



Eco-evolución de la cooperación para los ODS: holobiontes, juegos con retroalimentación ambiental y gobernanza común

Eco-evolution of cooperation for the SDGS: holobionts, environmental-feedback games, and commons governance

Carluys, Suescum Coelho

Universidad Latinoamericana y del Caribe
Correo electrónico: carluyscoelho@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2044-7684>

Car-Emyr, Suescum Coelho

Universidad Metropolitana, Venezuela
Correo electrónico: csuescum@unimet.edu.ve
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1104-7800>

Carlysmar, Suescum Coelho

Centro de Estudios Gerenciales Avanzados
Correo electrónico: carlysmarcoelho.cega@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5959-4380>

Carelys, Suescum Coelho

Centro de Estudios Gerenciales Avanzados, Venezuela
Correo electrónico: carelyscoelho.cega@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1922-8165>

Recibido: Noviembre 2025 Aceptado: Enero: 2026 Publicado: Junio 2026

Cómo citar: Suescum Coelho, C.; Suescum Coelho, CE.; Suescum Coelho, C. y Suescum Coelho, C. (2026). **Eco-evolución de la cooperación para los ODS: holobiontes, juegos con retroalimentación ambiental y gobernanza común**. Editorial CICAG: Revista Electrónica Arbitrada del Centro de Ciencias Administrativas y Gerenciales, Volumen 23 No.3. Junio-Agosto (2026). Venezuela. <https://doi.org/10.36390/dye88h23>

RESUMEN

La presente revisión sistemática integra la simbiogénesis de Margulis y la cooperación evolutiva con la Agenda 2030, replanteando el tránsito desde interpretaciones competitivas del darwinismo hacia la cooperación como palanca de transiciones sostenibles. Siguiendo el método PRISMA, se buscaron artículos en Web of Science, Scopus, DOAJ y portales editoriales (2021–2025) en inglés, español, portugués y francés. De 174 registros cribados, 28 cumplieron criterios de inclusión. La evidencia se organizó en cuatro ejes: 1) cooperación estabilizada por señales ambientales fiables y estructura



social multigrupo; II) holobiontes y funciones mediadas por microbiomas que sostienen servicios ecosistémicos; III) juegos eco-evolutivos con retroalimentación ambiental que modulan la velocidad y estabilidad de los equilibrios cooperativos; y IV) traducciones institucionales mediante gobernanza de bienes comunes e industrial symbiosis. Los hallazgos se mapean a varios ODS: sistemas alimentarios y biodiversidad (ODS 2, 15), mitigación y resiliencia climática (ODS 13), océanos (ODS 14), producción y consumo responsables (ODS 12), así como gobernanza y alianzas (ODS 16, 17). Entre las palancas políticas destacan: reforzar la fidelidad, diseñar arquitecturas relacionales que reduzcan los pagos a la desertión y adoptar regímenes policéntricos con derechos secuenciales de acceso y uso responsable. Se proponen dos agendas accionables, la diplomacia del microbioma para proteger y financiar consorcios simbióticos con métricas de función y contratos por desempeño; y los acuerdos adaptativos de acceso a comunes biofísicos. Agendas que parten de la coalición de los sectores público y privado para forjar una nueva ruta evolutiva que consolide la cooperación y el desarrollo sostenible.

Palabras Clave: Eco-evolución, cooperación, ODS, holobiontes, gobernanza.

ABSTRACT

This systematic review integrates Margulis's symbiogenesis and evolutionary cooperation with the 2030 Agenda, rethinking the transition from competitive interpretations of Darwinism to cooperation as a lever for sustainable transitions. Following the PRISMA method, articles were searched in Web of Science, Scopus, DOAJ, and editorial portals (2021–2025) in English, Spanish, Portuguese, and French. Of 174 records screened, 28 met the inclusion criteria. The evidence was organized into four axes: I) cooperation stabilized by reliable environmental cues and multigroup social structure; II) holobionts and microbiome-mediated functions that sustain ecosystem services; III) eco-evolutionary games with environmental feedbacks that modulate the speed and stability of cooperative equilibria; and IV) institutional translations through commons governance and industrial symbiosis. The findings map to several SDGs: food systems and biodiversity (SDG 2, 15), climate mitigation and resilience (SDG 13), oceans (SDG 14), responsible production and consumption (SDG 12), and governance and partnerships (SDG 16, 17). Policy levers include strengthening loyalty, designing relational architectures that reduce payments for defection, and adopting polycentric regimes with sequential rights of access and responsible use. Two actionable agendas are proposed: microbiome diplomacy to protect and finance symbiotic consortia with function metrics and performance contracts; and adaptive access agreements to biophysical commons. These agendas are based on a coalition of the public and private sectors to forge a new evolutionary path that consolidates cooperation and sustainable development.

Keywords: Eco-evolution, cooperation, SDGs, holobionts, governance.

INTRODUCCIÓN

Desde su génesis en el siglo XIX y durante gran parte del siglo XX, diversas lecturas e interpretaciones de la selección natural del darwinismo centradas en la



competencia se proyectaron, de manera problemática, sobre multiplicidad de fenómenos sociales, económicos y culturales (Darwin, 2011). Sin embargo, la biología contemporánea y las ciencias que abordan la sostenibilidad como un campo de estudio transdisciplinario que procura la comprensión y resolución de los problemas que engendra el desarrollo sostenible muestran que la cooperación no es una excepción a la regla, sino que se configura como una condición extendida de la evolución y propia de la persistencia de sistemas complejos.

Es así como la obra de Margulis (2002), en particular con su teoría de la endosimbiosis seriada y su defensa de la simbiogénesis, consolidó la idea de que la novedad biológica puede emerger de asociaciones simbióticas estables, ofreciendo un correctivo a esas visiones que de manera radical se enfocan exclusivamente en lo adaptacionista o individualista. Y es que, este pivote epistémico hoy se extiende hacia las ciencias sociales, principalmente a través de modelos de gobernanza de bienes comunes, transiciones sociotécnicas y teoría de juegos con una elevada retroalimentación medioambiental, habilitando así, un diálogo fértil en sintonía con la Agenda 2030.

Los últimos años han sido un terreno fecundo para la publicación de avances súper relevantes, pues, por un lado, se ha documentado que la provisión de información ambiental o la estructura de los grupos altera de modo robusto las condiciones bajo las cuales pueden estabilizarse las relaciones de cooperación en poblaciones humanas y análogas, introduciendo ciclos, puntos de equilibrio múltiples y dinámicas dependientes de la velocidad del entorno en relación con las decisiones estratégicas (Kleshnina et al., 2023; Ma et al., 2023; Gross et al., 2023; Ito et al., 2024; Jiang et al., 2023).

El giro holobiótico de Margulis (2002) documenta que diversas tipologías de plantas, algas y bosques funcionan como consorcios multiespecie cuyos atributos funcionales, entre ellos, la captura de carbono o la resiliencia al clima, emergen a partir de relaciones microbianas cooperativas y a su vez, de esquemas de gobernanza compartida (Berg et al., 2024; Saha et al., 2024; Baldrian et al., 2024; Anthony et al., 2024; Bordenstein et al., 2024).

Al mismo tiempo y casi sin saberlo, las diversas políticas de sostenibilidad han incorporado de manera creciente aproximaciones evolutivas a la cooperación, las cuales



van desde derechos colectivos de acceso y uso en recursos de propiedad común hasta transiciones de consumo-producción que requieren de la consolidación de alianzas entre los diversos stakeholders, arreglos policéntricos e inclusive, procesos de aprendizaje social (Andrews et al., 2024; Geels et al., 2023; Agrawal et al, 2023).

En paralelo, el campo de Gaia, madre tierra o Pachamama, a menudo revisadas críticamente con base a los estudios de Margulis han fomentado una rearticulación para pensar relaciones co-regulativas entre vida y planeta, refrescando debates sobre la trascendencia e importancia de la cooperación multiespecie y las responsabilidades políticas generadas con base a las mismas (Lenton, 2025; Donoghue et al., 2025; Lenton et al., 2024; Junges, 2021).

El propósito de la investigación es doble, primeramente, reconstruir críticamente el paso desde usos “social-darwinistas” a enfoques de cooperación evolutiva informados por la simbiogénesis y por nuevas dinámicas eco-evolutivas. Segundo, evaluar su pertinencia para operacionalizar objetivos de desarrollo sostenible y sus correspondientes metas en el marco de la ejecución de la Agenda 2030, en especial, donde la cooperación condiciona resultados colectivos como en la alimentación, clima, océanos, biodiversidad y producción-consumo responsables.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La cooperación evolutiva hoy en día es abordada mediante un marco transdisciplinario que integra ecología, teoría de juegos, ciencias sociales y sostenibilidad. En los sistemas naturales y humanos recientes se ha observado que las señales ambientales pueden servir como información pública que altera los incentivos individuales hacia la cooperación. De esta manera se señala que, los autores Kleshnina et al. (2023) demuestran en modelos de juegos estocásticos que contar con información precisa del entorno amplía considerablemente la región de parámetros en la cual cooperar es evolutivamente estable.

Dicho de otro modo, ecologías con retroalimentaciones ambientales legibles en cuanto a niveles de recursos o niveles de contaminación facilitan en gran medida la cooperación, y es que, la estructura social multigrupo, una característica de muchas



sociedades y comunidades ecológicas es la que modula esas dinámicas cooperativas. En estudios experimentales como el de Romano et al. (2024) se ha documentado incluso el efecto del vecino desagradable, donde, bajo una escasez percibida de recursos, las personas sancionan con mayor dureza a colegas o vecinos o incluso a los propios miembros de su grupo que a extraños. Esto revela que la competencia interna puede intensificarse bajo presión local, lo que demanda el diseño de instituciones que mitiguen rivalidades internas en la gestión de recursos comunes.

Por su parte, Xiao & Li (2024) señalan que el fortalecer el contacto positivo entre grupos promueve la cooperación intergrupal, mostrando que las interacciones amistosas con miembros de otros grupos incrementan exponencialmente la conducta cooperativa, y que este efecto es más mucho más fuerte y permanente en sociedades menos individualistas. Estos hallazgos dejan en evidencia que la cooperación depende de señales ambientales y de arquitecturas multigrupo, dado que los individuos no actúan solo basados en beneficios privados estáticos, sino en la información contextual sobre el ecosistema y las relaciones sociales.

En el plano cultural - institucional, la evolución de la cooperación en recursos comunes debe ser entendida mediante los derechos colectivos, por ello, Andrews et al., (2024) proponen un modelo evolutivo multigrupo en el que, ante la presencia de conflictos por recursos compartidos, primero emergen derechos de acceso (quién o quiénes puede usar los recursos) y luego derechos de uso sostenible, posibilitando la selección cultural de grupos que gobernaron eficientemente.

Establecer jurídicamente quiénes pueden acceder al recurso es condición necesaria para que, posteriormente, se diseñen y evolucionen normas de uso responsable, dado que, sin tales arreglos de inclusión y monitoreo, el manejo cooperativo tiende a ser inestable. De hecho, principios clásicos de gobernanza como los formulados por Ostrom (2014) destacan la necesidad de definir claramente los derechos de acceso y uso en un común, apoyados por reglas de monitoreo y sanción, pues solo así, la cooperación evoluciona no sólo en términos ecológicos o sociales, sino también en el despliegue de instituciones colectivas que dirigen comportamientos individuales hacia metas compartidas.



Holobiontes, simbiogénesis y servicios ecosistémicos

Para Manzanera (2025) el concepto de holobionte considera a cada organismo y su microbioma como una unidad funcional integrada, y de acuerdo con esta perspectiva, los hospederos y sus comunidades microbianas evolucionan recíprocamente como ensambles que son mutuamente dependientes. Margulis (2002) lo enfatizó en la simbiogénesis, esas series de simbiosis persistentes que generan innovaciones evolutivas, ejemplificada en el origen de mitocondrias y cloroplastos mediante endosimbiosis.

Estas innovaciones metabólicas son base de funciones ecosistémicas críticas, la evidencia empírica confirma que la diversidad y ensamblaje de microbiomas modulan propiedades clave de los anfitriones, mejorando la nutrición vegetal, la captura de carbono y la resiliencia al estrés ambiental. Por su parte, autores como, Berg et al. (2024) subrayan que los holobiontes vegetales mueven los ciclos biogeoquímicos globales y sustentan extraordinariamente la resiliencia planetaria.

Según estos autores antes mencionados, la gestión adaptativa de los ecosistemas debería incluir estrategias diseñadas y basadas en holobiontes, pues los servicios ecosistémicos como la regulación climática o la fertilidad de los suelos dependen del funcionamiento conjunto de plantas y sus respectivos consorcios microbianos. Por ejemplo, la capacidad de los bosques para secuestrar carbono está ligada a la composición fúngica del suelo, lo que Anthony et al. (2024) constataron que predice el proceso de almacenamiento de carbono a gran escala.

Es así como la visión holobiótica aporta un fundamento funcional y conceptual necesario para entender muchos servicios ecosistémicos en tanto que las interacciones simbióticas multiespecie crean redes de cooperación natural cuya integridad es esencial para mantener ciclos de nutrientes, productividad y resiliencia ambiental (Manzanera, 2025).

Juegos eco-evolutivos con retroalimentación ambiental

La teoría de juegos evolutivos se ha ampliado integrando retroalimentación con el medio ambiente, dando lugar a los llamados juegos eco-evolutivos. En este marco, las



estrategias de los agentes afectan al estado del recurso compartido, y a su vez dicho estado modifica las recompensas individuales. Tilman et al. (2020) fueron pioneros en mostrar que la dinámica conjunta de estrategias y ambiente depende críticamente de la velocidad relativa de cambio ambiental frente al cambio de estrategia.

Cuando el entorno evoluciona más lento o rápido que las preferencias individuales, pueden surgir distintos equilibrios cooperativos o trayectorias cíclicas. Esa unificación revela fenómenos análogos en la toma de decisiones humanas, la absorción de nutrientes por plantas o la pesca a nivel comunitario, resaltando su relevancia amplia. Estudios posteriores han clasificado extensivamente estos juegos, como la investigación realizada por Ito & Yamamichi (2024) donde analizaron no solo el dilema del prisionero sino también juegos de tipo gallina o caza del ciervo (Stag-Hunt) bajo recursos renovables, hallando que aparecen oscilaciones persistentes y biestabilidad (múltiples estados finales posibles) incluso con distintos tipos de juegos.

En poblaciones estructuradas espacialmente o en redes sociales, estas dinámicas son aún más ricas, por ello Betz et al. (2024) extienden los juegos eco-evolutivos a poblaciones divididas en dos comunidades interconectadas y reportan dinámicas complejas como bifurcaciones múltiples, multi estabilidad y oscilaciones anti sincrónicas. El marco de juegos eco-evolutivos revela entonces cómo la retroalimentación ambiental puede modular la velocidad y estabilidad de la cooperación, desde equilibrios estables de alta cooperación hasta ciclos de tragedia, dependiendo de parámetros biológicos, sociales y ambientales. Estos modelos matemáticos y computacionales enlazan la ecología y las ciencias sociales, mostrando que, bajo ciertas condiciones ambientales, la cooperación puede auto sostenerse y proliferar.

Gobernanza de comunes y simbiosis industrial

Las ideas anteriormente desarrolladas encuentran aplicación en la gobernanza institucional, pues es en los bienes comunes, en esos recursos compartidos por múltiples actores que la teoría de gobernanza propone arreglos colaborativos para evitar la sobreexplotación. Ostrom (2014) identificó principios clave, en particular, al definir con claridad primeramente los derechos de acceso, quién o quiénes pueden usar el recurso, y seguidamente, los derechos de uso, representados por el cómo se extrae o regula.



A partir de estos principios institucionales se traducen las intuiciones cooperativas en reglas formales. Andrews et al. (2024) ilustran cómo a lo largo de la historia cultural se desarrollan derechos colectivos para gobernar recursos globales, enfatizando que primero se establecen derechos de acceso ante el conflicto entre grupos, y luego se evoluciona hacia derechos de uso sostenible, para que a partir de este ordenamiento se asegure que la cooperación, en forma de manejo responsable, se establezca mediante aprendizaje cultural de grupos exitosos.

En el ámbito industrial y económico, la simbiosis industrial es un claro ejemplo de cooperación adaptada a la producción representada por redes de empresas en donde los excedentes: materias primas, energía o residuos de unas se convierten en insumos para otras, cerrando bucles productivos. Por su parte, Filho et al. (2025) señalan que la simbiosis industrial permite intercambios intersectoriales de recursos para maximizar eficiencia y minimizar desechos, de modo que el residuo de una empresa sirve como materia prima de otra. En este ecosistema industrial, los competidores pueden practicar una coopectación colaborando para obtener beneficios económicos, sociales y ambientales mutuos mientras compiten por el mercado.

Igualmente, Sellitto et al. (2025) describen las redes simbióticas industriales como conjuntos colaborativos de compañías que, en su condición de proximidad espacial, comparten excedentes de recursos y residuos. Estas prácticas ceden ventajas ambientales concretas cuando reducen la demanda de materias primas vírgenes y disminuyen la cantidad de residuos que se dirigirán a los vertederos, aumentando así la eficiencia global del sistema productivo. Institucionalmente, la simbiosis industrial requiere políticas y acuerdos de gobernanza integrados desde normativas que faciliten intercambios de subproductos, hasta incentivos financieros para inversiones en infraestructuras compartidas de modo que los principios de cooperación evolutiva se materialicen en modelos económicos circulares.

La cooperación evolutiva se refleja en las instituciones de gobernanza común y en la organización industrial sostenible, ya sea mediante derechos colectivos en la gestión de recursos naturales (Andrews et al., 2024), o mediante redes productivas donde el aparente desperdicio se convierte en recurso estratégico siguiendo lógica simbiótica (Filho



et al., 2025). Esta interconexión de enfoques subraya que los retos de la sostenibilidad y los ODS requieren alinear incentivos individuales con el bien común, a través de señales claras ambientales e institucionales y estructuras sociales que promuevan la acción colectiva informada y resilientes.

METODOLOGÍA

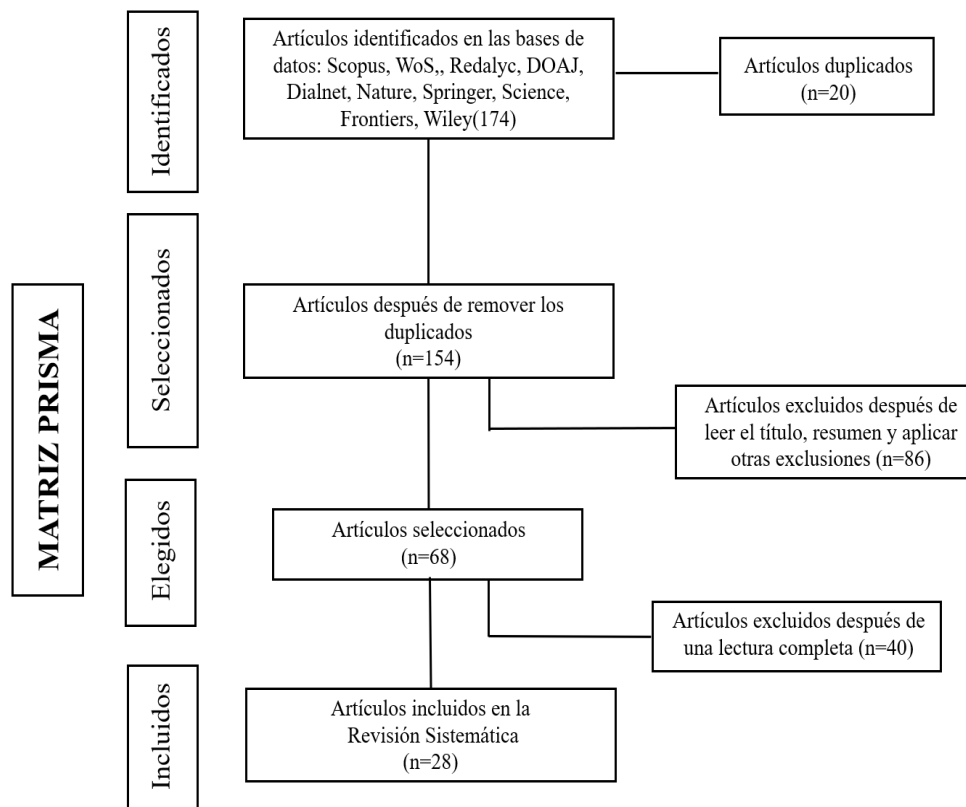
La investigación aplicó un diseño documental con revisión sistemática de literatura que aborda aportes teóricos y empíricos, centrando la atención a su relevancia para la implementación de políticas basadas en evidencia con protocolos reproducibles. Para ello, fueron consultadas diversas bases, repositorios académicos y portales editoriales como; SciELO, Redalyc, WoS, Scopus, DOAJ, Google Scholar, Dialnet, Nature, Springer, Science, Frontiers, Wiley, entre otros.

Se consideraron investigaciones desarrolladas en los últimos 5 años (2021 - 2025). Se filtraron investigaciones desarrolladas en los idiomas inglés, francés, español y portugués. Se priorizaron los artículos de acceso abierto con DOI. Los términos empleados incluyeron: cooperación evolutiva, juegos eco-evolutivos, sostenibilidad, retroalimentación ambiental, ODS, Agenda 2030, holobiontes, simbiogénesis, gobernanza y agro ecosistemas.

Asumiendo lo antes expuesto, seguidamente, se procedió a evaluar un total de 174 registros y se retuvieron 28 artículos tras el cribado por título, resumen, texto completo y elegibilidad. Se codificaron cuatro ejes, a saber: 1) cooperación evolutiva modulada por información y estructura, 2) holobiontes y cooperación simbiótica, 3) juegos eco-evolutivos con retroalimentación ambiental, y 4) gobernanza de las cosas comunes y simbiosis industrial.

Cabe destacar que, posterior a ello, se extrajeron los datos de diseño, población, escala, método, resultados clave y los vínculos explícitos o directamente relacionados con los distintos ODS de la Agenda 2030. La triangulación se apoyó en revisiones recientes y en meta-marcos de transición sociotécnica, las cuales se afianzaron con la inclusión de los reportes oficiales de organismos multilaterales internacionales para dar contexto a los ODS.

Figura 1. Matriz Prisma



Fuente: Elaboración propia (2025)

RESULTADOS

1) De la competencia tradicional a la cooperación informada por el ambiente y la estructura social

La literatura sometida a análisis demuestra que la cooperación puede surgir y, además de ello, estabilizarse cuando los individuos perciben señales sobre el estado ambiental o sobre el comportamiento de otros, y cuando aunado a ello la estructura de interacción es multigrupo. Así, Kleshnina et al. (2023) muestran mediante experimentos y modelización que “a información ambiental actúa como una señal pública que cambia los incentivos individuales, ampliando la región paramétrica donde cooperar es evolutivamente estable; este hallazgo es completamente consistente con ecologías donde el ambiente emite retroalimentaciones legibles, como en el caso de los niveles de contaminación o estado del recurso.



En este mismo orden de ideas los autores, Gross et al. (2023), ofrecen una clasificación unificadora de cooperación universal bajo reglas de actualización generales, lo que desplaza el foco desde supuestos de racionalidad fuerte hacia mecanismos que son lo suficientemente amplios para abarcar tanto a poblaciones humanas, como a no humanas.

A nivel cultural Andrews et al., (2024) proponen un marco evolutivo multigrupo para la emergencia de derechos colectivos sobre recursos comunes planetarios. Su resultado central es que los derechos de acceso anteceden y permiten evolucionar hacia derechos de uso sostenibles bajo conflicto intergrupar, traduciendo al lenguaje institucional la intuición cooperativa, la cual sin arreglos de inclusión y monitoreo, podrían desencadenar que el uso responsable sea inestable.

El aporte dialoga perfectamente con el ODS 16 (Paz, justicia e instituciones sólidas) y el ODS 14 - 15 cuando los recursos involucrados están vinculados a la vida marina o los bosques. Complementariamente, meta-marcos de transición sociotécnica como el ODS 12 de producción y consumo responsables integran la cooperación entre actores como condición para acelerar descarbonización, circularidad y cambios de demanda (Geels et al., 2023).

Aunado a ello, la evidencia conductual e intercultural agrega matices tal como Romano et al. (2024) señalan cuando documentan el efecto del vecino desagradable (nasty neighbor effect), esa propensión a competir o sancionar con mayor dureza a miembros del propio grupo (vecinos, amigos, colegas) cuando hay una escasez de recursos percibida, lo cual alerta sobre gradientes de cooperación y rivalidad dentro de colectivos y la necesidad de diseñar mecanismos que amortigüen tanto la escasez local, como las jerarquías internas.

En este punto, las investigaciones de Xiao & Li (2024) hallan que el contacto intergrupar positivo aumenta exponencialmente la cooperación, con moderación por individualismo, lo que sugiere un marco de intervenciones culturales específicas para los ODS 16 y ODS 17 en el forjamiento y consolidación de alianzas para el logro de los objetivos. Es así como estas investigaciones desplazan la lectura competitiva hacia una



lectura mucho más contextualizada, pues la cooperación depende de señales ambientales, arquitecturas relacionales y reglas que internalicen externalidades.

Este marco que aflora es particularmente pertinente para el logro de la Agenda 2030, donde la mayoría de las metas requieren acción colectiva bajo una marcada incertidumbre climática y donde privan grandes asimetrías de información. Asimismo, es menester recalcar que conecta de forma directa con debates filosóficos sobre Gaia - Pachamama con la simbiogénesis, debates que proponen imaginar sistemas co-regulados por múltiples agentes y escalas (Lenton et al., 2024; Junges, 2021).

2) Holobiontes, simbiogénesis y gobernanza compartida de la vida

El segundo eje lo constituyen los aportes derivados del giro holobiótico donde organismos + microbiomas conforman unidades funcionales cuyas propiedades emergen de la propia cooperación simbiótica. La propuesta de Margulis (2002) sobre simbiogénesis como novedad evolutiva a partir de simbiosis persistentes, encontró una expansión empírica y conceptual reciente. En plantas y algas, estudios demuestran que la diversidad y ensamblaje de microbiomas modulan resiliencia al estrés, nutrición y captura de carbono; además, sugieren que la gobernanza de estos consorcios puede conceptualizarse como compartida entre hospederos y microbios (Berg et al., 2024; Saha et al., 2024).

En materia de bosques, el meta análisis realizado de Baldrian et al. (2023) evidencia cómo el microbioma forestal media respuestas al cambio y calentamiento global, impactando la estabilidad del ecosistema. Este hallazgo se enlaza directamente con ODS 13 (Acción por el Clima) y el ODS15 (Vida de Ecosistemas Terrestres), pues la mitigación climática y la conservación medioambiental dependen del tejido de redes simbióticas multiespecie y de su integridad funcional. Ahora bien, a una escala más continental, Anthony et al. (2024) a lo largo de su investigación demuestran que la composición fúngica predice almacenamiento de carbono a gran escala, proporcionando una métrica ecológica que es plenamente accionable para realizar un manejo adaptativo.

El marco se refina en mayor medida cuando Bordenstein & The Holobiont Biology Network (2024) proponen una suerte de matriz disciplinaria de la biología del holobionte



que unifica definiciones, niveles de análisis y métricas, abriendo la puerta para la estandarización de políticas de bio-innovación (bioinsumos agrícolas) y el diseño de incentivos regulativos alineados con ODS 2 (Hambre Cero) y ODS 12 (Producción y consumo responsable).

Las perspectivas que se vislumbran a tan solo cinco años de llegar al 2030 apuntan hacia aplicaciones como la variación natural del holobionte para agro ecosistemas sostenibles (Weckwerth et al., 2025) y la ingeniería del holobionte vegetal para agricultura resilientes al clima (Portal-González et al., 2025). Estas revisiones describen flujos de trabajo desde prospección y omics (campos de la biología ricos a gran escala) hasta el ensamblaje de comunidades microbianas sintéticas y evaluación en campo, alineando ciencia la básica con implementación del ODS 2 (hambre cero) y ODS 13 (Acción por el Clima).

Este conjunto de hallazgos evidenciados en las investigaciones ha actualizado la intuición que tuvo Margulis (2002), siendo que la cooperación no solo es vector de innovación, sino también de estabilidad ecológica. Extrapolándolo al campo de las políticas públicas, implica considerar el diseño institucional de interacciones multiespecie, como puede acontecer con el establecimiento de límites a prácticas agrícolas que erosionan microbiomas claves, para la creación de marcos de incentivos para la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza (nature-based solutions o NbS por sus siglas en inglés) que protejan consorcios simbióticos.

Es significativo indicar que en clave de Gaia, hablando de la madre tierra, de la Pachamama, tales propuestas recuperan la idea de la co-regulación biosfera-geosfera, pero partiendo de una operacionalización mensurable para las diversas metas enmarcadas en los ODS de la Agenda 2030, tal como lo exponen (Lenton, 2025; Lenton et al., 2024).

3) Juegos eco-evolutivos y retroalimentaciones ambientales: de la teoría a la gobernanza de ODS

El tercer eje integra modelos presentes en la teoría de juegos con feedback ambiental, en el cual la estrategia colectiva modifica el ambiente y este, a su vez, cambia los pagos. Esta línea de trabajo explica por qué ciertas iniciativas de sostenibilidad oscilan



entre cooperación y defecto, y qué palancas o mecanismos evitan tragedias repetidas. Jiang et al. (2023) en sus investigaciones han demostrado que algunas fluctuaciones ambientales globales, como las que ocurren de manera estacional, alteran cualitativamente las trayectorias locales de cooperación, originando ciclos cerrados y multiestabilidad, en este punto, el resultado es crucial para poder planificar políticas con horizontes temporales y escalas sincronizadas.

Desde una perspectiva metodológica, Ito & Yamamichi (2024) proponen una clasificación completa de dinámicas en juegos que evolucionan con la retroalimentación (feedback-evolving games), la cual es útil para diagnosticar en qué región del plano del dilema se encuentra un determinado sistema social (por ejemplo, una comunidad pesquera, agrícola o pecuaria) y así seleccionar instrumentos (subsidios, financiamientos, sanciones, información) que lo muevan hacia regiones cooperativas. Betz et al., (2024) extienden de manera magistral este análisis a redes con dos comunidades, revelando bifurcaciones transcritas, anti-sincronías y regiones de multiestabilidad, lo que en conjunto representa un recordatorio de que las políticas uniformes y no contextualizadas pueden fallar cuando la estructura social es modular.

Estos enfoques conectan de igual modo con evidencia social y psicológica, pues la cooperación intergrupala puede reforzarse mediante contacto y reducción de distancia social (Xiao & Li, 2024), pero también puede degradarse bajo escasez intragrupal (Romano et al., 2024), lo cual inevitablemente invita a introducir amortiguadores de riesgo y mecanismos de equidad intragrupal para evitar que se generen espirales de desconfianza. En la práctica, lineamientos de control de dinámicas eco-evolutivas indican que la velocidad relativa del ambiente frente a la estrategia es una palanca de política, ya que, al acelerar retroalimentaciones positivas, como, por ejemplo, sería el caso del monitoreo en tiempo real de la calidad de agua en una comunidad, se favorecería la consolidación de equilibrios cooperativos estables. De este modo las investigaciones sobre control en juegos eco-evolutivos ofrecen múltiples herramientas para atrapar trayectorias en variedades cooperativas.

Al aplicarlo a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), esto significa que metas como el ODS 14 (Vida submarina) o el ODS 12 (producción/consumo responsable)



requieren rediseñar entornos institucionales y tecnológicos para que la cooperación sea además de óptima, estable. La evidencia de los estudios de Ding et al. (2024) sobre estadística aplicada y caos refuerza esa intuición, es decir, al introducir retro informes sobre beneficios públicos o los famosos reportes de sostenibilidad (ESG) pueden, según el diseño, estabilizar o desestabilizar cooperación; por ello es precisamente en este aspecto donde las métricas deben co-diseñarse con las reglas claras de participación, aprendizaje y eventuales sanciones por incumplimiento.

4) Bienes comunes y simbiosis industrial: cooperación aplicada a la Agenda 2030

Una cuarta línea examina esos diseños institucionales y arreglos productivos que materializan la cooperación evolutiva en políticas públicas de desarrollo. La investigación de Agrawal et al. (2023) sobre los bienes comunes sintetiza décadas de investigación, subrayando la heterogeneidad de usuarios y la importancia de materializar arreglos policéntricos, principios que, los modelos evolutivos recientes traducen como derechos de acceso y reglas endógenas que co-evolucionan con el entorno biofísico (Andrews et al., 2024). En transiciones de consumo-producción como las señaladas por Geels et al. (2023) la coordinación multi-actor entre oferta, demanda e infraestructuras configura ventanas de oportunidad para acelerar no solo el proceso de descarbonización, sino también la circularidad. (Lüdeke-Freund et al., 2024).

Cuando se considera la interfaz que involucra la producción y el ambiente, la simbiosis industrial se erige como materialización de la cooperación entre organizaciones, instituciones, agentes y sectores que intercambian recursos, calor residual, subproductos y conocimiento, con efectos inmediatos en los ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), el ODS 12 (Producción y Consumo responsable) y el ODS 13 (Acción por el clima). En el sector agroalimentario las investigaciones documentan cómo las simbiosis industriales reducen residuos y costos, a la vez que crean capacidades colectivas (Hamam et al., 2023).

Los métodos de evaluación y mapeo de Ramírez-Rodríguez et al. (2024) sistematizan métricas de desempeño y marcos de decisión, facilitando escalabilidad y replicabilidad, aunado a ello, en mercados emergentes, se destaca la viabilidad de simbiosis en los sectores de la industria textil y confección, con mejoras ambientales



significativas y aprendizaje organizacional (Hossain et al., 2024). Tales iniciativas encarnan la cooperación evolutiva al alinear de manera armónica incentivos mediante contratos, normas y digitalización de flujos.

En el contexto de seguridad alimentaria (ODS 2) y pobreza (ODS 1) refuerza la urgencia, no en vano el informe elaborado por la Organización Mundial de la Salud sobre estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024 (WHO, 2024) estimó que existían al menos 733 millones de personas con hambre en 2023, mientras que el reportes del año 2025 reportó 673 millones para 2024 (WHO, 2025), una disminución que se traduce en mejoras regionales, pese a los grandes deterioros que se afrontan en África y Asia occidental, situación que exige de una mayor cooperación multinivel para no dejar a nadie atrás en el marco del ODS 2 y el ODS 17.

La Organización Mundial de la Salud ha comprendido a lo largo de los últimos años que el desarrollo de programas de agricultura basado en microbiomas y consorcios simbióticos representan oportunidades simbiogenéticas aplicadas para robustecer sistemas alimentarios frente a choques climáticos como los que se afrontan mayormente países del sur global (Weckwerth et al., 2025; Portal-González et al., 2025).

DISCUSIÓN

Los cuatro ejes que se han desarrollado convergen en una tesis fundamental: la cooperación no es un aditamento, ni mucho menos un discurso moral, sino una propiedad sistémica que emerge cuando hay señales ambientales fiables, cuando la estructura social permite reputación, exclusión e inclusión adaptativa, cuando existen reglas de acceso y de uso que co-evolucionan con el recurso y por último, cuando se reconocen ensamblajes multiespecie u holobiontes como unidades de gestión. Por ello, el giro cooperativo actualizado por la biología de la simbiosis reivindica la visión de Margulis sin negar la selección, sino que la desplaza hacia un plano relacional de co-construcción, de heredabilidad extendida y sobre todo de co-regulación multiescalar.

Desde la teoría, el andamiaje eco-evolutivo con retroalimentación ambiental aporta diagnósticos y palancas, porque si el ambiente responde lento y las estrategias cambian rápido, la cooperación puede entrar en ciclos que erosionan legitimidad institucional; en



este punto el acelerar el ambiente informacional (monitoreo de stocks, trazabilidad de cadenas, precios sociales del carbono en tiempo real) reduce retardos y expande las zonas de estabilidad cooperativa tal como postularon Jiang et al. (2023) e Ito & Yamamichi (2024). De manera análoga, si la estructura social es modular, el desarrollo de políticas diferenciadas y contextualizadas a la realidad de cada comunidad evitarían eventuales anti-sincronías entre las subpoblaciones (Betz et al., 2024).

En perspectiva holobionte, los hallazgos arrojados por la investigación implican pasar del paradigma del insumo-producto al de consorcio-función, en este punto lo relevante no es solo qué insumo aplicar, sino cómo preservar y diseñar comunidades simbióticas que ejecutan funciones ecosistémicas críticas, ya sea para la captura de carbono o resiliencia hídrica. La evidencia de los estudios aplicados a bosques y a los agro ecosistemas demuestra que gestionar correctamente los microbiomas potencia la eficacia de los ODS 2 (Hambre Cero), ODS 13 (Acción por el clima) y el ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres) en conjunto. (Baldrian et al., 2023; Anthony et al., 2024; Saha et al., 2024; Weckwerth et al., 2025).

En materia de gobernanza, los resultados de Andrews et al., (2024) ofrecen un diseño secuencial de derechos: primero de acceso (quién entra y en qué condiciones), segundo, de uso (cuánto y cómo), apoyado por mecanismos de monitoreo y por último, de resolución de conflictos. Es así como este carril evolutivo traduce la biología a políticas, donde la lógica del bien común explica por qué tantas intervenciones fallan cuando se requiere uso responsable, sin haber resuelto en primera instancia los problemas de inclusión y control de acceso. Vinculado con transiciones en consumo y producción (Geels et al., 2023) y con la simbiosis industrial (Hamam et al., 2023; Ramírez-Rodríguez et al., 2024), se delinean hojas de ruta que integran no solo la teoría, sino a su vez, el diseño institucional y el aprendizaje tecnológico.

Desde Gaia - Pachamama y la filosofía de la co-regulación planetaria, las investigaciones trascienden de simples metáforas organicistas, y apuntan en cambio a ensamblajes híbridos con agencias distribuidas (Lenton, 2025; Lenton et al., 2024; Donoghue et al., 2025). Al abordar con Margulis (2002), estas perspectivas invitan a diseñar políticas que reconozcan heterarquías de cooperación: humanos con humanos,



humanos con no humanos (IA – robótica), y sistemas socio-técnicos con sistemas biofísicos, es en este punto donde la política de la simbiosis es plenamente consistente con ODS 17 (Alianzas para lograr los Objetivos) y con agendas de innovación abierta en bioeconomía como la desarrollada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2019).

Pese a las grandes bondades y potencialidades que se vislumbran, aún persisten brechas. A nivel empírico, faltan ensayos controlados a escala territorial que midan el impacto de intervenciones de aceleración ambiental, apalancados con el uso de sensores, o gran volumen de datos sobre estabilidad cooperativa. En holobiontes, urge estandarizar métricas de desempeño multicriterio y marcos éticos para la ingeniería de microbiomas que eviten externalidades no previstas (Bordenstein & The Holobiont Biology Network. (2024). En materia de gobernanza, se requieren arreglos financieros que premien el desarrollo de industrias simbióticas y derechos colectivos, especialmente donde la inseguridad alimentaria sigue elevada, tal como lo reflejan los informes de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2024; WHO, 2025).

REFLEXIONES FINALES

La investigación sostiene que la cooperación evolutiva, reformulada a la luz de la simbiogénesis y de la dinámica eco-evolutiva, ofrece una gramática robusta para acelerar el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030. Y es que, desde la biología, la evidencia de holobiontes y redes simbióticas presiona a gestionar comunidades y no solo individuos, a trascender de lo particular a lo global.

Desde la teoría social y de juegos, las retroalimentaciones ambientales y la estructura relacional determinan trayectorias colectivas, lo que genera que a partir de la implementación de políticas informacionales y de diseño institucional se puedan desplazar sistemas hacia atractores cooperativos. Y, desde la gobernanza, los derechos de acceso y uso coevolutivos, al ser combinados con la simbiosis industrial, se traducen en cooperación, ya su vez en resultados medibles de circularidad y resiliencia.

Se trata de dos propuestas disruptivas emergen, en primer lugar, la diplomacia de microbiomas, entendidas como coaliciones público-privadas para proteger e implementar



consorcios simbióticos clave (bosques, suelos agrícolas, arrecifes, entre otros), con métricas de función ecosistémicas homologadas y financiamiento basado en desempeño, enmarcados en los ODS 13 (Acción por el clima) y ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres). Y, en segundo lugar, la realización de acuerdos de acceso adaptativo para comunes biofísicos (pesquerías, agua), que secuencien la inclusión, el monitoreo y el uso siguiendo una ruta evolutiva que incorpore instrumentos de aceleración ambiental y trazabilidad para estabilizar y consolidar la cooperación

Al ser aceptadas estas propuestas, la cooperación dejaría de ser una vana exhortación moral y pasaría a ser infraestructura de innovación evolutiva. Esa es, en el fondo, la lección más profunda del legado de Lynn Margulis, la vida surge y prospera cuando diseña alianzas estables y se co-regula su entorno. Estamos a tiempo, la Agenda 2030 aún puede capitalizar esa lección si pone la cooperación biológica, humana, social y tecnológica en el centro de su praxis.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrawal, A.; Erbaugh, J.; & Pradhan, N. (2023). *The Commons. Annual Review of Environment and Resources*, 48, 1–26. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112320-113509>
- Andrews, J.; Clark, M.; Hillis, V. & Borgerhoff Mulder, M. (2024). *The cultural evolution of collective property rights for sustainable resource governance*. *Nature Sustainability*, 7(4), 404–412. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01290-1>
- Anthony, MA.; Tedersoo, L.; De Vos, B.; Croisé, L.; Meessenburg, H.; Wagner, M.; Andreae, H.; Jacob, F.; Lech, P.; Kowalska, A.; Greve, M.; Popova, G.; Frey, B.; Gessler, A.; Schaub, M.; Ferretti, M.; Waldner, P.; Calatayud, V.; Canullo, R. y Averill, C. (2024). *Fungal community composition predicts forest carbon storage at a continental scale*. *Nat Commun* 15, 2385 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46792-w>
- Baldrian, P.; López-Mondéjar, R. & Kohout, P. (2023). *Forest microbiome and global change*. *Nature Reviews Microbiology*, 21(8), 487–501. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00876-4>
- Berg, G.; Dorador, C.; Egamberdieva, E.; Kostka, J.; Ryu, C. & Wassermann, B. (2024). *Shared governance in the plant holobiont and implications for one health*, *FEMS Microbiology Ecology*. 100 (3). fiae004. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae004>
- Betz, K.; Fu, F. & Masuda, N. (2024). *Evolutionary game dynamics with environmental feedback in a network with two communities*. *Bulletin of Mathematical Biology*, 86, 84. <https://doi.org/10.1007/s11538-024-01310-3>



- Bordenstein, SR. & The Holobiont Biology Network. (2024). *The disciplinary matrix of holobiont biology. Science*, 386(6723), 731–732.
<https://doi.org/10.1126/science.ado2152>
- CEPAL (2019). *Hacia una bioeconomía sostenible en América Latina y el Caribe: elementos para una visión regional. Publicación de las Naciones Unidas.*
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/f23d8b68-db93-4013-8556-18ab4061d01e/content>
- Darwin, C. (2011). *El origen de las especies*. William Collins.
- Ding, R.; Wang, X.; Zhao, J.; Gu, C. & Chen, W. (2024). *Evolutionary dynamics in spatial public goods games with environmental feedbacks*. *Chaos and Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*. 34 (12): 123138. <https://doi.org/10.1063/5.0242366>
- Donoghue, P.; Lenton, T.; Okasha, S.; Shields, G. & Spang, A. (2025). *Chance and purpose in the evolution of biospheres*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 380. 20240085. <https://doi.org/10.1098/rstb.2024.0085>
- Filho, J.; Gaspar, P.; Paço, A. & Marcelino, S. (2025). *Governance-Centred Industrial Symbiosis for Circular Economy Transitions: A Rural Forest Biomass Hub Framework Proposal*. *Sustainability*, 17(12), 5659.
<https://doi.org/10.3390/su17125659>
- Geels, FW.; Kern, F. & Clark, WC. (2023). *Sustainability transitions in consumption-production systems*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(47), e2310070120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2310070120>
- Gross, J.; Méder, ZZ.; De Dreu, CKW.; Romano, A.; Molenmaker, WE. & Hoenig, LC. (2023). *The evolution of universal cooperation*. *Science advances*, 9(7), eadd8289.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.add8289>
- Hamam, M.; Spina, D.; Raimondo, M.; Di Vita, G.; Zanchini, R.; Chinnici, G.; Tóth, J.; D'Amico, M. (2023). *Industrial symbiosis and agri-food system: Themes, links, and relationships*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1012436.
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1012436>
- Hossain, M.; Aziz, RA.; Karmaker, CL.; Debnath, B.; Bari, ABMM. & Islam, ARMT. (2024). *Exploring the barriers to implement industrial symbiosis in the apparel manufacturing industry: Implications for sustainable development*. *Heliyon*, 10(13), e34156. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34156>
- Ito, H. & Yamamichi, M. (2024). *A complete classification of evolutionary games with environmental feedback*. *PNAS Nexus*. 3. 11. pgae455.
<https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae455>
- Jiang, Y.; Wang, X.; Liu, L.; Wei, M.; Zhao, J.; Zheng, Z. & Tang, S. (2023). *Nonlinear eco-evolutionary games with global environmental fluctuations and local environmental feedbacks*. *PLoS computational biology*, 19(6), e1011269.
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1011269>



- Junges, JR. (2021). *O novo regime climático do Antropoceno e de Gaia / The new climatic regime of Anthropocene and Gaia*. Revista Bioética, 29(4), 734–742. <https://doi.org/10.1590/1983-80422021294507>
- Kleshnina, M.; Hilbe, C.; Šimsa, Š.; Chatterjee, K. & Nowak, M. (2023). *The effect of environmental information on evolution of cooperation in stochastic games*. Nature Communications 14, 4153. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39625-9>
- Lenton, TM. (2025). *The evolution of Gaia(s)*. Philosophical Transactions of the Royal Society B. <https://doi.org/10.1098/rstb.2024.0095>
- Lenton, TM.; Dutreuil, S. & Latour, B. (2024). *Gaia as seen from within*. Theory, Culture & Society, 41(5), 69–90. <https://doi.org/10.1177/02632764241275574>
- Lüdeke-Freund, F.; Wells, P.; Aagaard, A. (2024). *The Catalytic Role of Sustainability Transitions for Business Models*. In: Aagaard, A. (eds) Business Model Innovation. Palgrave Macmillan, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57511-2_5
- Ma, XM.; Quan, J. & Xianjia, W. (2023). *Evolution of cooperation with nonlinear environment feedback in repeated public goods game*. Applied Mathematics and Computation. 452. 128056. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2023.128056>
- Manzanera, M. (2025). *From Microbial Consortia to Ecosystem Resilience: The Integrative Roles of Holobionts in Stress Biology*. Biology, 14(9), 1203. <https://doi.org/10.3390/biology14091203>
- Margulis, L. (2002). *Planeta Simbiótico: Un nuevo punto de vista sobre la evolución*. Debate. https://tavapy.gov.py/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/MargulisL_-_Planeta-simbiotico.pdf
- Ostrom, E. (2014). *Más allá de los mercados y los Estados: gobernanza policéntrica de sistemas económicos complejos*. Revista Mexicana De Sociología, (e). <https://doi.org/10.22201/iis.01882503p.2014.e.46480>
- Portal-González, N.; Wang, W.; He, W. & Santos-Bermúdez, R. (2025). *Engineering plant holobionts for climate-resilient agriculture*. The ISME Journal, 19(1), wraf158. <https://doi.org/10.1093/ismejo/wraf158>
- Ramírez-Rodríguez, LC., Ormazabal-Goenaga, M. & Jaca, C. (2024). *Mapping sustainability assessment methods through the industrial symbiosis life cycle for a circular economy*. Sustainable Production and Consumption. (50). 253 – 267. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.08.005>
- Romano, A.; Gross, J. & De Dreu, CKW. (2024). *The nasty neighbor effect in humans*. Science Advances, 10(26), eadm7968. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adm7968>
- Saha, M.; Dittami, SM.; Chan, CX., Raina, JB.; Stock, W.; Ghaderiardakani, F.; Valathuparambil Baby John, AM.; Corr, S.; Schleyer, G.; Todd, J.; Cardini, U.; Bengtsson, MM.; Prado, S.; Skillings, D.; Sonnenschein, EC.; Engelen, AH.; Wang, G.; Wichard, T.; Brodie, J.; Leblanc, C. and Egan, S. (2024). *Progress and future directions for seaweed holobiont research*. New Phytol, 244. 364-376. <https://doi.org/10.1111/nph.20018>



- Sellitto, MA.; De Lima, MS.; Ackermann, AEF.; Kadel, NJr. & Butturi, M. A. (2025). *Exploring Industrial Symbiotic Networks: Challenges, Opportunities, and Lessons for Future Implementations*. Sustainability, 17(4), 1509. <https://doi.org/10.3390/su17041509>
- Tilman, AR., Plotkin, JB. & Akçay, E. (2020). *Evolutionary games with environmental feedbacks*. Nat Commun 11, 915 <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14531-6>
- WHO (2024). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024*. FAO/IFAD/UNICEF/WFP/WHO. <https://www.who.int/news/item/24-07-2024-hunger-numbers-stubbornly-high-for-three-consecutive-years-as-global-crises-deepen-un-report>. Organización Mundial de la Salud.
- WHO (2025). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2025*. FAO/IFAD/UNICEF/WFP/WHO. <https://www.who.int/news/item/28-07-2025-global-hunger-declines-but-rises-in-africa-and-western-asia-un-report>. Organización Mundial de la Salud.
- Weckwerth, W.; Chaturvedi, P.; Ghatak, A.; Kerou, M.; Garg, V.; Bohra, A.; Subbarao, GV; Stein, L.; Schleper, C.; Varshney, RK. & Snapp, S. (2025). *Natural variation of the holobiont for sustainable agroecosystems*. Trends in plant science, 30(9), 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2025.05.006>
- Xiao, R. & Li, S. (2024). *The effect of positive inter-group contact on cooperation: The moderating role of individualism*. Frontiers in Psychology, 15, 1323710. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1323710>