



EDITORIAL

Microbiología, bioeconomía y objetivos de desarrollo sostenible



Microbiology, Bioeconomy and Sustainable Development Goals

Inés Eugenia García de Salamone

Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Editora de Revista Argentina de Microbiología, Buenos Aires, Argentina

Recibido el 23 de mayo de 2022; aceptado el 23 de mayo de 2022

Nuestro planeta está en emergencia porque ha pasado de la estabilidad del Holoceno, cuando las características de la biósfera y de la atmósfera fluctuaban dentro de intervalos relativamente estrechos, a una nueva época denominada Antropoceno, en la que los humanos constituyen el motor dominante del cambio en el sistema terrestre².

Varios análisis interdisciplinarios establecieron nueve límites ecológicos que definen el techo planetario y once dimensiones, que constituyen la base social. Este enfoque ha sido plasmado en la definición para el año 2030 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en 2015⁴. Los tres pilares de la sostenibilidad, la ecología, la economía y los aspectos socio-culturales, son dinámicos, tanto en el espacio como en el tiempo, y dependen de los avances tecnológicos y los vaivenes políticos que se van sucediendo. Globalmente, se han propuesto distintas estrategias para favorecer la sostenibilidad. Entre los modelos técnico-económicos se encuentra la *bioeconomía*, una economía en la que los componentes básicos para la elaboración de materiales, productos químicos y energía derivan de recursos biológicos renovables¹. Este nuevo paradigma productivo integra todos los conceptos incluidos en los modelos de economía verde y circular, y agrega la importancia del

conocimiento de la biodiversidad, el funcionamiento de los ecosistemas y los procesos biológicos.

Para no exceder los límites planetarios, la bioeconomía plantea pasar del aprovechamiento de los combustibles fósiles o de la fotosíntesis de decenas de millones de años al aprovechamiento de la fotosíntesis y otros procesos biológicos en tiempo real. Así, la producción de biomasa, como fuente de carbono, y las biorrefinerías, en reemplazo de las refinerías de petróleo, son sus componentes centrales. Esta megatendencia mundial se desarrolla en varias dimensiones y se define como la integración de una agricultura sostenible con una industrialización inteligente, que permite conservar o incrementar los servicios ecosistémicos y el manejo adaptativo de los sistemas productivos mediante el gerenciamiento de la heterogeneidad ambiental.

En este contexto, es claro que la ecología microbiana del suelo y la sostenibilidad agrícola y ambiental están estrechamente vinculadas. La salud del suelo y el crecimiento de las plantas dependen directamente de la comunidad microbiana edáfica⁶. El déficit ecológico es la diferencia entre la huella ecológica y la capacidad de un ecosistema y se vincula directamente con el mantenimiento del carbono orgánico edáfico⁴. Este es el principal bioindicador de salud de los suelos y depende de la presencia de raíces vegetales y del ambiente edáfico que las rodea denominado *rizósfera*. Allí es donde las raíces vegetales aportan compuestos carbonados que favorecen la actividad de los microorganismos

Correo electrónico: igarcia@agro.uba.ar

<https://doi.org/10.1016/j.ram.2022.05.007>

0325-7541/© 2022 Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Asociación Argentina de Microbiología. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

edáficos y ocurren la mayoría de los procesos microbiológicos que permiten la vida en nuestro planeta. La superficie de la raíz o *rizoplano* es el lugar donde se produce el intercambio de señales químicas que definen las interacciones *microorganismos-planta-suelo*. Si bien la capacidad edáfica para almacenar carbono es muy variable en el espacio y en el tiempo, es claro que se debe lograr la descarbonización de la atmósfera y la recarbonización del suelo para alcanzar la sostenibilidad⁴. Esto brindará beneficios múltiples vinculados con la seguridad alimentaria y la posibilidad de adaptación al cambio climático y de su mitigación. El suelo es un ambiente heterogéneo y un enorme reservorio de diversidad genética, nutrientes y microorganismos, que son los encargados del ciclo de nutrientes para sostener la vida. La composición de las comunidades microbianas en el suelo sin influencia de la raíz y en la rizósfera es muy diferente, lo que sugiere una fuerte selectividad, que aumenta en los ambientes microbianos no edáficos propios de las plantas, como la *endósfera* (hábitat dentro de los órganos vegetales aéreos y subterráneos) y la *filósfera* (hábitat circunscrito a las superficies vegetales).

Hay diferentes tipos de interacciones microorganismos-planta-suelo, que abarcan un amplio espectro, entre beneficiosas y patógenas⁵. Estas interacciones son muy complejas y dependientes de las especies vegetales involucradas, del tipo de suelo y de las condiciones ambientales, incluidas las nutricionales, climáticas y antropogénicas, que pueden generar distintos tipos de estreses abióticos y bióticos.

En cada sistema, cada planta es el resultado de todas las interacciones entre esta y los microorganismos asociados, que, en su conjunto, pueden describirse como *microbiota* o *microbioma*. La planta y su microbioma, que es el conjunto de genomas microbianos, son muy dependientes uno del otro. Este concepto relativamente nuevo considera que el microbioma contribuye como una proporción significativa al genoma secundario de la planta huésped, por lo cual, la planta y su microbioma asociado podrían funcionar como un metaorganismo denominado holobionte⁶. Esto se vincula con el concepto del fenotipo radical extendido y ambos constituyen herramientas que se deberían utilizar en los programas de obtención de nuevos genotipos vegetales para favorecer la sostenibilidad de los agroecosistemas. En este sentido, las comunidades microbianas de la rizósfera y de la endósfera pueden conducir la protección del vegetal frente a patógenos en dos capas protectoras distintas. Así, el éxito de los patógenos en lograr la infección está determinado por las interacciones complejas que ocurren en la parte subterránea del sistema suelo-microorganismos-planta.

La manipulación y la ingeniería del microbioma rizosférico son innovaciones biotecnológicas alineadas con varios ODS^{4,5}, que reducen el empleo de insumos químicos derivados del petróleo, como fertilizantes sintéticos y fitosanitarios, mientras mantienen o mejoran los rendimientos de los cultivos^{3,6}. Entre las estrategias de modificación de los rasgos de las plantas, la señalización química puede inducir funciones microbianas benéficas, fomentar la diversidad microbiana a través de la provisión de diferentes exudados y recursos específicos, que pueden provocar el enriquecimiento selectivo de ciertos microorganismos; por ejemplo, el de los hongos formadores de micorrizas, asociaciones sim-

bióticas que ocurren en la mayoría de las plantas y favorecen su nutrición y salud³. La magnitud de la micorrización natural es considerada un bioindicador de la salud del suelo, que responde a las prácticas de manejo y puede promoverse con la aplicación de algunas bacterias rizosféricas benéficas. En sistemas degradados por el monocultivo, las labranzas o el elevado nivel de uso de fertilizantes y fitosanitarios, se han observado reducciones significativas de la micorrización natural y de la diversidad microbiana del suelo, cuando se comparan con sus respectivos sistemas prístinos. Por esto, es preciso caracterizar la micorrización natural en condiciones de campo en cada agroecosistema³.

Entre las estrategias microbianas para disminuir el impacto ambiental negativo y lograr asociaciones óptimas entre microorganismos y plantas, se incluye la aplicación de bioinsumos microbianos⁵. Estos son formulaciones biotecnológicas que pueden favorecer el crecimiento de las plantas y la sostenibilidad porque pueden incluir bacterias rizosféricas, endófitas o epífitas y completar nichos o espacios vacantes. También pueden provocar disrupciones que facilitan la introducción y selección de otros microorganismos benéficos.

Las distintas estrategias pueden influir en forma colaborativa a mejorar el acceso a los reservorios de nutrientes del suelo, disminuir la incidencia y severidad de las enfermedades, aumentar la tolerancia al estrés y mejorar la colonización rizosférica⁶. La conciencia respecto de los problemas ambientales permite inferir que los bioinsumos son necesarios para aumentar la sostenibilidad⁵. Los bioinsumos pueden contener sustancias de diversos tipos, de origen natural, agentes biológicos, principalmente microorganismos, macroorganismos y sustancias inorgánicas. Los bioinsumos pueden ser formulados con un solo componente de los mencionados o con distintos tipos de mezclas y se pueden aplicar sobre plantas, semillas, suelo o sustratos para favorecer la productividad, calidad y salud de los cultivos. La supervivencia de cualquier microorganismo en un bioinsumo es fundamental para definir la tecnología de aplicación y dosificación del producto⁵. En todo el mundo, el mercado de bioinsumos está en expansión, por ello es necesario enfocarse en lograr alta efectividad y más estabilidad de estos productos en el tiempo⁵. Estos criterios de calidad deben estar bien establecidos, en concordancia con la normativa vigente y también con cuestiones éticas, como evitar la inclusión en las formulaciones de aquellos microorganismos que sean potenciales patógenos vegetales, animales o de humanos.

Se sabe que los agroecosistemas sustentables son aquellos capaces de lograr la mayor producción con la menor cantidad de impactos negativos para el ambiente. Se podría reducir o eliminar el uso de insumos químicos, pero se requiere un mayor conocimiento de las interrelaciones en el agroecosistema e información para el desarrollo de bioinsumos eficientes y de alta calidad. El conocimiento de la ecología microbiana rizosférica es una herramienta que brinda alternativas promisorias y amplias para favorecer la bioeconomía, en línea con los ODS de las Naciones Unidas. Existen muchas alternativas conocidas que requieren desarrollos comerciales y hay gran potencial para generar otras nuevas. La eficiencia de los bioinsumos puede ser mejorada significativamente a través del mejoramiento vegetal, de la

calidad de los inoculantes junto al ajuste y el monitoreo de la microbiología del suelo^{3,5}.

En los últimos años, la investigación del *microbioma vegetal* se ha beneficiado enormemente de los esfuerzos interdisciplinarios traídos de las ciencias -ómicas, ingeniería, biología teórica, experimental y/o computacional y estadística, para generar conocimientos cuantitativos en interacciones *suelo-microorganismos-planta*. Sin embargo, aún es necesario definir en cuáles actividades intervienen los microbiomas autóctonos y cómo aquellos resultantes de la manipulación y la bioingeniería se pueden implementar de manera segura y efectiva en condiciones de campo a gran escala, para aumentar los niveles de producción en el marco de la sostenibilidad.

Bibliografía

1. Aguilar A, Twardowski T, Wohlgemuth R. Bioeconomy for sustainable development. *Biotechnology Journal*. 2019, <http://dx.doi.org/10.1002/biot.201800638>.
2. Corlett RT. The Anthropocene concept in ecology and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*. 2015;30:36–41, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tree.2014.10.007>.
3. Di Salvo LP, Groppa MD, García de Salamone IE. Natural arbuscular mycorrhizal colonization of wheat and maize crops under different agricultural practices. En: Yadav AN, Mishra S, Kour D, Yadav N, Kumar A, editors. *Agriculturally Important Fungi for Sustainable Agriculture, : Perspective for Diversity and Crop Productivity.*, 1. Springer Nature; 2020. p. 89–108.
4. FAO. State of knowledge of soil biodiversity. Status, challenges and potentialities, Report 2020. Rome, FAO, Organization of the United Nations 2020, pp. 618.
5. García de Salamone IE, Esquivel-Cote R, Hernández-Melchor DJ, Alarcón A. Manufacturing and Quality Control of Inoculants from the Paradigm of Circular Agriculture. En: Singh D, Gupta V, Prabha R, editors. *Microbial Interventions in Agriculture and Environment*, 2. Singapore: Springer; 2019. p. 37–74.
6. Quiza L, St-Arnaud M, Yergeau E. Harnessing phytomicrobiome signaling for rhizosphere microbiome engineering. *Frontiers in Plant Science*. 2015;6:1–11.