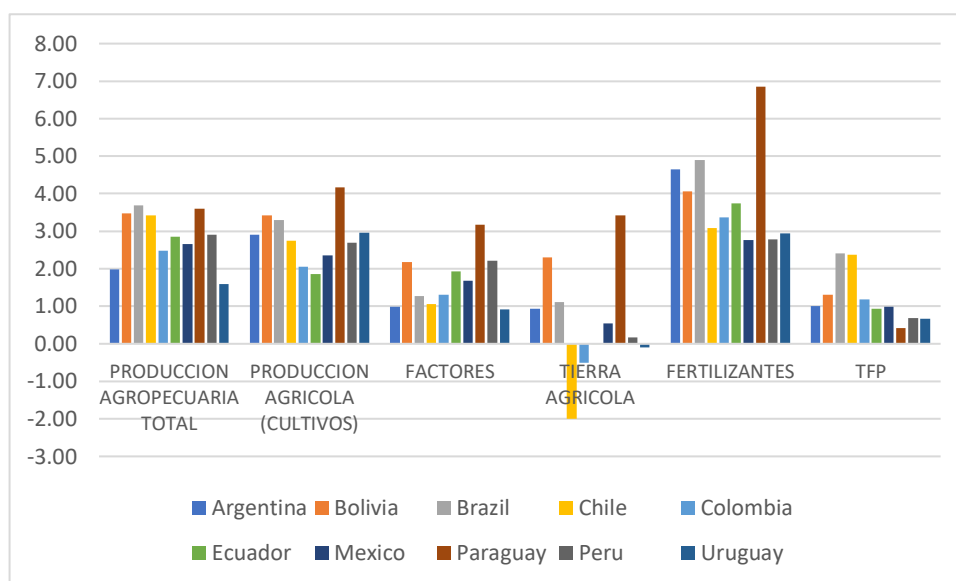
Cuadro 2. Tasas de crecimiento anual (%) de índices de producción, factores y PTF 1961-2019

²⁸ Las tasas de crecimiento anual acumulativo se calcularon estimando regresiones log-lineales de los índices de producción, insumos y productividad elaborados por el ERS-USDA para el período 1961-2019.

	Producción Agropecuaria Total	Producción Agrícola (Cultivos)	Factores	Tierra Agrícola	Fertilizantes	PTF
Argentina	1.98	2.91	0.98	0.93	4.64	1.00
Bolivia	3.48	3.42	2.18	2.31	4.07	1.30
Brazil	3.68	3.29	1.28	1.11	4.89	2.40
Chile	3.43	2.75	1.05	-2.00	3.09	2.37
Colombia	2.48	2.06	1.30	-0.50	3.37	1.18
Ecuador	2.85	1.86	1.93	0.01	3.75	0.93
Mexico	2.66	2.35	1.68	0.54	2.77	0.98
Paraguay	3.60	4.17	3.18	3.42	6.85	0.42
Peru	2.90	2.70	2.22	0.16	2.78	0.68
Uruguay	1.59	2.96	0.92	-0.09	2.95	0.67
Promedio	2.87	2.85	1.67	0.59	3.92	1.19

Fuente: elaboración propia en base a ERS-USDA

Gráfico 8. Tasas de crecimiento anual (%) de índices de producción, factores y PTF



Fuente: elaboración propia en base a ERS-USDA

La tasa de crecimiento anual acumulado de la productividad (PTF) resulta de la diferencia entre la tasa de crecimiento del índice de producción agropecuaria y la tasa de crecimiento del índice de todos los factores utilizados (trabajo, capital, tierra e insumos intermedios tales como fertilizantes químicos y semillas mejoradas). En promedio para los países seleccionados la PTF

creció en los últimos sesenta años a una tasa del 1.19% anual acumulado. Esta tasa de crecimiento implica que la productividad se duplica aproximadamente cada 60 años. Es decir, cada 60 años es posible producir el doble de productos con la misma cantidad de factores

productivos o, alternatively, reducir la cantidad de factores a la mitad manteniendo la producción constante. Como se mencionó previamente, la producción total aumentó como consecuencia del incremento del uso de factores, pero la tasa de crecimiento del uso factorial fue en el período mucho menor que la tasa de crecimiento de la producción, resultando en una mejora de la productividad. Estas mejoras de productividad permitieron el incremento de la producción con una menor utilización de factores (entre ellos tierra) por unidad de producto.

Puede observarse en los datos presentados que cuando se desagrega el uso de factores identificando algunos de sus componentes tales como tierra y fertilizantes químicos, la tasa de crecimiento de estos últimos insumos supera la tasa de crecimiento del factor tierra y la tasa promedio del conjunto de factores. Esto implica que los fertilizantes y otros insumos químicos han tenido un rol importante en el crecimiento del uso factorial que se ha combinado con avances tecnológicos y aumentos de eficiencia que determinaron el crecimiento de la producción agrícola observada.

Para tratar de cuantificar el efecto sobre la producción del uso de los factores productivos es necesario utilizar el concepto de función de producción y realizar algunos supuestos para facilitar los cálculos. Un supuesto usual es suponer que la función agregada de producción agrícola puede representarse como una función homogénea de grado uno, lo que implica que los retornos a escala son constantes²⁹. Una forma funcional usual para esta representación es la función de producción Cobb-Douglas, para nuestro caso podemos expresarla como:

$$Y = A \cdot K^{\alpha} \cdot L^{\beta} \cdot T^{\gamma} \cdot I^{\delta} \quad (3)$$

Donde A es una constante que representa el estado de la tecnología (que puede cambiar en el tiempo), K es capital, L es trabajo, T es tierra, I son insumos intermedios y α , β , γ y δ son parámetros que representan las participaciones factoriales o elasticidades insumo-producto. Si los retornos son constantes a escala entonces se debe cumplir que $\alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$, es decir la suma de las participaciones factoriales en el producto es igual a la unidad.

Para nuestro análisis podemos simplificar aún más esta presentación agrupando los factores capital, trabajo y tierra en un solo índice X :

$$Y = A \cdot X^{\alpha} \cdot I^{\beta} \quad (4)$$

En este caso el parámetro α representa la participación conjunta del capital, el trabajo y la tierra en el producto y el parámetro β la participación de los insumos intermedios (insumos químicos principalmente). Los valores de los parámetros de participación se obtienen de estructuras de costos o de estimaciones econométricas de las funciones y puede variar en el tiempo, dependiendo de la tecnología de producción.

El ERS-USDA realiza estas estimaciones y presenta en su base de datos el valor de los parámetros utilizados en los cálculos de productividad. Para el período más reciente de las estimaciones (2011-2020) de productividad en los países considerados en nuestro análisis, el

valor de la participación de los insumos químicos (β) es de 0.33. Es decir, los insumos químicos participan con un 33% del valor total de la producción, siendo el 67% restante la contribución que realizan los otros factores productivos en conjunto.

²⁹ Retornos a escala constantes implica que, si se incrementan todos los factores de producción en una misma proporción, la producción se incrementa en esta misma proporción. Es decir, el doble de uso factorial determina que se duplica también la producción.

A partir de esta especificación y con los datos disponibles es posible calcular cuál sería el efecto sobre la producción agrícola de una reducción en el uso de alguno de los factores productivos, en particular los insumos químicos. Si denominamos r a la proporción de reducción de insumos químicos que se quiere imponer ($0 < r < 1$), es posible calcular el porcentaje de reducción de producción ($\Delta\%Y$) si se mantienen constantes el resto de los factores con la siguiente fórmula:

$$\Delta\%Y = [(1-r)^\beta - 1].100 \quad (5)$$

Asimismo, es posible calcular cuál sería el incremento porcentual del resto de los factores productivos ($\Delta\%X$) que permita compensar la disminución de insumos químicos, con la condición de mantener la producción constante:

$$\Delta\%X = [(1-r)^{-\beta/\alpha} - 1].100 \quad (6)$$

Con esta especificación y con los datos disponibles, en el Cuadro 3 se presentan los efectos sobre la producción de una reducción en el uso de insumos químicos en un rango entre un 30% y un 90%, así como el incremento necesario en el resto de los factores si se supone que la producción permanece constante.

Cuadro 3. Efectos sobre producción y uso de factores por reducción en uso de insumos químicos

Cambio en uso de IQ	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%
Cambio en producción	-11%	-16%	-20%	-26%	-33%	-41%	-53%
Cambio en el uso de otros factores	19%	29%	41%	57%	81%	121%	211%

Fuente: elaboración propia

Los resultados sugieren que un cambio en el uso de insumos químicos tendría consecuencias relevantes tanto en términos de reducción producción o de incremento en el uso de otros factores si se desea mantener constante la producción. Si suponemos, por caso, una reducción del 50% en el uso de IQ esto implicaría una reducción del 20% en la producción. En este mismo caso, si se trata de mantener la producción constante, deberían incrementarse proporcionalmente un 41% el uso de otros factores (tierra, trabajo, capital) para compensar la reducción de IQ. En particular, el uso de mayor cantidad de tierra implicaría un avance de la frontera agrícola sobre zonas marginales, mayor deforestación o sustitución por tierras ganaderas de menor aptitud agrícola y con una mayor presión sobre ecosistemas frágiles.

Por supuesto que estos valores son condicionales a los supuestos utilizados, en particular la forma de la función de producción seleccionada para los cálculos y la participación factorial. En este sentido, la función Cobb-Douglas presentada supone rendimientos constantes a escala y una elasticidad de sustitución factorial constante e igual a la unidad³⁰. Es decir, existe posibilidad

de sustitución entre factores a una tasa creciente y además los factores considerados tienen algún grado de complementariedad ya que no es posible reducir a cero el uso de un factor ya que la producción también sería nula.

³⁰ Esto implica que si la reducción en el uso de IQ se induce por una modificación de los precios relativos (ej. un impuesto sobre los IQ) la sustitución por los otros factores es posible y se realiza de forma tal que no cambian las participaciones factoriales en términos de costos

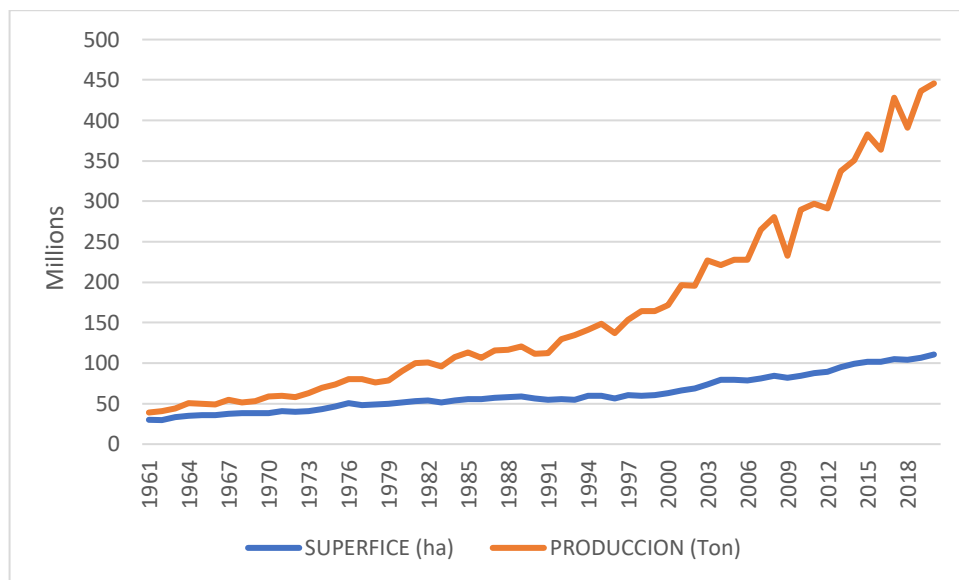
También debe tenerse en cuenta que la tecnología y los parámetros de la función de producción son endógenos a los precios relativos, lo que implica que si se induce una reducción en el uso de IQ por un cambio de precios relativos (un impuesto al uso de IQ, por ejemplo) si bien en el corto plazo el impacto podría calcularse con los parámetros originales, en el largo plazo se modificaría también la misma función de producción. Es decir, no sólo los niveles de producción y uso de factores se verían afectados sino también el tipo de producción y la tasa de cambio tecnológico. Un aspecto adicional a tener en cuenta es el relacionado con la eficiencia productiva, definida como la habilidad de los productores de utilizar la tecnología disponible.

En la medida en que un sistema productivo se modifica, los productores deben aprender nuevas técnicas y utilizar nuevos conocimientos, lo que puede resultar en una menor eficiencia productiva en el proceso de cambio. Todo esto sugiere que además de un efecto de nivel de producción y uso de factores, la tasa de cambio de la PTF puede verse afectada. Tal como se señaló anteriormente, la tasa promedio de crecimiento de la PTF en la región fue de 1.19% anual lo que implica una duplicación de productividad cada 60 años. Si esta tasa se redujera un 50% como consecuencia de restricciones en los sistemas productivos, alcanzando sólo una tasa del 0.6% anual, esto implicaría que la PTF se duplicaría ahora cada 120 años aproximadamente.

Productividad de la tierra y uso de insumos en los principales cultivos

En los diez países analizados la superficie total cultivada con maíz, arroz, soja y trigo se multiplicó casi por cuatro en los últimos sesenta años. De 30 millones de hectáreas cosechadas en el año 1961 se pasó a 110 millones en el año 2020. Al mismo tiempo, la producción total medida en toneladas de grano creció más de 11 veces, desde 39 millones de toneladas hasta 445 millones de toneladas (Ver Gráfico 9). Esto implica un importante crecimiento de la producción parcial de la tierra, que usualmente se mide como los rendimientos en kilogramos de grano por hectárea.

Gráfico 9. Superficie y producción de los cultivos de maíz, arroz, soja y trigo



Fuente: elaboración propia en base a FAOSTAT

Estos valores son agregados y, por supuesto, existe una importante heterogeneidad entre los países en términos de niveles de rendimientos debido a las diversas condiciones iniciales y así como de ambiente y sistemas productivos. Si se analizan en forma desagregada, las tasas de crecimiento de los rendimientos en el período analizado han sido claramente positivas para la mayoría de los países y cultivos (Ver Cuadro 4). En promedio los rendimientos de los cultivos crecieron a una tasa anual acumulada del 1.72%, lo que implica una duplicación de la cantidad

de producto por hectárea cada 40 años. A su vez, se produjo un cambio en el grupo de cultivos realizados, incrementándose la presencia de la soja, que llegó a posicionarse como el segundo en importancia, cuando medio siglo antes prácticamente no tenía presencia en la región.³¹

Cuadro 4. Tasa de Crecimiento anual de rendimientos de cultivos y uso de fertilizantes (%)

	Maíz	Arroz	Soja	Trigo	Fertilizantes
Argentina	2.66	1.41	1.72	1.56	7.12
Bolivia	1.43	1.21	0.97	1.37	3.76
Brazil	2.76	2.73	2.03	2.56	6.06
Chile	3.08	1.67	0.26	2.88	7.16
Colombia	2.17	1.26	1.46	1.20	5.43
Ecuador	2.89	1.24	0.42	0.13	5.71
Mexico	2.41	1.72	-0.41	1.47	2.29
Paraguay	2.52	2.08	0.95	1.90	9.47
Peru	1.58	1.39	0.74	1.01	1.48
Uruguay	4.49	1.79	1.63	2.58	5.84
Promedio	2.60	1.65	0.98	1.67	5.43

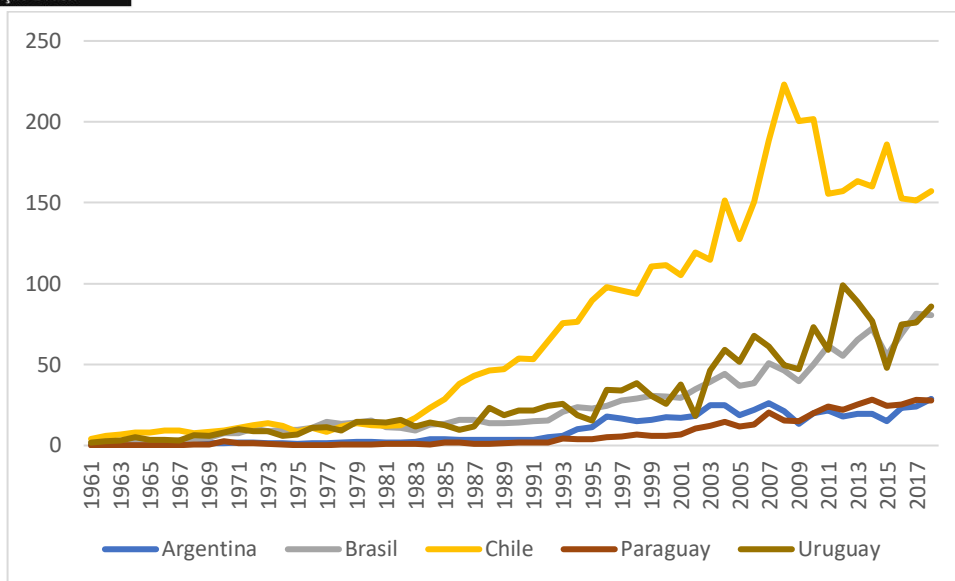
Fuente: elaboración propia en base a FAOSTAT

El crecimiento de la productividad por hectárea es una medida parcial de productividad porque no contempla el agregado de otros factores productivos. En particular focalizamos la atención en el uso de fertilizantes químicos por hectárea que ha crecido a tasas aceleradas durante el mismo período. En promedio, para los países de la muestra el uso de fertilizantes pasó de unos 5kg/ha a 62 kg/ha entre 1961 y 2018.

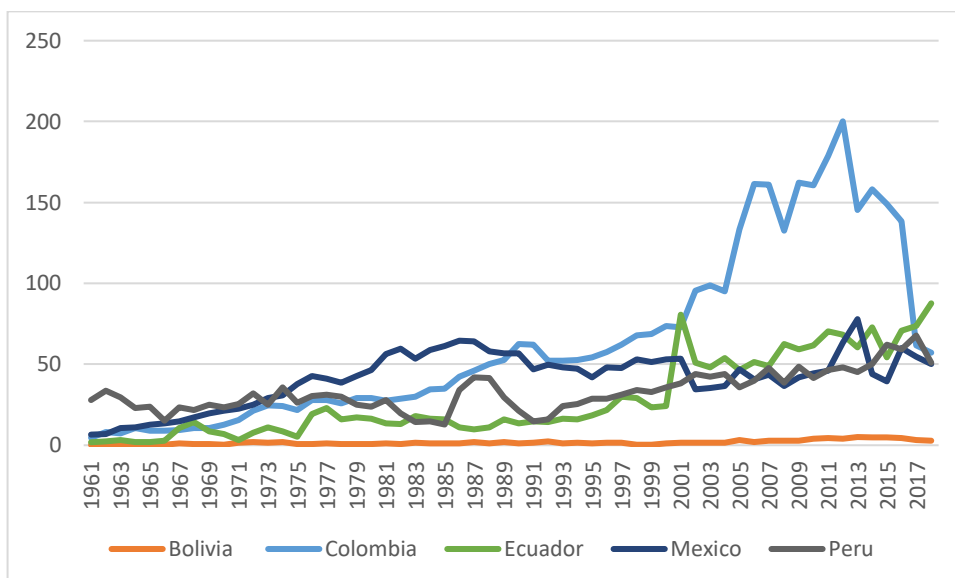
Gráfico 10. Uso de fertilizantes químicos en países seleccionados (kg/ha)

Países del Cono Sur

³¹ Debe señalarse que, en el caso de la soja, su rendimiento por unidad de superficie es menor que el de los cereales, pero considerando su aporte de calorías -dada su composición de proteínas y aceites- es mayor.



Resto de países seleccionados



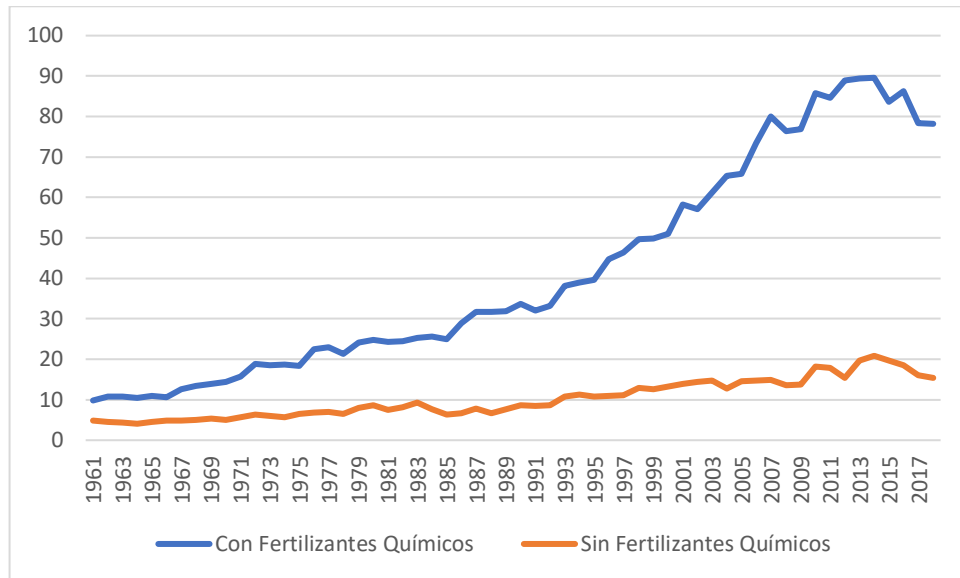
Fuente: elaboración propia en base a FAOSTAT

El uso de fertilizantes químicos tiene, al menos, dos efectos importantes: por un lado, incrementar el potencial productivo de los cultivos y por otro la reposición de nutrientes del suelo que son extraídos en el proceso productivo. En este último sentido, el agregado de insumos químicos tiene un rol importante para la conservación del potencial productivo de los suelos. Cualquier propuesta de reducción de uso de insumos químicos debe considerar no sólo los potenciales beneficios ambientales asociados sino también los costos en términos de menor reposición de nutrientes en los suelos y sus consecuencias en términos de conservación de los suelos. Las estimaciones de balance de nutrientes del suelo realizadas por la FAO (2021) permiten discriminar la extracción de nutrientes realizada por los cultivos y el agregado de nutrientes de

diversas fuentes. El balance surge de calcular la adición de nutrientes realizada por la fijación biológica, los abonos, la deposición atmosférica y los fertilizantes químicos, a los cuales se le resta la remoción debida a los cultivos agrícolas.

En el Gráfico 11 se presenta el balance de nutrientes promedio (kg/ha) para los países de la muestra y el balance resultante si no se hubieran utilizado fertilizantes químicos para reponer nutrientes en el período 1961-2018.

Gráfico 11. Balance de nutrientes del suelo (kg/ha)



Fuente: elaboración propia en base a FAOSTAT

Sin la utilización de fertilizantes químicos, el balance de nutrientes sería aproximadamente un 20% del nivel actual, lo que implicaría no sólo una reducción del potencial productivo en términos de rendimientos actuales, sino también una potencial disminución importante de la productividad futura, de mantenerse los niveles de producción observados.³²

En síntesis, puede notarse que una potencial reducción de uso de insumos químicos tendría importantes efectos actuales en términos de reducción de producción agrícola. De acuerdo con las estimaciones presentadas una reducción del 50% en el uso de insumos químicos implicaría aproximadamente una reducción del 20% de la producción. En términos de la producción actual de los principales cultivos en los países analizados, sería equivalente a una reducción de 90 millones de toneladas de granos.

De manera alternativa, si se quisiera mantener el nivel de producción actual, debería incrementarse el uso de otros factores productivos en un 41%. Considerando el factor tierra, esto implicaría la necesidad de unos 45 millones de hectáreas adicionales dedicadas sólo a los cuatro cultivos principales y a esto debe adicionarse las necesidades incrementales de capital y trabajo. Asimismo, debe tenerse en cuenta que deben realizarse sustituciones y cambios productivos que seguramente impactarán no sólo sobre los niveles de producción sino también sobre las tasas de crecimiento de la eficiencia y productividad futuras.

Uso de Insumos Químicos y Emisiones GEI

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los sistemas agroalimentarios son generadas por las actividades productivas agrícolas (cultivos y ganadería), cambio de uso de

³² Al mismo tiempo, es necesario referir que esta incorporación de fertilizantes, si se efectúa sin los recaudos de buenas prácticas correspondientes, puede contribuir a procesos de contaminación ambiental.

suelo y procesos de pre y post producción. De acuerdo con las definiciones utilizadas por la FAO³³ los dos primeros componentes constituyen las emisiones generadas en tierras agrícolas.

Las emisiones en tierras agrícolas se expresan generalmente en términos de CO₂ equivalente ya que Incluyen las emisiones que no son de CO₂ de la producción agrícola y ganadera, generadas dentro de la finca y también las pérdidas de carbono de los procesos de incorporación de nuevas tierras para cultivos agrícolas. El tercer componente se refiere a las emisiones generadas a lo largo de la cadena de producción de alimentos lo que incluye el transporte, el procesamiento y la fabricación de insumos, así como del consumo doméstico y los desperdicios de alimentos.

A los efectos de nuestro análisis serán consideradas los primeros dos componentes como relevantes para la determinación del potencial efecto de una reducción en el uso de insumos químicos en los procesos productivos. En efecto, uno de los componentes de las emisiones en tierras agrícolas es el uso en finca de los fertilizantes químicos. Existen otros procesos que generan emisiones de GEI dentro de la finca tales como la aplicación de abonos, la fermentación entérica y la quema de residuos de cultivos entre otros. A su vez, el cambio de uso de tierras genera emisiones principalmente por la conversión neta de bosques a cultivos.

Las estimaciones de FAO (2021) muestran que en el año 2019 se emitieron en el mundo un total 54 mil millones de toneladas de CO₂ equivalente. Este valor es el total de emisiones de todos los sectores económicos, siendo el mayor emisor el sector de energía con un 70% de participación, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles. El siguiente sector en términos de participación es el sector de agricultura, forestación y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) con un 14% del total de emisiones.

El Cuadro 5 presenta los totales de emisiones y sus principales componentes (en términos de CO₂ equivalente) para los países seleccionados y el mundo en el año 2019.

**Cuadro 5. Emisiones de GEI en países seleccionados de América Latina año 2019
 (En millones de toneladas de CO₂ equivalente)**

	Emisiones en Tierras Agrícolas	Emisiones a nivel de Finca	Emisiones por Cambio en Uso de Tierras	Emisiones por uso de Fertilizantes Sintéticos
Argentina	207.38	152.61	54.77	5.64
Bolivia	107.89	31.12	76.77	0.09
Brazil	1216.04	552.77	663.27	26.94
Chile	12.99	12.99	0.00	1.45
Colombia	156.19	73.55	82.64	3.11
Ecuador	39.85	13.80	26.04	1.03
Mexico	130.03	114.66	15.38	7.87
Paraguay	81.93	33.71	48.22	0.71
Peru	121.15	28.15	93.00	1.59

³³ El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) utiliza una definición similar, con diferencias menores que no cambian el análisis presentado en esta sección. Para mayores detalles ver: <https://fenixservices.fao.org/faostat/static/documents/EM/cb7514en.pdf>

Uruguay	28.26	28.26	0.00	0.89
Total Países Seleccionados	2101.70	1041.60	1060.10	49.33
Total Mundial	10716.63	7213.88	3502.74	600.52
% Países Seleccionados	20%	14%	30%	8%

Fuente: elaboración propia en base a datos de FAOSTAT

Puede notarse que el conjunto de países de América Latina seleccionados para el análisis emite por uso de tierras agrícolas un total de 2101 millones de toneladas de CO₂ equivalente, lo que representa un 20% del total mundial. A su vez, este total de emisiones se origina en emisiones a nivel de finca y por cambio de uso de tierras, con una participación de un 50% en cada caso aproximadamente. En términos de participación en las emisiones mundiales por uso de tierras agrícolas, las emisiones a nivel de finca en los países seleccionados representan un 14% y por cambio de uso de tierras un 30%. Esto es consistente con estimaciones recientes (FAO, 2021) que mencionan que el cambio de uso de tierras es el componente de emisiones más importante en los países de América del Sur.

Al mismo tiempo, puede observarse que las emisiones totales originadas en el uso de fertilizantes sintéticos alcanzan un valor de sólo 49 millones de toneladas de CO₂, representando el 8% del total mundial de emisiones con este origen (600 millones de toneladas). En el mundo la proporción de emisiones por uso de fertilizantes con respecto al total de emisiones en tierras agrícolas representa el 6%, mientras que en los países analizados este valor es de sólo el 2%. Tal como se analizó en las secciones anteriores, si bien en los últimos años se ha incrementado el uso de fertilizantes sintéticos en los países de América Latina, puede verse que su incidencia en el total de emisiones de GEI es mucho menor que el promedio mundial.

En este sentido, puede afirmarse una disminución del uso de fertilizantes y otros insumos químicos en los países de América Latina tendría un efecto marginal relativamente bajo en el total de emisiones de GEI. De acuerdo con análisis realizado previamente si suponemos una reducción en el uso de fertilizantes y otros insumos químicos, al mismo tiempo que se desea mantener el nivel de producción constante, necesariamente deberá incrementarse el uso de otros factores productivos. En particular, un mayor uso de tierra implicaría la necesidad de una expansión de la frontera agrícola y un cambio en el uso de tierras, con el consecuente aumento de emisiones de GEI.

Por ejemplo, si suponemos una reducción del 50% en el uso de insumos químicos, podría esperarse una reducción proporcional en las emisiones de GEI con este origen. Para nuestro caso esto implicaría una reducción de aproximadamente 25 millones de toneladas de CO₂.

No obstante, si dada esta reducción en el uso de insumos se desea mantener el nivel de producción deberá incrementarse el uso de tierras. De acuerdo con las estimaciones presentadas previamente podemos suponer un aumento necesario de un 40% en el uso de tierra para agricultura, lo que implicará seguramente un aumento proporcional en los niveles de emisiones por cambio en uso de tierras. A los valores actuales, esto implicaría un incremento de emisiones por esta causa de aproximadamente 400 millones de toneladas de CO₂. Lo que dejaría en términos de emisiones netas de CO₂ un saldo negativo de 375 millones de tn por el cambio de combinación factorial, aumentando un 18% la emisión total de los 10 países

Como también se señaló, estos supuestos implican la constancia de la tecnología y la posibilidad de sustitución factorial lo que no necesariamente puede ocurrir a las tasas asumidas. Si bien son valores indicativos, proveen información acerca de la situación y posibles alternativas de cambio.

En síntesis, no resulta claro que una reducción del uso de insumos químicos pueda tener una contribución relevante en términos de reducción de emisiones GEI en América Latina si se desea



Representação Brasil

mantener la producción de alimentos en los niveles actuales y si se tienen en cuenta los efectos netos en términos de cambio de uso de la tierra.

Parte II

Agricultura, servicios ecosistémicos y herramientas de gobernanza en América Latina

Introducción

Las prácticas productivas realizadas por el hombre generan, inevitablemente, algún tipo de impacto ambiental que, de acuerdo a cómo sean realizadas aquellas, pueden tener efectos negativos de mayor o menor intensidad. En los ecosistemas donde se realizan producciones agrícolas las modernas técnicas con elevados niveles de incorporación de inputs químicos sintéticos dan lugar a procesos de degradación del medio natural, trastocando la dinámica de los servicios ecosistémicos derivados de esos ambientes.

En este capítulo se presenta una breve descripción inicial del cuadro de situación agrícola-ambiental que enfrenta América Latina, pasando posteriormente al desarrollo expositivo de la noción de servicios ecosistémicos.

Tales servicios han sido objeto de diversas estrategias de valoración, a efectos de poder asentar sobre las mismas modalidades de gobernanza basada en la generación de incentivos para un mejor manejo de los recursos naturales y, por ende, en la preservación de aquellos servicios; siendo esto desarrollado en el tercer apartado del capítulo.

Finalmente, se expone un sucinto panorama de las principales herramientas de gobernanza para la preservación de los recursos ecosistémicos, con énfasis en el panorama que se abre a las mismas frente a la utilización excesiva y/o inadecuada de los inputs químicos sintéticos en la agricultura latinoamericana.

Agricultura y ambiente en América Latina

El entorno natural provee al ser humano gran cantidad de riquezas en forma de bienes y servicios, desde alimentos a materiales de construcción, desde agua a energía, pasando por procesos de regulación climática o de recuperación de nutrientes, además otros relacionados con uso hedónico del espacio natural, solo por citar unos pocos ejemplos. La evolución humana ha estado determinada por el medio ambiente, y la relación hombre-naturaleza posee una gran importancia social, cultural y estética.

El bienestar de todas las comunidades humanas está intrínsecamente relacionado con los bienes y servicios que se derivan del entorno natural, y depende de ellos en gran medida.

Pese a esto, a lo largo de las últimas siete décadas, el flujo de esos bienes y servicios se ha visto afectado negativamente por la acción humana, del mismo modo que la diversidad de organismos y de territorios que conforman aquel entorno natural también fue impactada del mismo modo.

Tal como se expone en los análisis diagnósticos realizados colectivamente en el presente siglo,³⁴ el mencionado impacto negativo se manifiesta de distintas formas, si bien muchos de ellos vienen de bastante tiempo atrás. Así, algunas estimaciones consideran que en los últimos tres siglos la

³⁴ Reid, Walter et al. (2005).

masa forestal mundial se redujo en algo más del 40%, llegando a contabilizarse territorios donde su masa boscosa desapareció en un 90%. Este proceso, se acota, se aceleró en el último medio siglo, con énfasis en vastas áreas de América Latina. Sin embargo, otros análisis recientes relativizan la virulencia de dicho proceso.³⁵

A lo largo del siglo XX y lo que va del XXI, distintos estudios indican que se perdió el 50% de los humedales de todo el mundo, con énfasis a partir de la década de 1950 en los países tropicales y subtropicales. A la par, se estima que la pérdida de biodiversidad en los arrecifes coralinos durante el mismo período alcanzó al 30% del stock existente a mediados del siglo pasado. En este mismo sentido, se considera que el ritmo de desaparición de especies es mil veces superior al ritmo natural, propio de la historia evolutiva de la Tierra. No obstante, estudios recientes matizan este cuadro de situación, señalando que la pérdida de biodiversidad es mucho más moderada de lo que se plantea en general, e incluso, en determinadas áreas se ha revertido.³⁶

El trabajo diagnóstico multidisciplinario mencionado estima que aproximadamente el 60% de los bienes y servicios derivados de los ecosistemas terrestres analizados se han visto impactados negativamente por la acción del hombre en el último medio siglo, previéndose que esta situación se agudizará en las próximas décadas de continuar con el actual ritmo de desenvolvimiento de las actividades humanas. Además, investigaciones posteriores consideran que la situación general empeorará debido a que el impacto negativo humano sobre los bienes y servicios naturales se agudizará producto de las consecuencias del cambio climático por el que atraviesa la Tierra en esta etapa.³⁷ De la misma manera que lo señalado en los párrafos anteriores, investigaciones recientes tienden a matizar estas observaciones.³⁸

Concentrando la atención en América Latina, se la considera de mayor provisión mundial en cuanto a bienes y servicios originado en los ecosistemas, los cuales son críticos para la producción de alimentos y para contribuir al bienestar humano, tanto a nivel local como mundial.³⁹

La región contiene algo menos del 60% de los bosques primarios del mundo, y alberga un tercio de todas las especies vegetales conocidas. La mitad de la superficie regional es boscosa y constituye un importante depósito de captación y almacenamiento de carbono. Encierra, a la vez, cerca de la mitad de la biodiversidad terrestre, a la par que presenta numerosos humedales y bosques tropicales.⁴⁰

Quizás el ejemplo paradigmático del papel regional lo representa el bioma amazónico, el cual encierra por sí solo el 10% del carbono mundial y libera enormes cantidades de agua dulce anualmente, contribuyendo a estabilizar el clima -local y mundial- y, de ese modo, a fomentar la producción agrícola y ganadera en todo el mundo.⁴¹

En este contexto natural, se señala que la huella ambiental de la producción agrícola y pecuaria regional es muy marcada, en razón de lo cual una inadecuada gestión productiva puede desencadenar procesos de impacto negativo sobre los ecosistemas, que redunden en afectaciones a la provisión de bienes y servicios ambientales que realiza la región al conjunto mundial.

³⁵ Nanni, A. et al. (2019).

³⁶ Vellend, M. et al. (2016).

³⁷ Sukhdev, Pavan (dir.) (2008).

³⁸ Grau, H. Ricardo (2021).

³⁹ Morris, Michael et al. (2020).

⁴⁰ UNEP (2016); FAO (2018).

⁴¹ Charity, S. et al. (2016); Ribeiro, M. et al. (2011).

En América Latina -al igual que en el resto del planeta-, los ecosistemas naturales no son independientes de los sistemas agrícolas, sino que se interrelacionan mutuamente, influenciándose en forma positiva, pero también potencialmente negativa. Esa interrelación impacta en los niveles productivos, en la productividad, en los precios, y por ende, en la disponibilidad final de los productos de origen agrícola.

La producción agrícola depende directa e indirectamente de una variada gama de servicios derivados del natural funcionamiento de los ecosistemas, desde el abastecimiento de agua hasta el reciclado de nutrientes, desde la regulación climática hasta la conservación de la biodiversidad. Cuando tales servicios se ven impactados negativamente por la acción humana, ésta está impactando también en la propia producción agrícola. De ahí que algunos analistas afirmen que la combinación de prácticas productivas que no impacten negativamente sobre los ecosistemas, con la mantención de los servicios derivados de esos ecosistemas como proveedores de aquellas prácticas productivas, redunde en mayores niveles de producción, mejor productividad, crecimiento económico y desarrollo social, tanto para las comunidades locales como para las distintas sociedades humanas distribuidas en todo el planeta.⁴²

Pese a esto, y en función de las señales de deterioro ambiental antes mencionadas, es dable suponer que los sistemas agrícolas de la región enfrentan el desafío de replantearse su patrón de crecimiento, so riesgo de ahondar el impacto negativo sobre los ecosistemas y, por carácter transitivo, sobre sí mismos. Los relevamientos de vigilancia que realiza FAO señalan que la agricultura y ganadería latinoamericana serían responsables del 70% de la transformación de los ecosistemas de América Latina y el Caribe, donde la tasa de deforestación triplica a la mundial (en parte explicada esta superior tasa por la propia mayor dotación de bosques de la región, en relación al resto del mundo), a la vez que representan el 70% de las extracciones de agua dulce de la región. Asimismo, si bien con cifras disímiles entre estudios, se estima que la actividad agrícola y ganadera origina el 46% del total de emisiones de gases de efecto invernadero de la región.⁴³

Este sucinto escenario trazado permite entrever que la necesidad de reconfiguración de los sistemas agrícolas regionales es urgente, debiendo enfrentar problemas claves a nivel de la degradación del suelo, de la pérdida de superficies boscosas y hábitats naturales, de disminución de la cantidad y calidad del agua dulce disponible, de la pérdida de la biodiversidad, y de las consecuencias derivadas de la actual etapa de cambio climático que transcurre sobre el planeta.

La noción de servicios ecosistémicos

Tal como se ha reseñado anteriormente, los sistemas agrícolas se interrelacionan estrechamente con los ecosistemas, influenciándose e impactándose mutuamente. Esta interacción es, en última instancia, la que se entabla entre el hombre y la naturaleza.

Según la definición tradicional, un ecosistema es cualquier unidad que incluya la totalidad de organismos de un área determinada que actúan en reciprocidad con el medio físico, de modo que una corriente de energía conduzca a una cadena trófica, a una diversidad biótica y a ciclos de materiales claramente definidos en su interior.⁴⁴ Esta definición teórica no es identificable plenamente en la realidad, puesto que prácticamente todo ecosistema está intervenido, en mayor o menor medida, por la acción antrópica. En razón de esto, se tiende a conceptualizar a los

⁴² Bovarnick, A. et al. (eds.). (2010).

⁴³ Morris, Michael et al. (2020); FAO (2020); Barcena, Alicia et al. (2014).

⁴⁴ Odum, Eugene (1972).

ecosistemas como toda entidad fundamental donde la naturaleza y la sociedad están acopladas y evolucionan en conjunto, a través del tiempo.⁴⁵

Considerando la especificidad de la producción agrícola y su relación con los ecosistemas, se apela a la noción de agroecosistema, entendido como un sistema biológico y de recursos naturales manejados por el hombre para producir alimentos como principal propósito, otros bienes socialmente relevantes, y servicios ecosistémicos.⁴⁶

Más allá de la denominación a la que se apele, los ecosistemas son sistemas de soporte a la vida, proveen servicios ecosistémicos y beneficios económicos, y brindan la base biofísica para el desarrollo humano en su dimensión social y económica. Esa provisión de servicios se torna una cuestión clave, puesto que, como se señaló, son los que permiten el funcionamiento de los sistemas agrícolas, y a la vez, cuando dicho funcionamiento tiene impacto negativo, la mencionada provisión se ve afectada y repercute directamente en la producción y productividad de dichos sistemas.

El concepto de servicios ecosistémicos (en adelante, SE) es de larga data. A mitad del siglo XX, comienza a reconocerse que la actividad humana depende del ambiente, entendido como capital natural. En la década de 1970 comienza a desarrollarse el enfoque analítico de los sistemas ecológicos a partir del avance en el conocimiento de la termodinámica, comenzándose a utilizar asiduamente la noción de recursos naturales para hacer referencia a todos los bienes y servicios provenientes de los ecosistemas. A fines de ese siglo se ahonda en esa línea analítica y comienza a considerarse a los bienes y servicios ecológicos fundamentales como soportes vitales para el desenvolvimiento social, provenientes de los que se denominó “ecosistemas estratégicos”.⁴⁷

Ya en el siglo XXI, los recursos naturales comienzan a ser reconocidos como económicamente útiles en la producción o el consumo, tanto como factores de producción o como bienes comercializables en sí mismos, a la par que se los identifica como potenciales causas de conflicto internacionales, debido a la disputa entre países por la posesión de los mismos.⁴⁸

De la línea conceptual que va desde la noción de capital natural a la de recursos naturales, a lo largo del último medio siglo fueron desprendiéndose análisis que condujeron a la actual noción de SE. Inicialmente, se consideró a los bienes y servicios derivados del capital natural como todas las reservas de la naturales en materiales o información que producen un flujo sostenible y valioso de bienes y servicios útiles para el desarrollo humano.⁴⁹ Otros análisis posteriores, definieron a los servicios derivados del capital natural como las funciones de los servicios de carácter público proporcionados por el ambiente global que no pueden reemplazarse por tecnología -en el presente o en el futuro inmediato-. Así, entonces, se tiende a considerar a los SE como las funciones ecológicas del ecosistema, a través de las cuales esos ecosistemas, y las especies que forman parte de ellos, ayudan a sostener la vida humana.⁵⁰

Así, el concepto de SE evolucionó desde una visión netamente ecológica, hacia una concepción con criterios de valoración económica, al concebirlas como el suministro de bases primarias para

⁴⁵ Badii, Mohammad et al. (2007).

⁴⁶ Platas-Rosado, Diego et al. (2017).

⁴⁷ Márquez, Germán. (1996).

⁴⁸ World Trade Organization (2010).

⁴⁹ Costanza, R. et al. (1997).

⁵⁰ Daily, G. et al. (2000).

la producción de alimentos y el bienestar humano.⁵¹ En otras palabras: son los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad.

Esta concepción, que es la de más amplia difusión y que más abajo se detallará algo más en extenso, fue puesta en cuestión desde mediados de la primera década de este siglo, al considerarse que los SE no son los beneficios humanos obtenidos de los ecosistemas, sino que son los componentes ecológicos directamente consumidos para producir bienestar humano, por lo cual, entonces, los procesos indirectos y las funciones no son este tipo de servicios.⁵²

De esta precisión se desprende, posteriormente, la diferenciación planteada entre servicios ecosistémicos y servicios ambientales (en adelante, SA). Algunos autores consideran que un SA es aquel que se constituye por la acción de los seres humanos sobre el ecosistema (por ejemplo, la restauración de una zona degradada), mientras que un SE es aquel que proviene de la naturaleza, sin la necesaria intervención humana.⁵³ Pero a la vez, otros investigadores consideran que los SE se constituye como tales solo cuando hay intervención humana.⁵⁴ Pese a estas diferenciaciones formales, el uso corriente es la apelación a la noción de SE como la confluencia e interacción entre los bienes y servicios derivados de los ecosistemas naturales y la acción antrópica.

El conjunto de SE no es uniforme, sino que se conforma de cuatro grandes tipos de servicios que prestan diferentes funciones requeridas para la provisión de los bienes y servicios que requiere el desarrollo de la vida humana. Seguidamente se realiza una sucinta presentación de dicho conjunto de servicios⁵⁵:

- Servicios de soporte y estructura:
Engloba a las estructuras y funciones ecológicas que son esenciales para ofrecer los SE requeridos para el desarrollo humano.
Las principales funciones contenidas en este tipo son:
 - ✓ Ciclado de nutrientes: almacenamiento, procesamiento y adquisición de los nutrientes dentro de la biósfera.
 - ✓ Producción primaria neta: conversión de la luz solar en biomasa.
 - ✓ Polinización y dispersión de semillas: movimiento de los genes vegetales.
 - ✓ Hábitat: lugar físico donde los organismos residen.
 - ✓ Ciclo hidrológico: movimiento y almacenamiento de agua a través de la biósfera.

- Servicios de regulación:
Implica el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales y de los sistemas de soporte de vida para el desarrollo humano.
Las principales funciones incluidas en este tipo son:
 - ✓ Regulación de gases: regulación de la composición química de la atmósfera y los océanos.
 - ✓ Regulación de clima: regulación de los procesos climáticos locales y globales.
 - ✓ Regulación de los disturbios: amortiguación de las fluctuaciones y disturbios ambientales.
 - ✓ Regulación biológica: interacción entre las especies.
 - ✓ Regulación de aguas: regulación de los flujos de agua en la superficie terrestre.
 - ✓ Formación de suelo: mineralización de la roca y acumulación de materia orgánica.
 - ✓ Retención de suelo: control de erosión y retención de sedimentos.
 - ✓ Regulación de residuos: eliminación y descomposición de materiales y compuestos no nutrientes.

⁵¹ Reid, Walter et al. (2005).

⁵² Boyd, J. and S. Banzhaf (2007).

⁵³ Moros, Lina et al. (2020).

⁵⁴ Quétier, Fabien et al. (2007).

⁵⁵ Elaborado en base a Rótolo, Gloria y Ch. Francis (2008).

- ✓ Regulación de nutrientes: mantenimiento de los principales nutrientes dentro de límites aceptables.
- Servicios de provisión:
Implican la provisión de recursos naturales y materia prima requerida por la actividad humana.
Las principales funciones incluidas en este tipo son:
 - ✓ Provisión de agua: filtrado, retención y almacenamiento de agua dulce.
 - ✓ Provisión de alimentos: provisión de plantas y animales comestibles para el consumo humano.
 - ✓ Provisión de materia prima no alimenticia: provisión de materiales para la construcción, para la confección de manufacturas, y para la generación de energía.
 - ✓ Provisión de recursos genéticos: disponibilidad de recursos genéticos en cantidad y calidad.
 - ✓ Provisión de recursos medicinales: sustancias biológicas y químicas utilizables para drogas farmacéuticas.
 - ✓ Provisión de recursos ornamentales: provisión de bienes de consumo decorativo y/o suntuario.
- Servicios culturales:
Incentivan el bienestar emocional, psicológico y cognitivo del hombre.
Las principales funciones en este tipo son:
 - ✓ Recreación: facilitación de oportunidades de descanso y recreación.
 - ✓ Estéticos: disfrute sensorial del funcionamiento del sistema ecológico.
 - ✓ Ciencia y educación: utilización de áreas naturales para incrementar el conocimiento científico y educativo.
 - ✓ Espirituales e históricos: provisión de información histórica y espiritual.

Este amplio entramado es, como se señaló, condición sine qua non para el pleno funcionamiento del sistema agrícola regional, en tanto sus funciones puedan desenvolverse sin sufrir impactos negativos considerables de parte de la acción humana. Es decir, el capital natural podrá mantenerse al servicio del capital antrópico siempre que este no sobreexplota o degrada al otro.

Servicios ecosistémicos y su valoración

La condicionalidad recién mencionada, sin embargo, no se verifica con plenitud y, al contrario, se constata -como se ha descrito anteriormente- el desarrollo de procesos que impactan negativamente en los ecosistemas, degradándolos y afectando la prestación de sus SE.

La decisiones que toman los hombres en relación al manejo de sus sistemas productivos, que necesariamente implican priorizaciones espacio-temporales, provocan modificaciones en los ecosistemas que albergan a aquellos sistemas, modificando la relación entre los distintos SE. A la vez, la sociedad ha internalizado la idea que la provisión y el acceso a los servicios aportados por los ecosistemas son libres e inagotables, por lo cual durante mucho tiempo no se los consideró una variable a tener en cuenta en las acciones de programación y evaluación, en tanto que implícitamente se contemplaba su gratuidad.

Cuando las consecuencias de este accionar comenzaron a hacerse notar, se inició un proceso lento de visibilización del valor de los SE. La falta de conocimiento o entendimiento de dicho valor

implicó que los SE no fuesen contemplados en las tomas de decisiones de inversión privada, ni en las de manejo de los recursos naturales, y ni en las políticas públicas. Al estar los SE disponibles sin costo o en un escenario en el que las fuerzas del mercado no están presentes,

distribuyéndose de manera ineficiente, estos servicios terminan siendo infravalorados en la toma de decisiones, lo que conduce, inevitablemente, a su progresivo deterioro. En tanto esto, entonces, surge como pertinente las recomendaciones que comenzaron a difundirse en los primeros años del corriente siglo: calcular el valor monetario oculto de los SE y diseñar instrumentos económicos que permitan internalizar tal valor en los mercados y en los sistemas de precios.⁵⁶

La valoración económica de los SE parte de determinar los valores intrínsecos de los recursos naturales que benefician directa o indirectamente a las personas. El cálculo del valor de un ecosistema permitiría estimar su capacidad de mantener su integridad, es decir, de continuar conservando un flujo de servicios continuo, utilizable para el desarrollo humano.

El valor económico es el rasgo de un activo que permite satisfacer necesidades humanas (materiales o inmateriales). Sin embargo, el valor no solo refleja dicho rasgo, sino que también es atribuido por los agentes económicos a través de su disposición de pagar por los servicios que brinda el mismo; predisposición, cabe acotar, que dependerá en gran medida del contexto socioeconómico en el que la valoración se lleva a cabo.

El valor económico total de un ecosistema comprende, entonces, valores tangibles (que pueden ser medidos) e intangibles (de dificultosa cuantificación), agrupados en dos grandes conjuntos: valores de uso (VU) y valores de no uso (VNU).⁵⁷

Los VU derivan de la utilización directa de los SE por parte del hombre. Los hay de uso directo y de uso indirecto; los primeros devienen del uso o consumo de un bien o un servicio brindado por el ecosistema, generalmente con carácter exclusivo y excluyente por parte del usufructuario (por ejemplo: extracción de madera), mientras que los segundos no son exclusivos, sino que se extienden a otros individuos o sociedades (por ejemplo: regulación del clima).⁵⁸

Los VNU es el que atribuye el hombre a la pura existencia de los ecosistemas, o bien al deseo de legar los beneficios de los mismos a las generaciones futuras. Se identifican dos tipos, el valor de existencia y el valor de legado; el primero, es el que se atribuye a un ecosistema por el mero hecho de existir, más allá de los bienes o servicios que se obtengan del mismo, mientras que el segundo es el valor que se asigna a posibilidad de dejar como “herencia” a las generaciones futuras los beneficios ecosistémicos disponibles hoy.

Aplicar una métrica monetaria a la valoración constituye uno de los desafíos principales en el enfoque de los SE, estando condicionado el método elegido a los objetivos perseguidos, a la disponibilidad de información y recursos con que se cuente, y al tiempo disponible para realizar dicha estimación. En términos generales, se consideran cuatro grandes métodos de valoración económica de los SE basados en: i) los valores de mercado, ii) las preferencias reveladas, iii) las preferencias declaradas, y iv) la transferencia de beneficios.⁵⁹

El primer método mencionado implica asignar un valor a los SE apelando a los precios de tales servicios en los mercados existentes. El segundo método engloba a cuatro vías de determinación: a) cambios en la productividad: valora los SE a través de su contribución a las actividades de mercado, estimando el impacto de los mismos en la producción de un bien o

⁵⁶ Heal, G. et al. (2005).

⁵⁷ Gómez, R. y J. Aguirre (2015).

⁵⁸ Algunos autores incorporan a la conformación del valor de uso un tercer componente: el valor de opción. Este es el valor asignado a la protección de un activo o un bien por la opción de utilizarlo en el futuro. Cfr. E. Uribe Botero (2015).

⁵⁹ Loyola González, R. et al. (2016).

servicio colocado en el mercado; b) costo de viaje: determina el valor de los SE en función de los gastos en dinero y tiempo que realizan quienes usufructúan tales servicios (consumo recreativo del espacio, por ejemplo); c) precios hedónicos: estima los valores de los SE que afectan directamente los precios de los bienes en el mercado; y d) costos evitados: estima el valor de los SE en función de los gastos en que deben incurrir los agentes económicos para reducir o evitar los efectos ambientales no deseados.

Los métodos basados en las preferencias declaradas involucran a dos vías: a) valoración contingente: el valor de un SE se determina por el monto que están dispuestos a pagar los agentes económicos involucrados; y b) experimentos de elección: valoriza en función de las elecciones que hagan los individuos experimentales, entre las alternativas que se les presenten. Finalmente, el método de transferencia de beneficios implica estimar los valores de determinados SE a través de aplicar a los mismos los resultados alcanzados para servicios equivalentes, relevados para otras áreas (en general, realizando un ajuste específico, para eliminar sesgos).

Que se hayan desarrollado distintos modelos de valoración, buscando captar cada uno los aspectos más relevantes de los SE, no implica que su aplicación práctica sea unívoca ni que sea tarea sencilla o que esté fuera de debate; al contrario, se pueden identificar varios aspectos controvertidos que siguen en discusión en distintos ámbitos académico o de formulación de políticas.

Un cuestionamiento que se hace es de índole moral, y se centra en la pregunta acerca de hasta qué punto ciertas funciones de la biodiversidad vitales para el ser humano pueden ser sometidas a una valoración económica, y con ello entrar dentro de posibles compensaciones monetarias, en vez de ser tratadas como limitantes ecológicas.⁶⁰

Sin embargo, más allá de planteamientos puntuales como el señalado, los SE provistos para los sistemas agrícolas y los brindados desde la agricultura en sí, deben ser manejados y estimulados adecuadamente y con una visión de largo plazo. De ahí surge el desafío, actualmente en curso, de definir caminos de evaluación cuantitativa que integren ambas direcciones (naturaleza-sistemas agrícolas y sistemas agrícolas-naturaleza), a fin de contabilizar los aportes que cada ámbito realiza.

Servicios ecosistémicos y herramientas de gobernanza

Las decisiones humanas tienen impactos en los ecosistemas, causando cambios en sus estructuras y funciones. Estos cambios, finalmente, llevan a modificaciones en la provisión de SE, lo cual repercute negativamente en el bienestar humano.

Frente a esta situación, a lo largo del tiempo el hombre diseñó y puso en marcha distintas iniciativas orientadas a amortiguar, prevenir, desestimular o subsanar los efectos negativos que genera su accionar sobre los ecosistemas. Una de esas iniciativas es la de los pagos por servicios ambientales (PSA).⁶¹

Los PSA son una transacción voluntaria, entre usuarios y proveedores de un servicio ecosistémico, condicional al cumplimiento de unas reglas acordadas para la gestión de tales SE, los cuales generan beneficios fuera del sitio donde se producen. Los PSA comprenden la relación

⁶⁰ Sukhdev, Pavan (dir.) (2008).

⁶¹ Además de los PSA que se reseñarán seguidamente, existe un sistema de pagos internacionales por servicios ecosistémicos, siendo el más conocido el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), instaurado con posterioridad a la firma del Protocolo de Kioto, al igual que el mecanismo denominado Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD).

entre humanos y naturaleza a partir de beneficios que pueda proveer ésta a las actividades humanas, con un horizonte de largo plazo.⁶²

El rasgo fundamental de los PSA es la condicionalidad: los pagos acordados se concretan solo si las acciones pactadas en el acuerdo de conservación/prácticas comprometidas se cumplen. Esto, obviamente, implica acciones de monitoreo. Los pagos, en general, toman como punto de referencia el costo de oportunidad, es decir, los retornos económicos de actividades alternativas a las de conservación y uso sostenible del ecosistema. Los pagos implicados en estos acuerdos pueden ser en especie, en dinero o en una mixtura de ambos, a la par que pueden ser acuerdos individuales o colectivos. Los PSA pueden tener una orientación hacia la preservación, la restauración o la promoción de prácticas productivas sostenibles, según el caso del tipo de SE que se desee promover. En todos los casos, los PSA deben generar adicionalidad, es decir, deben generar un impacto, medible comparando los resultados del PSA con lo que hubiera sucedido en su ausencia (es decir, elaborando un contrafactual).

La línea de trabajo de los PSA, impulsada desde los primeros años del siglo XXI, posee puntos de contacto con el denominado Teorema de Coase, en tanto que en él se plantea que el problema de las externalidades puede ser solucionado por medio de negociaciones privadas, sin intervención de terceros, bajo condiciones que incluyen derechos de propiedad claramente definidos y costos de transacción suficientemente bajos.⁶³

Esta perspectiva de los PSA aparece configurada como una transacción voluntaria entre las partes interesadas (un proveedor de SE y un usuario de los mismos), sin intervención de un tercero (el Estado imperante en el territorio donde se producen esos SE); serían una respuesta coasiana a un problema de gobernanza ambiental.⁶⁴

Sin embargo, a lo largo de las dos primeras décadas del presente siglo, el panorama de acuerdos de PSA se fue complejizando y alejando del coasionismo puro, pasando a ocupar el Estado un papel relevante como regulador u operador de proyectos de PSA, a la par que son numerosas las iniciativas en las que los derechos de propiedad no están claramente definidos, mientras que en otras la carencia de información certera dificulta el entendimiento entre las partes.

Las evaluaciones sobre los resultados de aplicar estímulos a la configuración de estrategias de PSA como herramientas de protección ambiental son disímiles; mientras unos autores los consideran estrategias exitosas,⁶⁵ otros ponen en duda el éxito que se afirma haber alcanzado.⁶⁶

Conjuntamente con los PSA, estrategias en las cuales los Estados han pasado paulatinamente a tener más presencia, se fueron desarrollando otros esquemas de gobernanza ambiental pública, destacándose la conformación de áreas naturales protegidas, las líneas de políticas orientadas a la mitigación y/o adaptación al cambio climático, las estrategias de gestión y conservación del suelo y de los recursos hídricos, la conservación de áreas boscosas, etc.

En tanto que el objeto de este Informe es el análisis del hipotético escenario agroproductivo con incorporación reducida de inputs químicos sintéticos, las estrategias de gobernanza ambiental que se mencionan se plantean en relación a ese eventual escenario. Es decir, desde la óptica del agente más relevante en la gobernanza ambiental, como es el Estado, cuáles serían sus acciones posibles para la correcta captación o protección de los SE que brindan los ecosistemas que se verían menos afectados por el uso reducido de químicos sintéticos.

⁶² Wunder, S. (2015).

⁶³ Coase, R. (1960).

⁶⁴ Moros, Lina et al. (2020).

⁶⁵ de Blas, Driss et al. (2017).

⁶⁶ Laterra, P. et al. (2011).

Los químicos sintéticos utilizados en los sistemas agrícolas (fertilizantes, herbicidas, insecticidas y funguicidas, en adelante sintetizados con la sigla QS) alcanzan por manipulación, escurrimiento, drenaje o deriva distintos ambientes: aguas superficiales y subterráneas, suelo, y aire.

Los QS aplicados se depositan en el suelo y por escurrimiento pluvial escurren hacia cuerpos de agua superficial, a la par que por lixiviación pueden alcanzar aguas subterráneas. Esta dinámica está determinada en gran medida por el tipo de suelo y la topografía local. En el caso del suelo, la aplicación directa de QS sobre cultivos para el control de plagas terminan impactando en el suelo que sostiene a esos cultivos, a lo cual contribuye también el uso de determinados fertilizantes. Finalmente, la aplicación de QS origina que parte de ellos queden en el aire, en estado gaseoso, pudiendo ser arrastrados por el viento a distancias considerables de la zona de aplicación. Así, entonces, los QS aplicados en los sistemas agrícolas pueden ser transportados por el agua, el aire u organismos vivos.

Los QS liberados en los ecosistemas desarrollan una dinámica determinada por cuatro factores: localización, persistencia, biodisponibilidad y bioconcentración.⁶⁷

La localización depende del lugar de aplicación inicial y de cómo fue la dinámica hídrica o aérea que desarrolló posteriormente ese QS. La persistencia es la vida media de esos químicos en el ambiente, la cual depende del compuesto base, de la matriz de liberación (suelo, agua o aire) y de las condiciones climáticas; a mayor persistencia, menor biodegradación, y a la inversa. La bioconcentración es el grado en que los QS son asimilados por los organismos en el ambiente. La biodisponibilidad, por su parte, es la capacidad de permanencia de los QS en el ambiente en el cual fueron liberados, pero adecuándose a cambios en las condiciones del mismo.

Una vez liberados los QS en el ambiente de los sistemas agrícolas, pueden permanecer en el superficie, introducirse en alguna de las cadenas tróficas terrestres, o ser transportados por el agua o el aire. Liberados y conducidos, los QS generan para todos los organismos (microorganismos, plantas, invertebrados y vertebrados) dos tipos de efectos: los directos y los indirectos. Los primeros son el resultado de la acción del agroquímico sobre la fisiología del individuo a través de una o varias alteraciones físico-químicas. La intensidad de los efectos directos es proporcional a la cantidad de producto que penetra el organismo. Los indirectos, por su parte, son los mediados por las interacciones que entablan los organismos con otras especies para su supervivencia (alimentación, refugio, etc.), poniendo en jaque el desenvolvimiento de tales interacciones y los resultados positivos esperables de ellas.

Además de impactar sobre los objetivos buscados, los QS pueden afectar a una especie dada, a un grupo de especies, a un grupo taxonómico completo, a una comunidad territorialmente definida, o interferir en el natural desenvolvimiento de las funciones que se derivan de los ecosistemas. Esta sucesión de escala en los impactos negativos puede redundar en una pérdida de biodiversidad de los ecosistemas. Esta pérdida se correlaciona con el incremento en el uso e

QS, tal como se señala en múltiples estudios, complementado con la eliminación de ambientes naturales.

Cuando se pierde biodiversidad se originan cambios en la composición, estructura y dinámica de los ecosistemas, redundando en la degradación de la capacidad de tales ecosistemas de proveer SE. Y tal como se ha señalado en varios pasajes páginas atrás, la alteración del ciclo natural de los SE termina por afectar la actividad agrícola y el bienestar humano, en última instancia.⁶⁸

⁶⁷ Suárez, Romina et al. (2013).

⁶⁸ Gómez-Baggethun, E. y R. de Groot (2007).

El impacto del uso excesivo y/o inadecuado de QS en los sistemas agrícolas impacta negativamente la provisión de SE en forma diferente, según la dimensión que se observe desde la perspectiva ecológica: poblaciones, comunidades y ecosistemas.⁶⁹

Cuando los QS ingresan al ambiente, la población de una especie puede ser afectada de diferentes maneras, según las condiciones ambientales. Tales cambios se verifican, básicamente, a nivel de la abundancia y diversidad genética poblacional. La población total de la especie puede reducirse hasta la extinción, o bien puede reducirse hasta cierto punto, y resurgir una vez que pasen los efectos de los QS, aunque con elevada probabilidad de que lo haga con una riqueza genética reducida y que, finalmente, termine también por desaparecer. Ese desencadenamiento, inevitablemente, afectará el desenvolvimiento de los SE que estén relacionados con esa especie afectada. El impacto de los QS en determinadas poblaciones se da no solo en forma directa, sino también indirectamente, cuando afectan a otras poblaciones que se relacionan con la primera a través de procesos ecológicos como la competencia, la predación o el mutualismo.

Ampliando el enfoque hacia las comunidades, cuando ingresan a ellas QS, algunas especies pueden disminuir su abundancia o, a la inversa, pueden incrementarla, según los afecte directa o indirectamente ese químico. Esos cambios en el número relativo de individuos que conforman las poblaciones que integran una comunidad redundan en cambios en la composición y estructura de dicha comunidad, expresándose en modificaciones en las relaciones entre poblaciones, además de su peso relativo en el total de organismos integrantes de tal comunidad. Los QS pueden impactar en estas comunidades, además del modo indicado, por su incorporación (no buscada) en la cadena trófica, ampliando así el alcance de su impacto.

Los cambios a nivel de las comunidades que generan los QS aplicados en los sistemas agrícolas, conllevan modificaciones en la estructura y la dinámica de los ecosistemas que las contienen, variando el nivel de impacto según el grado de complejidad del ecosistema (a mayor simpleza ecosistémica, mayor impacto negativo potencial, y a la inversa).

Particularmente, el impacto de los QS sobre los ecosistemas origina cambios negativos en el nivel de provisión de SE, lo cual conduce a la reducción de los beneficios que recibe de ellos la dinámica de los sistemas agrícolas. La afectación de la calidad del agua, del suelo y de los alimentos obtenidos, la eliminación de poblaciones de determinadas especies, la alteración del ciclo de nutrientes y del agua, por mencionar solo algunos ejemplos, expone cómo la aplicación excesiva y/o inadecuada de QS genera desequilibrios en el funcionamiento de los SE.⁷⁰

La reducción de los niveles de aplicación de QS en los sistemas agrícolas puede mejorar la situación de desequilibrios actualmente identificados, o bien eliminar las causales de los procesos que los originan. Sin embargo, no basta la simple reducción o eliminación de esta

aplicación, sino que se requiere conocer con precisión como funcionan los ecosistemas que albergan a los sistemas agrícolas, cómo se relacionan entre sí sus componentes, y de qué manera diferentes niveles de aplicación repercuten en distintos comportamientos de los SE que se buscan preservar.

Distintos autores señalan que del conjunto de SE, los más amenazados por los efectos adversos generados a partir de la aplicación excesiva o inadecuada de QS son los servicios de regulación.⁷¹ En tanto esto, y tal como se señaló anteriormente, a lo largo de las últimas décadas se han puesto en marcha incentivos económicos que buscan modificar comportamientos

⁶⁹ Torres, D. y T. Capote (2004).

⁷⁰ Morris, Michael et al. (2020).

⁷¹ Corredor, Emma et al. (2012).

antrópicos que generan deterioro en los ecosistemas y sus funciones, siendo los programas de pago por SE los más conocidos. Como también se indicó, la evaluación global del impacto de los PSA no es uniforme, si bien hay una tendencia a considerarlos un paso importante en pos de un mejor desenvolvimiento humano en los ecosistemas. Una crítica ampliamente difundida respecto de esta herramienta es que su concepción operativa no toma en consideración la realidad concreta del mundo productivo sobre el que pretende intervenir, donde no solo hay capital natural a proteger, sino también decisiones productivas a tener en cuenta.

Las estrategias nacionales de preservación de la calidad y variedad de SE que se desenvuelven en América Latina, concentrados básicamente en los PSA -pero no exclusivamente en ellos-, son evaluados por la literatura especializada como iniciativas de institucionalidad débil, con escaso involucramiento de los agentes privados.⁷² Se indica, asimismo, que es de gran relevancia que se efectúen investigaciones específicas para caracterizar los SE a nivel de cada país -pero sin perder de vista la noción de ecosistema transfronterizo-, a fin de conocer con precisión su impacto a nivel del bienestar humano, así como su papel en los procesos de adaptación al cambio climático.⁷³

Más allá de las herramientas específicas que se empleen (como los PSA), las iniciativas de gobernanza ambiental que busquen preservar la dinámica y eficacia de los SE, deberán tener en consideración cuatro puntos claves:

- Focalizar la acción en las zonas de importancia estratégica, con riesgo cierto de transformación ambiental negativa, donde las causas de cambio de uso del suelo estén asociadas a la expansión de la frontera agrícola.
- Diseñar eficaces mecanismos de monitoreo ambiental que permitan anticipar impactos negativos y/o, llegado el caso que se apele a la herramienta de los PSA, asegurar la condicionalidad de los pagos.
- Definir con precisión las líneas de base sobre las que se efectuará el monitoreo ambiental y sobre las que se adoptarán las medidas de gobernanza ambiental por las que se opte para preservar los SE involucrados, y establecer así criterios objetivos de éxito o fracaso.
- Diseñar esquemas de gobernanza ambiental con activa participación de los agentes privados, tanto en su diseño como en su implementación, que tengan en cuenta las motivaciones y los intereses de dichos agentes.

La mejora en la dinámica de los SE que se derivaría de la ejecución de instrumentos de gobernanza ambiental diseñados y ejecutados con la lógica derivada de esos cuatro puntos,

permitiría potenciar los efectos positivos que se podrían lograr a través de iniciativas de reducción de los inputs QS en los sistemas agrícolas latinoamericanos, y con ello, su aporte al equilibrio ambiental planetario.

Finalmente, cabe hacer hincapié en que la viabilidad de esa mejora en la gestión de los SE, en el contexto de la reducción de los inputs QS, puede potenciarse apelando a un enfoque productivo del tipo de “intensificación ecológica”.⁷⁴

Esta perspectiva de planteamiento productivo busca obtener un elevado volumen de producción con un mínimo de impacto en los ecosistemas. A tal fin, se hace eje en una agricultura que

⁷² Corredor, Emma et al. (2012); Moros, Lina et al. (2020).

⁷³ Martínez-Alonso, Celia et al. (2010).

⁷⁴ Andrade, F. (comp.) (2017); CEPAL-FAO-IICA (2019); PROCISUR (2016); Filippini, M. y S. Greco (comp.) (2019).

pivotea sobre las tecnologías de procesos y el conocimiento científico, antes que en la intensificación en el uso de insumos. Este enfoque apunta a reducir el consumo de energía fósil y la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, a apelar a prácticas de reciclaje de nutrientes, de conservación del suelo y de diversificación productiva, y a conservar la biodiversidad. Esos objetivos se logran apelando a un conjunto amplio de técnicas diversas y complementarias, como la fijación biológica del nitrógeno, la utilización de abonos orgánicos, la aplicación de residuos locales como factor de reciclado de nutrientes, las labranzas reducidas, la siembra directa, el manejo integrado de plagas, etc.

La perspectiva de intensificación sustentable toma en consideración, a efectos de implementarse, el impacto esperado en la productividad agrícola general, en la rentabilidad, en la estabilidad agronómica y económica, en el nivel de riesgos productivos y de mercado que pueden enfrentarse, en la resiliencia de los sistemas y sus agentes, y la capacidad de los productores para incorporar innovaciones. Es decir, no se limita solo a las cuestiones ambientales, sino que incorpora criterios económicos y sociales.

Un aspecto clave de esta concepción de la estrategia productiva agrícola es que contra ciertos consensos ampliamente difundidos, está demostrado que los enfoques agroecológicos radicalizados generan ciertas externalidades ambientales negativas. Los sistemas enfocados desde esa perspectiva consumen más tierra por unidad de producto, lo cual conlleva, por ejemplo, a realizar deforestaciones, a pérdidas de hábitats y al uso ineficiente de otros recursos. Distintos estudios señalan que la agricultura bajo esa matriz es un 20% menos productiva por unidad de superficie que la agricultura convencional.⁷⁵

Del mismo modo, se ha demostrado que las estrategias *land sparing*, como las de concentrar en determinadas áreas la agricultura intensiva y la restauración de ecosistemas naturales en otras, son más eficientes para compatibilizar conservación, biodiversidad y alta producción agrícola.⁷⁶

Con carácter relevante para el objeto de análisis de este documento, aparece la estimación de que las plagas, enfermedades y malezas consumen el 35% de la producción agrícola, porcentaje que se duplicaría de no emplearse pesticidas.⁷⁷ Y esto conduce, dados los efectos colaterales del uso inadecuado de QS, a la necesidad de intensificar sustentablemente los sistemas productivos agrícolas, apelando a pesticidas de mínimos efectos negativos, a la vez que la adopción de cultivos transgénicos constituye una vía de minimización de los *trade-offs* entre agricultura intensiva e impactos ambientales.⁷⁸ Distintos estudios señalan que la adopción de esos cultivos genera un incremento promedio del 21% en los rendimientos alcanzados, con una

reducción promedio del 36% en el uso de QS orientados al combate de plagas, a la vez que considerando el cociente de impacto ambiental (que combina el volumen alcanzado con la toxicidad de los QS utilizados), la utilización de transgénico lo hace disminuir un 18,5%.⁷⁹

La reducción de la incorporación de inputs QS debe darse, entonces, en el contexto de una concepción de los sistemas agrícolas sustentablemente intensivos, basados en los avances científicos verificados y aplicados a la práctica agrícola concreta, combinando los saberes convencionales de las ciencias agrarias con los de la biología ecológica, sin el tamiz de narrativas ideológicas ni políticas.

⁷⁵ Meemken, E. and M. Qaim (2018).

⁷⁶ Grau, H. Ricardo (2021).

⁷⁷ Popp, J. et al. (2013).

⁷⁸ Thomson, A. et al. (2019).

⁷⁹ Grau, H. Ricardo (2021).

Bibliografía citada

- Andrade, Fernando (comp.) (2017). **Los desafíos de la agricultura argentina**, Buenos Aires, INTA.
- Badii, Mohammad et al. (2007). “Papel de los ecosistemas en la sustentabilidad”, en **CULCyT/Ecología**, N° 21, México, p. 19-28.
- Bárcena, Alicia et al. (2014). **The economics of climate change in Latin America and the Caribbean: paradoxes and challenges**, Santiago, ECLA.
- Beckman, J. et al. (2020). **Economic and Food Security Impacts of Agricultural Input Reduction Under the European Union Green Deal’s Farm to Fork and Biodiversity Strategies**, EB-30, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Bovarnick, A. et al. (eds.). (2010). **La importancia de la biodiversidad y de los ecosistemas para el crecimiento económico y la equidad en América Latina y el Caribe**, New York, PNUD.
- Boyd, J. and S. Banzhaf (2007). “What are ecosystem service?”, in **Ecological Economics**, N° 63, p. 616-626.
- Bravo-Ortega, Claudio (2019). **Productividad del sector agrícola: una mirada global**, Santiago de Chile, ODEPA.
- CEPAL-FAO-IICA (2019). **Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas**, San José.
- Chambers, Robert (1988). **Applied production analysis. A dual approach**, University of Maryland. Cambridge University Press.
- Charity, S. et al. (2016). **Living Amazon Report 2016**, Brasilia-Quito, WWF.
- Coase, R. (1960). “The problem of social cost”, in **Journal of Law and Economics**, N° 3, p. 1-44.
- Corredor, Emma et al. (2012). “Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano”, en *Revista de investigación agraria y ambiental*, N° 1, p. 77-83.
- Costanza, R. et al. (1997). “The value of the world’s ecosystem service and natural capital”, in **Nature**, N° 387, p. 253-260.
- Daily, G. et al. (2000). “The value of nature and nature of value”, in **Science**, N° 289, p. 395-396.
- de Blas, Driss et al. (2017). **Los pagos por servicios ambientales en América Latina**, México, Universidad Iberoamericana.

- Economic Research Service – United States Department of Agriculture (2022). **International Agricultural Productivity**, marzo, <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>.
- FAO (2018). **Sustainable Forest Management in Latin America and the Caribbean**, Roma.
- FAO (2020). **The estate of the world's forest**, Roma, FAO-UNEP.
- FAO (2021). **Climate-smart agriculture**, Roma.
- FAO (2021 a). **Soil Nutrient Budget. Global, regional and country trends, 1961–2018**, FAOSTAT Analytical Brief Series N° 20, Rome.
- FAO (2021 b). **The share of food systems in total greenhouse gas emissions. Global, regional and country trends, 1990–2019**, FAOSTAT Analytical Brief Series N° 31, Rome.
- FAOSTAT (2022). **Food and Agriculture Data**, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), marzo, <https://www.fao.org/faostat/en/#home>.
- Filippini, M. y S. Greco (comp.) (2019). **1er Congreso Argentino de Agroecología: libro de resúmenes**, Mendoza.
- Fuglie, Keith (2018). "R&D capital, R&D spillovers, and productivity growth in world agriculture", in *Applied Economic Perspectives and Policy*, Vol. 40 N° 3, p. 421-444.
- Gómez, R. y J. Aguirre (2015). **Valoración económica de servicios ecosistémicos**, Lima, USAID.
- Gómez-Baggethun, E. y R. de Groot (2007). "Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía", en *Ecosistemas*, N° 16, p. 4-14.
- Grau, H. Ricardo (2021). "Contra el consenso: hallazgos que amenazan fundamentos del eco-alarmismo", en **Ecología Austral**, N° 32, p. 33-44.
- Heal, G. et al. (2005). **Valuing ecosystems services: toward better environmental decision-making**, Washington, National Research Council.
- IPCC (2020). **El cambio climático y la tierra**, Nairobi, OMM-PNUMA.
- Laterra, P. et al. (2011). **Servicios ecosistémicos en Argentina**, FAUBA.
- Loyola González, R. et al. (2016). **Guía de valoración económica del patrimonio natural**, Lima, Ministerio de Ambiente.
- Márquez, Germán (1996). **Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental**, Bogotá, Fondo FEN.

- Martínez-Alonso, Celia et al. (2010). **Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina**, Turrialba, CATIE.
- Meemken, Eva and M. Qaim (2018). “Organic agriculture, food security and environment”, in **Annual Review of Resource Economics**, N° 10, p. 39-63.
- Moros, Lina et al. (2020). **Pagos por servicios ambientales y Objetivos de Desarrollo del Milenio**, Bogotá, CODS.
- Morris, Michael et al. (2020). **Panoramas alimentarios futuros. Reimaginando la agricultura en América Latina y el Caribe**, Washington, Banco Mundial.
- Nanni, A. et al. (2019). “The neotropical reforestation hotspots: a biophysical and socioeconomic typology of contemporary forest expansion”, in **Global Environmental Change**, N° 54, p. 148-159.
- OCDE-FAO (2019). **Perspectivas agrícolas 2019-2028**, Roma.
- Odum, Eugene (1972). **Ecología**, Buenos Aires, Ed. Interamericana.
- Platas-Rosado, Diego et al. (2017). “Un análisis teórico para el estudio de los agroecosistemas”, en **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, N° 20, p. 395-399.
- Popp, J. et al. (2013). “Pesticide productivity and food security. A review”, in **Agronomy for Sustainable Development**, Vol. 33 N° 1, p. 243-255.
- PROCISUR (2016). **Línea Estratégica Intensificación sostenible: conceptualización regional**, Montevideo, PROCISUR-IICA.
- Quétier, Fabien et al. (2007). “Servicios ecosistémicos y actores sociales”, en **Gaceta Ecológica**, N° 84-85, p. 17-26.
- Reid, Walter et al. (2005). **Evaluación de los ecosistemas del milenio**, Washington, Island Press.
- Ribeiro, M. et al. (2011). “The Brazilian Atlantic Forest”, in F. Zachos et al. (eds.). **Biodiversity Hotspots**, Berlin, Springer, p. 405-434.
- Rótolo, Gloria y Ch. Francis (2008). **Los servicios ecosistémicos en el ‘corazón’ agrícola de Argentina**, Oliveros, INTA.
- Suárez, Romina et al. (2013). **Los agroquímicos y el ambiente**, Buenos Aires, INTA.
- Sukhdev, Pavan (dir.) (2008). **La economía de los ecosistemas y la biodiversidad**, Luxemburgo, Comisión Europea.
- Thomson, A. et al. (2019). “Sustainable intensification in land systems: trade-offs, scales and contexts”, in **Current Opinion in Environmental Sustainability**, N° 38, p. 37-43.
- Torres, D. y T. Capote (2004). “Agroquímicos: un problema ambiental global”, en **Ecosistemas**, N° 13, p. 2-6.
- UNEP (2016). **Biodiversity in Latin America and the Caribbean**, Cartagena, UNEP.

- Uribe Botero, Eduardo (2015). **El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina**, Santiago de Chile, CEPAL.
- Vellend, M. et al. (2016). “Plan biodiversity change across scales during the anthropocene”, in **Annual Review of Plant Biology**, Vol. 68 N° 3, p. 1-24.
- Vergara, Walter et al. (2014). **Agricultura y clima futuro en América Latina y el Caribe: impactos sistémicos y posibles respuestas**, Washington, BID.
- World Trade Organization (2010). **World Trade Report 2010. Trade in natural resources**, Geneva, WTO.
- Wunder, S. (2015). “Revisiting the concept of payments for environmental service”, in **Ecological Economics**, N° 117, p. 234-243.