

**PLANIFICAR EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN ARGENTINA:
TRATAMIENTO DE RESIDUOS, PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y
BIOFERTILIZANTES**

Fernández Macor, Claudio*
Giampaoli, Orlando**

Resumen. Este artículo propone una estrategia de desarrollo sustentable para la Argentina basada en la valorización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) mediante sistemas de digestión anaeróbica. Se presenta una herramienta metodológica para evaluar la viabilidad económica y ambiental de este tipo de tecnologías, y se aplica a un modelo escalable orientado a ciudades y localidades de hasta 50.000 habitantes. A partir de datos técnicos, demográficos y productivos, se estiman los volúmenes potenciales de biogás y biofertilizantes que podrían generarse, su impacto sobre la matriz energética, la sustitución de fertilizantes industriales y la generación de empleo local formal. Asimismo, se cuantifica la reducción de gases de efecto invernadero y la contribución a la mitigación del cambio climático y la alteración de los ciclos biogeoquímicos. El estudio concluye que, con planificación estatal y apoyo científico-tecnológico, la implementación extensiva de estos sistemas puede convertirse en un eje estratégico de transición hacia una economía circular, productiva y ambientalmente sostenible.

Palabras Clave: Economía circular; Valorización de residuos: Bioenergía y biofertilizantes.

* Universidad Nacional de Litoral (UNL) y Centro de Estudios e Investigación en Ciencias Sociales (CEICS), Argentina.

Contacto: claudioleonel@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8173-3702>

** Universidad Nacional del Litoral (UNL), Argentina.

Contacto: ogiampaoli@fiq.unl.edu.ar

ORCID:

SUSTAINABLE DEVELOPMENT PLANNING IN ARGENTINA: WASTE TREATMENT, BIOGAS AND BIOFERTILIZER PRODUCTION

Abstract. This article proposes a sustainable development strategy for Argentina based on the valorisation of the organic fraction of municipal solid waste (MSW) through anaerobic digestion systems. It introduces a methodological tool to assess the economic and environmental feasibility of this technology, and applies it to a scalable model designed for cities and towns with up to 50,000 inhabitants. Using technical, demographic, and productive data, the study estimates potential volumes of biogas and biofertilizers, their impact on the energy matrix, industrial fertiliser substitution, and local formal job creation. It also quantifies greenhouse gas emission reductions and the project's contribution to mitigating climate change and the disruption of biogeochemical cycles. The study concludes that, with state planning and scientific-technological support, the widespread implementation of such systems could become a strategic axis for transitioning towards a circular, productive, and environmentally sustainable economy.

Keywords: Circular economy; Waste valorization; Bioenergy and biofertilizers.

Original recibido el 24/4/2025

Aceptado para su publicación el 2/6/2025

1. Introducción

El capitalismo argentino atraviesa un proceso de estancamiento desde hace al menos 50 años, siendo la evolución en la productividad del trabajo del sector industrial un factor explicativo central (Bil, 2024; Sartelli, 2023; Gerchunoff y Llach, 2010). Es una economía cada vez más pequeña y dependiente, que articula con el mercado mundial de la misma manera que a principios del siglo XX, a través de la producción agraria, en nuestra época, a través del complejo maicero y sojero.

La situación se expresa de varias maneras: en lo económico, por una tendencia al estancamiento del Producto Bruto Interno (PBI) *per cápita*, la caída en el poder adquisitivo del salario medio y las recurrentes crisis de acumulación de capital; en términos sociales, por un estrepitoso crecimiento en los niveles de pobreza, indigencia, desempleo y trabajo informal; y en términos medioambientales, por una acelerada degradación de la naturaleza y de los procesos ecosistémicos.

Desde la posguerra, la productividad del trabajo se ha multiplicado en muchos países y regiones del mundo. Ya sea por la incorporación de progreso técnico y tecnológico a los procesos productivos o por la concentración de los medios de producción para ganar en escala, el valor y la producción por trabajador aumentaron sostenida y significativamente, mejorando así la competitividad internacional de las mercancías vía reducción en los costos de producción, lo que permitió transformar el modo de articulación de estos países con el mercado mundial. Algunas de las experiencias más destacadas y estudiadas son: el proceso de convergencia entre los países de Europa a partir de los años cuarenta-cincuenta; Japón, Corea del Sur, Singapur y Taiwán a partir de los cincuenta, y China a partir de los ochenta¹. En oposición a las propuestas de las corrientes liberales emergentes tanto en Argentina como en el mundo occidental, ninguna de estas experiencias históricas muestra que la “libertad de mercado”, la “liberación del comercio exterior” o la “reducción del Estado” hayan sido el motor de las transformaciones (Fernandez Macor, 2016b). Más bien lo opuesto: en todos los casos, aunque por diferentes vías, instrumentos y mecanismos, se puede comprobar una planificación económica y una intervención precisa y racional por parte de Estados comprometidos con programas de desarrollo a mediano y largo plazo.

La evolución del capitalismo argentino se ubica en el lado opuesto al de las experiencias mencionadas. La “burguesía nacional” siempre ha sido mercado-internista. Impedida de competir en el mercado mundial por la ineficiencia con la que produce, necesitó de la asistencia del Estado para poder reproducirse: proteccionismo, regímenes de promoción, impuestos, tipos de cambio diferenciados o subsidios directos. La valorización del capital industrial dentro de los límites nacionales no está empujada por las mejoras tecnológicas que impulsan la productividad, sino por un Estado que destina un enorme y creciente volumen de recursos para garantizar que la “producción nacional” pueda realizarse “nacionalmente”.

1 Sobre la experiencia histórica reciente de estos países, la dinámica de acumulación de capital y la importancia de las políticas de Estado puede consultarse: Li (2020) para el caso de China; Zarate (2009) y Bil (2022) para el caso de Corea del Sur, Vilchis (2018) para el caso de Taiwán, Abramovitz (1994) para Europa.

Gráfico 1. Tasa de crecimiento en la productividad del trabajo.



Fuente: elaboración propia en base a ILOSTAT.

En el Gráfico 1 mostramos cómo se despliega la tasa de crecimiento anual de la productividad media del trabajo en países seleccionados y a escala global en el periodo 2001-2022. Puede notarse que la tasa de crecimiento medio anual fue de 8,2% en China, 2,7% en Corea del Sur, 2,1% en Chile y 1,9% en el promedio global. En contraste, en Argentina apenas alcanzó el 0,2% anual. Esto se traduce en que la productividad de un trabajador chino se duplica cada 10 años, la de un trabajador coreano cada 32 años, mientras que en Argentina la producción se mantiene prácticamente en las mismas condiciones. El resultado es que la productividad media del trabajador argentino está cada vez más alejada de la media mundial y, por tanto, las mercancías producidas dentro de los límites nacionales están cada vez más imposibilitadas de competir en el mercado mundial, y los capitales que las producen requieren cada vez más asistencia y protección. En definitiva, las mercancías de “origen nacional” son de una calidad inferior a la media mundial, pero se realizan nacionalmente a un precio más alto, y esta es una dinámica que tiende a afirmarse y agravarse en correlación con la evolución de las productividades relativas de los países del mundo.

La historia económica mundial nos muestra que una planificación estatal, racional y científica de la producción es condición para salir del letargo económico e impulsar la productividad del trabajo. Es urgente la elaboración de un programa de mediano y largo plazo a través del cual consolidar ramas industriales estratégicas de alta productividad y complejidad técnica en condiciones de competir en el mercado mundial, y reorganizar los sectores industriales orientados al mercado interno para hacerlos social y económicamente viables, generadores de valor y trabajo productivo. Esta planificación tiene que ser liderada por un Estado productivo (Sartelli, 2022), que se valga de las capacidades científico-técnicas actuales (*big data*, informática, telecomunicaciones, inteligencia artificial) para coordinar y dirigir la actividad productiva con un criterio de eficiencia y en arreglo a objetivos de desarrollo económico y social (Cockshott y Nieto, 2017; Cockshott y Cottrell, 2008).

Entendemos que en Argentina, como en vastas regiones de América Latina, existen graves problemas ambientales que exigen soluciones urgentes. Sin embargo, estas soluciones no pueden basarse en la desaparición de ramas productivas ni en la regresión de la productividad del trabajo. El desafío que enfrentamos es doble: mejorar el estado de la naturaleza sin comprometer la productividad (Frangella y

Fernández Macor, s/f).

En este artículo realizamos una doble contribución. Por un lado, desarrollamos una herramienta metodológica que permite evaluar, de manera objetiva, la viabilidad económica y ambiental de alternativas productivas susceptibles de ser incorporadas en un programa de desarrollo. Por otro lado, aplicamos dicha herramienta para analizar la factibilidad económico-financiera y el impacto ambiental y productivo asociado al despliegue geográficamente extensivo de sistemas de tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) en Argentina, a través de procesos de digestión anaeróbica para la generación de biogás y biofertilizantes. En el apartado 2, destacamos algunos de los problemas medioambientales más graves que enfrenta nuestro país, dado que nuestro proyecto puede contribuir a mitigarlos. En el apartado 3 desarrollamos los conceptos de digestión anaeróbica, biogás y biofertilizantes, y planteamos nuestra hipótesis de investigación. En el apartado 4 revisamos antecedentes en la literatura, y en el apartado 5 se estiman los volúmenes potenciales de energía y biofertilizante y sus composiciones químicas, y se determina el impacto económico del sistema. El impacto medioambiental —a través de la huella de carbono, la cantidad de fertilizantes inorgánicos y la reducción en la disposición final de residuos y líquidos lixiviados— se estima en el apartado 6. En el apartado 7 nos detenemos en las oportunidades que representa para nuestro país el futuro del mercado de biofertilizantes. En el último apartado prestamos las conclusiones.

2. Conflictos y desafíos mediambientales de la Argentina

El estancamiento en la productividad del trabajo, resultado de la escasa incorporación de tecnología a las ramas productivas existentes y de la no aparición de nuevas ramas, además de ser la principal causa de la descomposición económica y social, es también un factor importante en la creciente degradación de la naturaleza dentro de las fronteras del país, así como en una significativa y creciente contribución a los problemas ecológicos globales. Imposibilitado de aumentar la eficiencia con que se apropia de la naturaleza para producir bienes y servicios vía progreso tecnológico, en nuestro país el capital crece, casi exclusivamente, de manera extensiva, debiendo por un lado ocupar cada vez más espacio y, por otro, apropiarse de volúmenes crecientes de naturaleza (Fernández Macor, 2016a; Burkett, 1999), produciendo un conjunto de desequilibrios ecosistémicos que parecen estar cada vez más lejos de poder resolverse.

Según Steffen *et al.* (2015), Rockström *et al.* (2009), UNEP (2021) y Pengue (2009), algunos de los problemas medioambientales más críticos que enfrentan el mundo y nuestro país son: 1) la creciente generación de residuos y su tratamiento inadecuado, 2) la alteración en los ciclos biogeoquímicos de nitrógeno (N) y fósforo (P) y 3) el cambio climático.

En relación con el primer problema, según la información del Sistema Integrado de Información Ambiental del (ex) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Argentina, se producen casi 20 millones de toneladas de RSU por año, de los cuales aproximadamente la mitad son orgánicos, siendo la tasa de crecimiento de la generación de RSU del 3% anual a nivel nacional. Entre un 35% y un 45% de los RSU

no tienen una disposición final adecuada, y entre un 25% y un 35% son dispuestos en más de 5.000 basurales a cielo abierto. La mayoría de estos vertederos se localiza en localidades medianas y pequeñas que, por limitaciones presupuestarias y técnicas, no pueden darles un tratamiento adecuado, incumpliendo las leyes nacionales 25916 y 25912 sobre la Gestión Integral de los Residuos Domiciliarios e Industriales, y generando serios problemas de contaminación de suelo, agua y atmósfera. En particular, se destaca la contaminación de las napas de agua por infiltración de lixiviados, la emisión de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono) y la concentración de gases tóxicos cuando los residuos son quemados. Según el relevamiento muestral realizado por Vetere (2016), ningún aglomerado de menos de 9.999 habitantes cuenta con relleno sanitario, y el 75% de los sitios para disposición final son basurales a cielo abierto.

En materia de cambio climático, nuestro país ratificó la CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) mediante la Ley 24295 y adoptó el Acuerdo de París mediante la Ley 27270, sumándose a los esfuerzos internacionales para enfrentar los desafíos del cambio climático y mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C, con esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5°C respecto de los niveles preindustriales. En esa dirección, en la Cumbre de Ambición Climática 2020, Argentina asumió el compromiso de no exceder las 358,8 MtCO₂eq de emisiones anuales de gases de efecto invernadero para 2030. Sin embargo, de acuerdo al Cuarto Informe Bienal de Actualización de la República Argentina a la CMNUCC, durante los últimos cinco años la emisión anual de GEI (gases de efecto invernadero) promedió 369,22 MtCO₂eq. Dada la alta correlación entre emisiones de GEI y PBI que presenta nuestra economía, el cumplimiento del compromiso asumido en la Cumbre requiere, en el corto plazo, intensificar las acciones y políticas de mitigación, y en el mediano y largo plazo planificar una transición hacia una matriz energética que permita crecer a altas tasas sin aumentar las emisiones de GEI.

En relación con la alteración de los ciclos biogeoquímicos, Lade *et al.* (2019), García-Velázquez y Gallardo (2017), y Steffen *et al.* (2015) sostienen que es un problema medioambiental de primer orden, más urgente e importante que el cambio climático y señalan que el principal factor explicativo es la utilización de fertilizantes sintéticos en la agricultura. Para satisfacer las necesidades de fertilización a escala mundial, cada año se fijan 120 millones de toneladas de N₂ por la industria química y se convierten en formas reactivas, mientras que 20 millones de toneladas de fosfatos son extraídas de canteras. El UNEP (2016) informa que la contaminación en ríos y lagos de América Latina, Asia y África aumenta significativamente y pone en riesgo la salud de 323 millones de personas, indicando como una de las causas más relevantes el creciente uso de fertilizantes sintéticos, en particular fosfato y nitrógeno.

Siendo la Argentina un productor agrícola importante a escala mundial, su contribución a la alteración de estos ciclos biogeoquímicos y a la contaminación local y global es relevante. De acuerdo a un informe de la Bolsa de Comercio de Rosario (2021), en la Argentina el consumo de fertilizantes se duplicó en los últimos 15 años,

alcanzando 5,3 Mt en 2021, de las cuales un 54% corresponde a nitrogenados y un 36% a fosforados. El informe estima que el consumo de fertilizantes aumentará entre un 5% y un 10% por año en la próxima década, impulsado tanto por la expansión del área agrícola como por la pérdida de nutrientes en los suelos. Es decir, es probable que el consumo total de fertilizantes se duplique en la próxima década en nuestro país. Investigaciones recientes realizadas en la cuenca del río Salado, en una región agrícola de la provincia de Santa Fe, detectó que la concentración de agroquímicos en las vísceras de la especie ictícola estudiada es la más alta del mundo, destacando los riesgos eco toxicológicos a los que se exponen los organismos (Cuzziol Boccioni *et al.*, 2025) y Lajmanovich *et al.*, 2024). La situación actual y las perspectivas sobre la evolución en el uso de fertilizantes en nuestro país deberían colocar como prioritaria una política seria y viable de zonificación y regulación de la actividad agrícola.

La propuesta que evaluamos en este artículo no solo tiene un impacto económico significativo, sino que también produce externalidades medioambientales positivas, contribuyendo de manera concreta a mitigar los tres problemas ambientales mencionados. El tratamiento de la fracción orgánica de los RSU mediante biodigestión anaeróbica se presenta como una opción que permite abordar los desafíos de sustentabilidad productiva y ambiental en la Argentina.

3. ¿Qué es la digestión anaeróbica?

En la naturaleza existe un grupo de organismos vivos que cumple la función de descomponedores dentro de la cadena trófica. Se trata de bacterias, hongos y protozoarios que degradan la materia orgánica en moléculas más simples, aptas para iniciar nuevos ciclos biogeoquímicos que vuelven a formar materia orgánica. Los procesos de degradación realizados por estos organismos se conocen como “fermentaciones”, y existen dos grandes categorías: aquellas que se desarrollan en presencia o en ausencia de oxígeno. Las primeras son fermentaciones aeróbicas, y las segundas anaeróbicas.

La fermentación anaeróbica es la más primitiva. En la actualidad existe consenso respecto de que los primeros organismos vivos que se desarrollaron en el planeta, hace aproximadamente 3.000 millones de años, en ausencia de oxígeno en la atmósfera, fueron bacterias anaeróbicas. La proliferación y evolución de este grupo de bacterias incrementó el contenido de oxígeno en la atmósfera y creó las condiciones para la aparición de microorganismos aeróbicos hace 500 millones de años y, posteriormente, de formas de vida más complejas (Smith y Smith, 2007).

El proceso metabólico de los microorganismos anaeróbicos depende de una estrecha relación entre los diferentes grupos de microorganismos, de tal forma que la actividad metabólica de un grupo produce las condiciones para que otro grupo pueda desarrollar su actividad, y así sucesivamente. Por ello, el proceso de biodigestión anaeróbica suele dividirse en “etapas”, en las que un grupo de microorganismos desarrolla su metabolismo generando las condiciones para que en la etapa siguiente otro grupo continúe el proceso. Convencionalmente, se señalan cuatro etapas (Corrales *et al.*, 2015; Gropelli y Giampaoli, 2016). La primera etapa comprende al grupo de microorganismos que actúa directamente sobre la materia orgánica: es la etapa de hidrólisis y fermentación. Luego siguen las etapas de deshidrogenación

acetogénica, descarboxilación del acetato y formación reductiva de metano. Como resultado final, la materia orgánica (carbohidratos, lípidos, proteínas) es degradada y convertida en elementos químicamente más simples que componen lo que conocemos como biogás y biofertilizante.

El primero tiene una composición estándar de 70% de metano, 29% de dióxido de carbono, y trazas de anhídrido sulfhídrico, nitrógeno e hidrógeno. El biofertilizante es el residuo digerido: un líquido estable, que ha completado el proceso de digestión y por lo tanto no presenta olor. Tiene características similares al humus. En su composición química se encuentran cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, micronutrientes, materia biofertilizante y hormonas promotoras del crecimiento (Groppelli y Giampaoli, 2016). De esta manera, lo que era materia orgánica se transforma en bienes con valor de uso y de cambio: energía y fertilizante.

El proceso de digestión anaeróbica puede desarrollarse en condiciones controladas a través de un dispositivo tecnológico conocido como biodigestor. Existe abundante literatura que ha estudiado este proceso bajo diferentes condiciones, para distintos tipos de RSU y en diversos tipos de biodigestores, con grados variables de complejidad técnica y tecnológica: desde dispositivos caseros para el aprovechamiento de residuos de una familia, hasta grandes plantas europeas para el tratamiento de residuos orgánicos industriales y municipales. Nuestro análisis se centra en los modelos tubulares de flujo continuo de poliuretano de alta densidad.

3.1 Rendimiento técnico del sistema de biodigestión

Groppelli y Giampaoli (2006) han estudiado, diseñado, construido e instalado biodigestores de diferentes capacidades y para diversos contextos. También han desarrollado sistemas para la utilización del biogás, ya sea como energía térmica o para su conversión en energía eléctrica, así como para el aprovechamiento de los biofertilizantes.

Nuestra hipótesis es que, a partir de una adecuada separación de residuos en origen, la planificación estatal de sistemas de tratamiento de la fracción orgánica de RSU en aglomerados de hasta 50.000 habitantes mediante modelos de biodigestores tubulares de poliuretano de alta densidad específicamente diseñados para la escala de cada aglomerado es económicamente factible, en el sentido de que el valor generado y materializado en el biogás y el biofertilizante permite recuperar la inversión, cubrir los costos operativos y laborales, y generar un excedente.

El proyecto también permitiría, mediante una planificación racional y científica, el desarrollo de ramas complementarias, como la producción y exportación de biodigestores, los cuales, a partir de determinada escala, actualmente se importan desde Alemania. Además, se trata de un proyecto de desarrollo local, con alto impacto económico y medioambiental.

4. Antecedentes

En nuestro país, el desarrollo de las plantas de digestión anaeróbica y la producción de biogás es aún incipiente y marginal en la matriz energética agregada. Según el relevamiento del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2021) y Goicoa (2016), el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU) orgánicos mediante digestión anaeróbica prácticamente no ha sido desarrollado, a pesar del gran potencial que

presenta. Estos trabajos revelan que las pocas experiencias existentes han sido iniciativas privadas aplicadas a explotaciones agrícolas y ganaderas.

Para el caso de Argentina, o de otros países de América Latina, no se conocen estudios que aborden el impacto económico y ambiental de una implementación extensiva de sistemas de tratamiento de la fracción orgánica de los RSU.

Aunque comienzan a publicarse estudios sobre la factibilidad económico-financiera del uso de biodigestores para el tratamiento de estiércol vacuno y porcino (Rostagno *et al.*, 2020; Gastaldi, 2009; Bonadeo, 2017), la investigación sobre el tratamiento de la fracción orgánica de los RSU sigue siendo muy escasa. Consideramos que esta constituye un área vacante de investigación en el país.

Gaitán (2016) estudia un sistema de biodigestión anaeróbica para tratar residuos sólidos orgánicos generados en una unidad penal ubicada en la provincia de La Pampa, utilizando la metodología de flujo de fondos. El análisis se basa en un biodigestor de desplazamiento horizontal con cúpula de polietileno de 40 m³ de capacidad, diseñado para tratar 570 kg de residuos diarios. Aunque el estudio no incluye la valorización económica de los biofertilizantes ni de las externalidades ambientales positivas, concluye que el sistema es económicamente viable.

En América Latina, los estudios sobre la viabilidad económica de sistemas de biodigestión anaeróbica aplicados a RSU también son escasos. Vargas Marón (2014) analiza un caso en la ciudad de Puno (Perú), centrado exclusivamente en la valorización del biogás. De modo similar, Pardo Cárdenas (2019) estudia un sistema para la ciudad de Jaén (Perú), enfocado en la generación potencial de energía eléctrica. Ambos trabajos emplean la metodología de flujo de fondos y, aunque no incorporan la valoración de los biofertilizantes ni de los beneficios ambientales, concluyen que los sistemas son económicamente viables: “Los resultados del análisis económico determinaron que la propuesta es muy rentable y factible para la inversión privada y/o pública” (Pardo Cárdenas, 2019, p. 10).

Es especialmente relevante el estudio de Almeida Pávez y Gonçalves de Azevedo (2021), quienes evalúan la viabilidad económica de implementar un sistema de biodigestión de RSU orgánicos en el municipio de Rosana (Brasil), con 16.000 habitantes, una escala comparable a la de nuestro modelo. Utilizan un biodigestor canadiense de 460 m³ y aplican la metodología de flujo de fondos incluyendo tanto la valorización energética del biogás como la de los biofertilizantes. Concluyen que “el sistema de biodigestión propuesto es un proyecto viable, ejecutable y económicamente atractivo para el municipio” (Almeida Pávez y Gonçalves de Azevedo, 2021, p. 6, traducción propia).

Los reportes de la European Biogas Association (2024), señalan que la producción combinada de biogás y biometano en Europa alcanzó los 22 mil millones de metros cúbicos (bcm) en 2023, lo que representa más del 10% del consumo total de gas natural de la Unión Europea. La producción de biometano creció significativamente con más de 200 nuevas plantas, elevando el total de instalaciones a 1.510.

Dicho informe estima que Europa podría alcanzar una producción de 44 bcm de

biometano para 2030, y 165 bcm para 2050, de los cuales 101 bcm corresponderían a los países de la UE-27. Estas proyecciones están alineadas con programa REPowerEU de la Comisión Europea, que se propone alcanzar 35 bcm anuales para 2030, lo que representa un incremento de diez veces respecto a 2021.

Además del impacto en la matriz energética, la producción de biogás y biometano en Europa permite evitar la emisión de aproximadamente 106 millones de toneladas de CO₂ por año, proporciona energía renovable a 19 millones de hogares y posibilita el abastecimiento de 533.000 camiones con bio-GNL. El uso del biometano se distribuye entre el transporte (23 %), los edificios (17 %), la generación eléctrica (15 %) y la industria (13 %), consolidándose como una fuente clave para la descarbonización, la seguridad energética y la creación de empleo en el continente (European Biogas Association, 2024).

En cuanto a los biofertilizantes, la evidencia científica y técnica disponible muestra que la digestión anaeróbica tiene un gran potencial para el uso agrícola, debido a su efecto positivo sobre el rendimiento de los cultivos, la mejora de la calidad del suelo, la reducción del impacto ambiental y el menor costo en comparación con los fertilizantes inorgánicos (Catarino *et al.*, 2019; Mitter *et al.*, 2021; Kantachote *et al.*, 2016; Gulshan *et al.*, 2022; Barreiro-Hurle *et al.*, 2022; Reuland *et al.*, 2021). Esta evidencia motivó a la Comisión Europea a publicar un informe (European Commission (2017), donde se identifican tecnologías de tratamiento que permiten obtener biofertilizantes con una eficiencia agronómica comparable a la de los fertilizantes inorgánicos.

En la Unión Europea, los biofertilizantes constituyen una herramienta clave en la transición hacia una agricultura más sostenible. El programa *Farm to Fork* establece como objetivo que al menos un 20% del área agrícola sustituya los fertilizantes químicos por biofertilizantes para 2030. Esta estrategia es parte del Pacto Verde Europeo, que reconoce explícitamente el papel de los biofertilizantes en la restauración del suelo, la reducción en la contaminación hídrica por nitrógeno y la mitigación del cambio climático.

En Argentina, es necesario ampliar la investigación sobre el uso de biofertilizantes. Los estudios realizados en el país confirman los beneficios productivos y ambientales de los biofertilizantes derivados de la digestión anaeróbica, así como su potencial para sustituir fertilizantes sintéticos sin afectar el rendimiento de los cultivos. Aplicados en dosis adecuadas, han demostrado igualar o superar los rendimientos obtenidos con fertilizantes químicos, tanto en cultivos extensivos como intensivos (Buguiolacchio, 2020; Allegrini *et al.*, 2022; Rangel Lucio *et al.* (2014); Álvarez Alonso, 2021).

5. Evaluación económica y productiva

5.1 Impacto del biogás

En este apartado estimamos el impacto económico agregado que tendría el sistema en todos los núcleos urbanos del país en el rango de 2.000 a 50.000 habitantes. El impacto económico se estima en términos de la riqueza y el empleo generados. En base al Censo 2010 (no están disponibles los datos desagregados del Censo 2022), en estos aglomerados habitan poco más de 6,5 millones de personas. Si

le adicionamos el crecimiento demográfico que arrojan los datos preliminares del Censo 2022 (alrededor del 18%), podemos estimar la población de referencia en 7,67 millones de personas.

De acuerdo con Groppelli y Giampaoli (2016) y el (ex) Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados por habitante es de 0,45 kg diarios (52% residuos de cocina y 48% residuos de jardín como hojas, pasto y otros). Por lo tanto, el volumen potencial de residuos orgánicos correspondiente al universo de referencia es de 3,45 millones de kg diarios, 24,15 millones de kg semanales y 1.259 millones de kg anuales.

El volumen de biogás que puede generarse a partir de estos residuos depende del tipo y estado de los residuos orgánicos, y sobre todo de la precisión con la que se realice la separación en origen. La estimación basada en otros biodigestores instalados por investigadores de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) en la zona de referencia indica que 10.000 kg de residuo orgánico estándar generan 1.000 m³ de biogás (con una composición del 70% de CH₄). Tomando como caso testigo una ciudad con 20.000 habitantes en el radio urbano, el volumen de biogás potencial que corresponde al volumen de residuos orgánicos generados es del orden de 328.500 m³/año (900 m³/día).

Si extrapolamos esta relación técnica a la población de referencia, obtenemos el siguiente resultado: 1.259.000 toneladas de residuos orgánicos urbanos al año tienen el potencial de producir 125.900.000 m³/año de biogás (344.931 m³/día). Luego de un proceso de purificación, el contenido de CH₄ del biogás aumenta hasta un 98%, lo que permite múltiples aplicaciones según el contexto en que se implemente el sistema: uso directo como gas combustible, inyección a la red de gas natural, uso como GNC para vehículos, o generación de energía eléctrica mediante sistemas de cogeneración, con posibilidad de consumo local o inyección a la red eléctrica.

A continuación, estimamos el potencial económico y productivo del biogás que se generaría por la implementación de estos sistemas. Siguiendo con Groppelli y Giampaoli (2016), luego del proceso de purificación, 1 m³ de biogás se transforma en 0,70 m³ de biometano (con concentración al 98%).

La unidad de medida de energía más utilizada internacionalmente para cuantificar el contenido calórico de combustibles como gas natural, biometano, butano o gasoil es el BTU (British Thermal Unit), que refiere a la cantidad de calor necesaria para aumentar en 1 grado Fahrenheit la temperatura de una libra de agua. De acuerdo con Engineering Toolbox (s.f.), un millón de BTU (MMBTU) equivale a 27,8 m³ de gas natural, 27,2 m³ de biometano y 21,5 kg de gas butano. Por lo tanto, la producción potencial de biometano en el universo de referencia alcanza 3.183.500 MMBTU, equivalentes a 88.430.794 m³ de gas natural, y 68.466.838 kg de gas butano.

Según el estimador de consumo de gas en el hogar de ENARGAS (Ente Nacional Regulador del Gas)², esta cantidad de energía equivale al consumo medio anual de 98.984 hogares. Según la calculadora de consumo de GNC vehicular de Litoral

2 <https://m.enargas.gov.ar/secciones/eficiencia-energetica/estimador-factura/estimador-consumo.php>

Gas³, equivale a la demanda anual promedio de 61.240 vehículos.

5.2 Potencial de los biofertilizantes

El otro producto del proceso de digestión anaeróbica es una sustancia líquida conocida como BOFERTILIZANTE, con alto valor agronómico y económico. Con una gestión adecuada, permite sustituir fertilizantes sintéticos, reducir costos productivos y promover la regeneración de suelos, aportando nutrientes esenciales y materia biofertilizanteológica.

Tal como mencionamos en la introducción, en Argentina se consumen 5,3 Mt de fertilizantes sintéticos por año, principalmente nitrógeno, fósforo y potasio. Según informa INDEC (2022), el 60% de esos fertilizantes es de origen importado, alcanzando las importaciones un total de USD 2.280 millones en 2021. Por ello, esta producción se convierte en una actividad de alto interés para la agricultura local y la sustitución de importaciones.

De acuerdo con las relaciones técnicas ya mencionadas, a partir de la valorización de 1.259.000 toneladas de residuos orgánicos por año mediante digestión anaeróbica se obtienen 2.392.100 toneladas de biofertilizante. Dada su composición química media esperada (Groppelli y Giampaoli, 2016; Robles y Jansen, 2008), el volumen de biofertilizante contiene las siguientes cantidades de nutrientes: 38.273 toneladas de nitrógeno (N), 21.529 toneladas de fósforo (P), 35.882 toneladas de potasio (K), 28.705 toneladas de calcio (Ca) y 4.784 toneladas de magnesio (Mg).

En términos de los fertilizantes químicos sintéticos comerciales más utilizados, la producción se corresponde con 82.286 toneladas de urea (46% N), 42.844 toneladas de fosfato diamónico (DAP) (46% P_2O_5), 71.764 toneladas de sulfato de potasio (50% K_2O), 95.015 toneladas de nitrato de calcio (30% Ca) y 19.136 toneladas de sulfato de magnesio (25% Mg).

Esto resalta el potencial económico y agronómico del biofertilizante como alternativa sostenible a insumos químicos convencionales.

5.3 Impacto en el empleo

Nuestra propuesta se basa en un biodigestor de flujo continuo modelo tubular de polietileno de alta densidad, perfectamente accesible técnica y financieramente. Además, a las escalas propuestas (hasta 50.000 habitantes) tanto la gestión como el mantenimiento del sistema presentan una baja complejidad operativa pudiendo realizarse enteramente con recursos técnicos y operativos disponibles a nivel local. Para estimar la generación de empleo derivada de la implementación del proyecto, tomamos como referencia que una localidad de 5.000 habitantes genera aproximadamente 60.000 kilogramos de RSU orgánicos por mes, los cuales deben ser gestionados a través de un reactor de 500 m³. Las actividades laborales directamente necesarias para el funcionamiento del sistema incluyen: control y carga de la materia orgánica, gestión y monitoreo del biodigestor, control y almacenamiento del BOFERTILIZANTE, y mantenimiento de las instalaciones y el sistema.

Estimamos que se requieren 4 trabajadores con jornada laboral de 36 horas semanales para operar un sistema diseñado para una localidad de 5.000 habitantes.

3 <https://www.litoral-gas.com.ar/site/clientes/viviendas/gnc-vehicular/c%C3%A1culo-de-ahorro/>

Dado que el sistema debe replicarse por cada 5.000 habitantes —es decir, en una localidad de 10.000 habitantes deben instalarse dos sistemas, y el mismo esquema aplica en localidades de menor tamaño—, y considerando la distribución poblacional en localidades argentinas de menos de 50.000 habitantes, inferimos que deberán instalarse alrededor de 4.300 sistemas en todo el país.

De esta manera, el “Sistema Nacional de Tratamiento de la Fracción Orgánica de los RSU para la Producción de Biogás y Fertilizantes en Aglomeraciones de hasta 50.000 Habitantes” generaría de forma directa 17.200 empleos. Se trata de trabajo productivo, formal, local, distribuido nacionalmente y sostenible en términos económicos y ambientales.

6. Impacto ambiental

Tanto la producción de biogás como la de biofertilizantes son carbono-neutrales, es decir, no agregan GEI a la atmósfera. La combustión del biogás, al igual que la del gas natural, produce dióxido de carbono (CO_2); sin embargo, en el caso del biogás, se trata del carbono previamente fijado por las plantas desde la atmósfera, es decir, es carbono que ya circula en el sistema atmosférico. En cambio, el carbono contenido en el gas natural se encuentra en yacimientos fósiles, y su combustión agrega CO_2 nuevo a la atmósfera. Por ello, reemplazar gas natural y fertilizantes inorgánicos por biogás y biofertilizantes contribuye a reducir las emisiones de GEI y mitigar el cambio climático.

Para determinar el impacto ambiental del proyecto, estimamos la huella de carbono generada por el volumen de gas natural y fertilizantes industriales que podrían ser reemplazados por el biogás y los biofertilizantes producidos.

La huella de carbono refleja la totalidad de gases de efecto invernadero que se emiten directa e indirectamente para producir un determinado bien. En nuestro caso, se estima para gas natural y fertilizantes inorgánicos, y se expresa en kilogramos o toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2eq) por unidad de mercancía producida.

En el caso de los fertilizantes nitrogenados, la International Fertiliser Society y Hoxha y Christensen (2019) señalan que el factor de emisión de la producción de una tonelada de nitrógeno es de 6,2 tCO_2eq . Por lo tanto, las 28.327 toneladas de nitrógeno contenidas en el BOFERTILIZANTE que potencialmente se produciría con la implementación del sistema permitirían evitar la emisión de 175.627,4 tCO_2eq ($28.327 \times 6,2$) asociadas a la producción de nitrógeno.

Para los fertilizantes fosfatados, Walling y Vaneckhaute (2020) estima un factor de emisión de 1,1 tCO_2eq por tonelada de fosfato producido. Por lo tanto, las 12.464 toneladas de fosfato contenidas en el BOFERTILIZANTE permitirían evitar la emisión de 13.710 tCO_2eq .

En el caso del gas natural, el factor de emisión tomado de la EIA es de 52,91 kgCO_2eq por millón de BTU (MMBTU), es decir, la producción y combustión de 1 MMBTU en gas natural emite 52,91 kgCO_2eq . Según estimamos en el apartado anterior, el total de biogás producido equivale a 4.302.338 MMBTU, por lo tanto, la huella de carbono que se evita reemplazando gas natural con biogás es de 227.636,7 tCO_2eq

$(4.302.338 \times 52,91 / 1.000)$.

Finalmente, el total de emisiones evitadas por la sustitución de fertilizantes nitrogenados y fosfatados, y gas natural, asciende a 416.974 tCO₂eq por año.

Según estimaciones de Enciso (2020), una hectárea de bosque de clima templado que combine especies de pino, robles y fresnos captura 5 tCO₂ por año. Si el impacto de nuestro proyecto es de 416.974 tCO₂eq, esto equivale a la forestación de 83.395 hectáreas de bosque. La huella de carbono evitada es significativa y constituye una gran contribución para que nuestro país pueda alcanzar las metas de reducción de emisiones de GEI asumidas en la Cumbre de Ambición Climática de 2020.

Tal como hemos comentado en la introducción, biólogos y ecólogos de todo el mundo (Steffen *et al.*, 2015; Lade *et al.*, 2019) caracterizan la alteración de los ciclos biogeoquímicos como un problema medioambiental más grave y urgente que el cambio climático y señalan que el uso intensivo de fertilizantes sintéticos en agricultura es la causa. Uno de los grandes desafíos ambientales que enfrenta la humanidad es la reducción en el uso de fertilizantes sintéticos —en particular nitrógeno y fósforo— para mitigar dicha alteración.

Nuestro país, al ser un gran productor agrícola con sistemas de agricultura industrial, es uno de los mayores consumidores de nitrógeno y fósforo industriales, y por tanto, uno de los que más contribuye a este problema. El proyecto evaluado se alinea con las recomendaciones de la FAO y la Unión Europea para reducir el impacto de la actividad agraria sobre los ciclos biogeoquímicos, que incluyen el reemplazo de fertilizantes sintéticos por biofertilizantes, los cuales no agregan elementos químicos al ambiente, sino que concentran y restituyen nitrógeno y fósforo que ya están ciclando en la naturaleza.

La contribución a reducir la alteración de ciclos biogeoquímicos, tal como estimamos más arriba, está dada por una potencial disminución en el uso anual de urea en 82.286 toneladas y de fosfato diamónico en 42.844 toneladas.

7. Potencial del sector para una Argentina productiva

La producción de biofertilizantes para uso agrícola tiene un enorme potencial de crecimiento a nivel mundial en la próxima década, y Argentina —con un Estado comprometido y un programa claro— puede liderar ese proceso.

En primer lugar, por la estructura de su matriz productiva, se generan grandes volúmenes de residuos de materia orgánica (provenientes de la agricultura, industrias alimentarias, feedlots, tambos, criaderos de cerdos y pollos, entre otros). En segundo lugar, la posibilidad concreta de aprovechar la fracción orgánica de los RSU en pequeñas localidades (primera fase del proyecto) y en grandes ciudades (segunda fase del proyecto) dota al país de recursos abundantes y descentralizados para la producción.

Además, Argentina cuenta con organismos técnicos especializados como el INTA y el INTI, con gran capacidad en investigación aplicada al sector agrícola y biotecnológico, que actualmente están realizando ensayos con biofertilizantes. Estos organismos podrían desarrollar procesos químicos, industriales y tecnologías para mejorar la calidad, aumentar la concentración de nutrientes o sintetizarla, estandarizar formulas

de composición, desarrollar comunidades bacterias con propiedades agronómicas, y lograr una mercancía de alto valor agregado.

Un factor estratégico es que el mercado de fertilizantes en Argentina es uno de los mercados de fertilizantes más grandes del mundo, y por tanto una planificación técnica estratégica puede valerle de la escala del mercado para convertirlo en el primer destino de la producción.

Consultoras privadas prevén que en Europa el mercado de biofertilizantes crecerá al 12% anual en los próximos años⁴. En 2019, la Unión Europea sancionó el Reglamento 2019/1009⁵, que regula la producción y el uso de biofertilizantes en agricultura, garantizando su seguridad y eficacia. Este reglamento establece como objetivo la reducción de al menos un 20% en el uso de fertilizantes industriales nitrogenados y fosfatados, mediante su reemplazo por biofertilizantes.

Nuestro país tiene todo el potencial para posicionarse al frente de esta nueva rama industrial. Además de contribuir a la sostenibilidad agrícola, esta industria permitiría reducir el gasto en divisas destinado a la importación de fertilizantes industriales — que en 2021 alcanzó los USD 2.280 millones— y posicionarse como proveedor de biofertilizantes en el mercado europeo y global.

Nadie desconoce los problemas medioambientales provocados por el uso intensivo de agroquímicos, especialmente en regiones de agricultura extensiva. Algunos de estos problemas fueron mencionados en apartados anteriores. La ciencia, la técnica y la tecnología permiten visualizar una resolución parcial pero significativa, sin afectar la productividad agrícola. Con un Estado que encabece un programa de desarrollo productivo, Argentina puede liderar globalmente esta transición hacia una agricultura más sostenible

8. Conclusión

El proyecto presentado en este artículo puede contribuir a la generación de riqueza y empleo formal a escala local. Se trata de trabajo productivo, en el sentido de que el valor generado permite la retribución salarial según convenio legal y la existencia de un excedente que podría ser apropiado por los gobiernos locales con fines productivos.

Asimismo, la implementación de la propuesta permitiría aliviar la salida de divisas por importaciones de gas y fertilizantes. Si bien esta contribución sería modesta en una primera etapa, cobraría importancia si los sistemas se extendieran a los centros urbanos más poblados.

Desde el punto de vista ambiental, el impacto también es significativo. La propuesta constituye una herramienta importante para la erradicación de basurales a cielo abierto y vertederos informales, que contaminan fuentes de agua y la atmósfera, y provocan diversos problemas ecológicos, como incendios, proliferación de patógenos y afectaciones a la salud. Además, contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y a reemplazar fertilizantes industriales — una de las principales causas de contaminación del agua en regiones agrarias y

4 <https://www.interempresas.net/grandes-cultivos/articulos/398783-entrada-en-aplicacion-del-nuevo-reglamento-europeo-de-fertilizantes.html>

5 Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo (url: <http://data.europa.eu/eli/reg/2019/1009/oj>)

hortícolas— por fertilizantes bofertilizanteógicos y orgánicos, que permiten sostener la productividad agrícola sin generar impactos ambientales negativos adicionales.

En un país en el que la productividad del trabajo está semi-estancada hace décadas, donde persiste un aumento tendencial de la pobreza y la precarización laboral, y una caída sostenida del poder adquisitivo de los salarios, las propuestas de mejoramiento ambiental que partan de reducir la producción o la productividad resultan irrealizables.

Un Estado activo, con capacidades técnicas y científicas, puede desarrollar las fuerzas productivas y al mismo tiempo controlar, mitigar e incluso reducir los impactos ambientales de la producción. Existe toda una batería de tecnologías, formas de organizar el trabajo y la logística, tipos de infraestructuras, planificaciones urbanas y rurales, e ingenierías para la geolocalización de las actividades productivas, de las que puede valerse para controlar o reducir dichos impactos.

Estas herramientas son, a su vez, ramas productivas que aún tienen escaso desarrollo en el país, pero que son muy dinámicas en muchas regiones del mundo y presentan grandes perspectivas de crecimiento en el mercado internacional.

Referencias Bibliográficas

- Abramovitz, M. (1994). The origins of the postwar catch-up and convergence boom. En Fagerberg, J. (Ed.), *In The dynamics of technology, trade and growth* (pp. 21-52). Edward Elgar Publishing.
- Allegrini, M., Iocoli, G. A., Felitti, S. A., y Zabaloy, M. C. (2022). Estudio del efecto de digerido anaeróbico y su combinación con fertilizante inorgánico sobre la biomasa aérea *Delolium perenne* L. *Sociedad de Bofertilizanteología de Rosario*, Rosario, Argentina.
- Álvarez Alonso, C. (2021). *Aplicación agronómica de digeridos procedentes de residuos de frutas y verduras* (Tesis de Máster Universitario de Investigación en Gestión, Tratamiento y Valoración de Residuos Orgánicos, Universidad Miguel Hernández de Elche). <https://dspace.umh.es/bitstream/11000/8039/1/TFM%20Alvarez%20Alonso%2C%20Cristina.pdf>
- Almeida Pávez, S. de, y Gonçalves de Azevedo, C. (2020). Análise de viabilidade econômica de um sistema de biodigestão para resíduos sólidos urbanos no município de Rosana. *Ciência y Tecnologia*, 12(1), 131–137.
- Barreiro-Hurle, J., Bogonos, M., Himics, M. y Leip, A (2021). An economic assessment of GHG mitigation policy options for EU agriculture. *JRC Science for Policy Report*, EUR 27973. <https://doi.org/10.2760/98160>.
- Bil, D. (2022). Argentina hacia Corea del Sur: reflexiones para un programa a 2050. *XVIII Jornadas Interescuelas de Historia*, Santiago del Estero, Argentina.
- Bil, D. (2024). Aproximación a la dinámica exportadora de Australia reciente. Un ejercicio de comparación con Argentina. *Regional and Sectoral Economic*

- Bolsa de Comercio de Rosario. (2021). *Fertilizantes: panorama y oportunidades para la Argentina*. BCR – Investigación y Desarrollo. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fertilizantes>.
- Bonadeo, P. (2017). *Proyecto de inversión: Instalación de un biodigestor en un tambo en la localidad de Huanchilla, Córdoba* (Tesis de Licenciatura, Universidad. Siglo 21). <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/14128>.
- Buguiolacchio, R. (2018). Uso de digerido anaeróbico de feedlot como fertilizante: efecto sobre el rendimiento y calidad de un cultivo de maíz (Trabajo de Intensificación, Universidad Nacional del Sur). <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5200>.
- Burkett, P. (1999). *Marx and Nature: A Red and Green Perspective*. Nueva York, EEUU: St. Martin's Press.
- Catarino, D., Henriques, J., Camelo, J. y Camocho, S. (2019). *Economia Circular: Informação de apoio às empresas*. Lisboa, Portugal: Agência Portuguesa do Ambiente.
- Cockshott, P. y Cottrell, P. (2008). Computadores y democracia económica. *Revista de Economía Institucional*, 10(19), 161–205.
- Cockshott, P. y Nieto, M. (2017). *Ciber-comunismo: Planificación económica, computadoras y democracia*. Madrid, España: Trotta.
- Corrales, L. C., Sarria, G. y López, A. (2015). Bacterias anaerobias: Procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *NOVA*, 13(24), 55–82.
- Cuzziol Boccioni, S., Peltzer, P. M., Salas, N. E. y Lajmanovich, R. C. (2025). Toxicity of pesticide cocktails in amphibian larvae: understanding the impact of agricultural activity on aquatic ecosystems in the Salado River basin, Argentina. *Drug and Chemical Toxicology*, 48(2), 247-265.
- Enciso, E. (2020). Bosques y tecnología para la captura de CO2. *El País*. <https://elpais.com/economia/el-futuro-no-se-detiene/2020-12-04/bosques-y-tecnologia-para-la-captura-de-co.html>
- Engineering Toolbox. (s.f.). *Energy content of fuels*. https://www.engineeringtoolbox.com/energy-content-d_868.html
- European Biogas Association. (2024). *Biogases towards 2040 and beyond*. <https://www.europeanbiogas.eu/>
- European Commission. (2017). *Technical proposals for the safe use of processed manure in nitrates vulnerable zones above the threshold established by*
- SABERES. VOL. 17, NÚM. 1 (2025). 79-98. SECCIÓN ARTÍCULOS

the Nitrates Directive. EUR 28989 EN. Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC109298>

- Fernández Macor, C. (2016a). Desarrollo capitalista y degradación ambiental. *Revista de Economía Crítica de España*, 22, 3–13.
- Fernández Macor, C. (2016b). Los límites analíticos de la economía dominante y la propuesta de la economía ecológica. *SaberEs*, 8(1).
- Frangella, F. y Fernandez Macor, C. (s/f). Reflexiones Críticas sobre ciencia, trabajo, productividad y naturaleza: de las Economías Alternativas a una Nueva Perspectiva Integradora. En *Bianuario “Trincheras de ideas valen más que trincheras de piedra*. Santa Fe, Argentina: Cátedra Abierta de Estudios Latinoamericanos “José Martí” (CAELJM). En prensa.
- Gaitán, R. (2016). *Sistema de biodigestión anaeróbica en unidad penal en La Pampa* (Tesis, Universidad. Nacional de La Pampa).
- García-Velázquez, L., y Gallardo, A. (2017). El ciclo global del nitrógeno: una visión para el ecólogo terrestre. *Ecosistemas*, 26(1), 4–6.
- Gastaldi, A. (2009). Evaluación económica y financiera de una propuesta para el tratamiento y utilización de efluentes porcinos de una granja en el sur de Córdoba (Trabajo final para grado de Contador Público, Universidad Empresarial Siglo XXI, Río Cuarto, Argentina). <https://repositorio.21.edu.ar/handle/ues21/11830>
- Gerchunoff, P. L., y Llach, L. (2010). *El ciclo de la ilusión y el desencanto: un siglo de políticas económicas argentinas*. Emecé.
- Goicoa, V. (2016). Relevamiento nacional de plantas de biogás. *INTI*.
- Groppelli, E., y Giampaoli, O. (2016). *Biodigestores: una propuesta sustentable*. Santa. Fe: Ediciones. UNL.
- Gulshan, T., Verma, A., Ayoub, L., Sharma, J., Sharma, T., Bhadu, A. y Singh, B. (2022). Increasing nutrient use efficiency in crops through biofertilizers. *The Pharma Innovation Journal*, 11(6), 2003-2010.
- Hoxha, A., y Christensen, B. (2019). The carbon footprint of fertiliser production: Regional reference values. *Proceedings of the International Fertiliser Society*, Praga, República Checa.
- INDEC. (2022). *Informe sobre intercambio comercial argentino*. INDEC.
- Kantachote, D., Nunkaew, T. y Chaiprapat, S. (2021). Improving soil fertility using microbial consortia from anaerobic digestate. *Applied Soil Ecology*, 163, 103909.

- Lade, S., Steffen, W., de Vries, W., Carpenter, S. R., Donges, J. F., Gerten, D., ... y Fetzer, I. (2020). Human impacts on planetary boundaries amplified by. Earth system interactions. *Nature. Sustainability*, 3(2), 119–128.
- Lajmanovich, Salas, N. E., Cuzziol Boccioni, S. y Peltzer, P. M. (2023). Cocktails of pesticide residues in *Prochilodus lineatus* fish of the Salado River (South America): First record of high concentrations of polar herbicides. *Science of The Total Environment*, 870, 162019.
- Li, M. (2020). Desarrollo del capitalismo y lucha de clases en China. Buenos Aires, Argentina: Razón y Revolución.
- Mitter, H., Schmid, E., Sinabell, F. y Schmid, E. (2021). The contribution of bio-based fertilizers to a circular economy. *Journal of Environmental Management*, 287, 112273.
- Pardo Cárdenas, O. P. y Mejía Vásques, E. J. (2019). *Evaluación económica para generación de electricidad usando biogás producido de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Jaén–Perú* (Tesis de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Nacional de Jaén). <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/207>.
- Pengue, W. (2009). *Fundamentos de economía ecológica*. Buenos Aires, Argentina: Kaicron.
- Rangel Lucio, J., Rodríguez Sánchez, J. A. y Rodríguez, A. V. (2014). Biofertilización de *Azospirillum* spp y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 46(2), 231-238.
- Reuland, G., Guenet, B., Vanguelova, E., Chabbi, A. y Hénault, C. (2021). The potential of digestate and the liquid fraction of digestate as chemical fertiliser substitutes under the. RENURE criteria. *Agronomy*, 11(7), 1374.
- Robles, S. A. y Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso " Fermentación anaeróbica" para producción de biogás. *German Prof EC GmbH*, 1239
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., ... y Foley, J. A. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and. Society*, 14(2), 32.
- Rostagno, M., Gauna, H. y Bonadeo, P. (2020). Evaluación económica y financiera de la implementación de un biodigestor en un tambo de la cuenca lechera Santafesina. Fave. *Sección ciencias agrarias*, 19(1), 67-79.
- Sartelli, E. (2022). *Argentina 2050: Una vía socialista posible*. Buenos Aires, Argentina: Razón y Revolución.

- Sartelli, E. (2023). *Patrones en la ruta: El conflicto agrario y los enfrentamientos en el seno de la burguesía, marzo-julio 2008*. Buenos Aires, Argentina: Razón y Revolución.
- Smith, T. M. y Smith, R. L. (2007). *Ecología*. Pearson Educación.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... y Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 125–135.
- UNEP. (2016). *A Snapshot of the World's Water Quality: Towards a Global Assessment*. United Nations Environment Programme.
- UNEP. (2021). *Annual Report*. United Nations Environment Programme.
- Vargas Marón, J. (2014). *Factibilidad de generación de energía eléctrica desde el biogás obtenido por el tratamiento de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Puno* (Tesis de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica Eléctrica). <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/384>
- Vetere, S. (2016). *¿Puede la Argentina apostar a una correcta gestión de los RSU?* (Tesis de la Licenciatura en Administración, Universidad Nacional de Cuyo, Argentina). https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/BDUNCU_ac8307383c3fdf29d6f287316cb949ec
- Vilchis, J. M. (2018). Estado, estrategia y desarrollo económico: Corea del Sur y Taiwán frente al caso mexicano. *Convergencia. Revista de Ciencias Sociales*, 25(77), 1–32.
- Walling, E. y Vaneeckhaute, C. (2020). Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their variability. *Journal of Environmental Management*, 276, 111211.
- Zárate, P. A. (2009). Corea del Sur: un ejemplo exitoso de la planeación estatal. *Diálogos de Saberes: Investigaciones y Ciencias Sociales*, 30, 261–272.