

## Opinion

Peixoto R, Voolstra CR, Stein LY, Hugenholtz P, Falcao Salles J, Amin SA, Häggblom M, Gregory A, Makhalanyaane TP, Wang F, Agbodjato NA, Wang Y, Jiao N, Lennon JT, Ventosa A, Bavoil PM, Miller V, Gilbert JA. (2024). Microbial solutions must be deployed against climate catastrophe. *Nat Microbiol* 9, 3084-3085 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41564-024-01861-0>

**This paper is a call to action. By publishing concurrently across journals like an emergency bulletin, we are not merely making a plea for awareness about climate change. Instead, we are demanding immediate, tangible steps that harness the power of microbiology and the expertise of researchers and policymakers to safeguard the planet for future generations.**

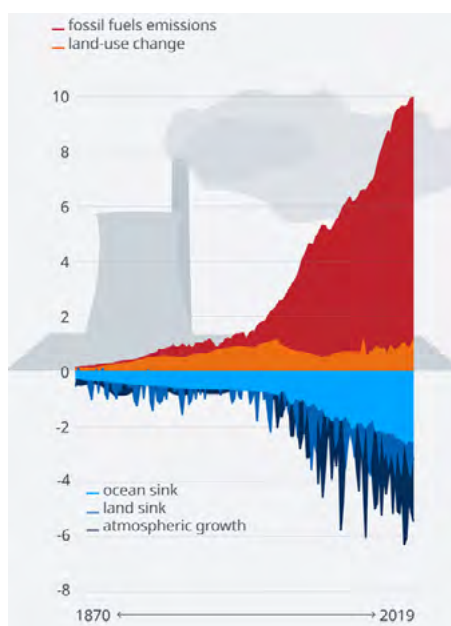
This article has been co-published with permission in

- *Sustainable Microbiology* (<https://doi.org/10.1093/sumbio/qvae029>),
- *The ISME Journal* (<https://doi.org/10.1093/ismejo/wrae219>),
- *mSystems* (<https://doi.org/10.1128/msystems.01416-24>),
- *FEMS Microbiology Ecology* (<https://doi.org/10.1093/femsec/fiae144>),
- *Nature Microbiology* (<https://doi.org/10.1038/s41564-024-01861-0>),
- *Nature Reviews Microbiology* (<https://doi.org/10.1038/s41579-024-01123-0>),
- *Nature Reviews Earth and Environment* (<https://doi.org/10.1038/s43017-024-00611-4>),
- *Nature Communications* (<https://doi.org/10.1038/s41467-024-53680-w>),
- *Communications Biology* (<https://doi.org/10.1038/s42003-024-07108-2>),
- *Communications Earth and Environment* (<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01817-6>),
- *npj Biodiversity* (<https://doi.org/10.1038/s44185-024-00066-2>),
- *npj Biofilms and Microbiomes* (<https://doi.org/10.1038/s41522-024-00591-9>),
- *npj Climate Action* (<https://doi.org/10.1038/s44168-024-00179-1>)
- *npj Sustainable Agriculture* (<https://doi.org/10.1038/s44264-024-00033-1>).

## Microbial Solutions for Climate Change

News media are packed with warnings about climate change – those long-term shifts in temperature and weather patterns that today are largely attributed to human activities. Microbes, inextricably linked and key to planetary health, offer sustainable solutions.

The year 2024 promises to be the warmest one on record. During its 4.5-billion-year history, planet Earth has experienced changing climate conditions, but only during this last century has warming occurred so fast. Gases like carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) naturally keep the atmosphere warm, a greenhouse effect necessary for life. However, our use of fossil fuels has overwhelmed our planet's capacity to regulate these gases, resulting in the steady increase of annual greenhouse gas (GHG) emissions in the last decades, reaching approximately 54 gigatons of CO<sub>2</sub> equivalents in 2023.



**Figure 1.** The global carbon budget. CO<sub>2</sub> emissions from human activities to the atmosphere and CO<sub>2</sub> absorbed by the natural carbon sinks. All values in billion tons of carbon per year. Source: <https://www.dw.com/en/fact-check-is-global-warming-merely-a-natural-cycle/a-57831350>

Nations recently met at the 29th session of the Conference of the Parties, COP29 in Baku, Azerbaijan, to negotiate initiatives and cooperation to tackle climate change. Since the first climate change COP in 1995 in Berlin, there have been advances, but there is still a long way to go. Public awareness has increased, and actions have been taken to reduce the use of fossil fuels and invest in renewable and sustainable practices. However, the reduction of GHG emissions has been uneven across nations, and policies to mitigate climate change have been slow. This means that we might be unable to meet the target of a 1.5°C increase in the world’s average surface temperature above pre-industrial levels by the year 2100. Temperatures above this threshold are predicted to alter ecosystems and lead to more extreme and irreversible climate effects.

**Table.** Examples of microbial strategies to tackle climate change. Source: <https://www.nature.com/articles/s41564-024-01861-0/tables/1>

Strategy	Mechanism of action	Benefits	Application
Carbon sequestration	Microbial enhancement of carbon sequestration in soils and oceans	Reduces atmospheric CO <sub>2</sub> and enhances soil productivity	Agricultural and forestry sustainability and marine biosequestration
Methane oxidation	Use of methanotrophic bacteria to oxidize methane into less harmful compounds	Lowers methane emissions and can promote atmospheric removal; mitigates a potent greenhouse gas	Landfills; livestock management; inland freshwater bodies; wetlands
Bioenergy production	Cultivation of algae and other microbes for biofuel production	Provides renewable energy; reduces reliance on fossil fuels	Biofuel production; industrial applications
Bioremediation	Microbial breakdown of pollutants and hazardous substances	Improves environmental health; reduces toxin exposure	Industrial waste management; contaminated land and sediment restoration
Microbial therapies	Targeted microbiome management using microbial therapies (for example, probiotics, postbiotics, prebiotics); can mitigate harmful microbiomes and consequent environmental degradation; restoring beneficial microbiomes across hosts and ecosystems	Improves organismal and environmental health and can be applied to sustainable practices, which, in turn, minimizes greenhouse gas emissions	Wildlife and ecosystem restoration and rehabilitation; sustainable agriculture; human health
Nitrogen management	Engineering crops with symbiotic bacteria to fix atmospheric nitrogen or crops that produce biological nitrification inhibitors	Enhances soil fertility; reduces fertilizer use; increases plant nitrogen use efficiency; decreases eutrophication and greenhouse gas emissions	Sustainable agriculture; crop production

What can be done? A large group of scientists published an urgent call to action (appearing simultaneously in multiple journals) arguing for the use of microbial systems to confront this crisis. The proposal is to act now by harnessing microbial-based solutions and scientific expertise to help mitigate the escalating climate problems. Some examples of proposed solutions are shown in the table.

The authors suggest that the efficient implementation across borders of these microbiome-based approaches requires a decentralized yet globally coordinated strategy. They also propose the establishment of a global science-based climate task force, with representatives from scientific societies and institutions, to provide rigorous and evidence-based answers and solutions to relevant stakeholders such as country delegates and negotiators at the United Nations COP meetings. Science and researchers should be at the forefront, working together to assess strategies and responses required to curb the impacts of the current climate crisis and protect our planet for future generations.

**María Mercedes Zambrano, Ph. D.**

Directora Científica, Corporación Corpogen, Bogotá, Colombia  
Dirección de Investigación y Transferencia de Conocimiento, Universidad Central,  
Bogotá, Colombia

**Small Things Considered**

A blog for sharing appreciation of the width and depth of microbes and microbial activities on this planet. (<https://schaechter.asmblog.org/schaechter/>)

**Links:**

- <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- <https://cop29.az/en/home>
- <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- [https://www.ipcc.ch/sr15/#:~:text=Limiting%20warming%20to%201.5%C%20implies%20reaching%20net%20zero,particularly%20methane%20\(high%20confidence\)](https://www.ipcc.ch/sr15/#:~:text=Limiting%20warming%20to%201.5%C%20implies%20reaching%20net%20zero,particularly%20methane%20(high%20confidence))
- [https://journals.asm.org/doi/10.1128/msystems.01416-24?\\_zs=51gpl&\\_zl=B0KA3](https://journals.asm.org/doi/10.1128/msystems.01416-24?_zs=51gpl&_zl=B0KA3)

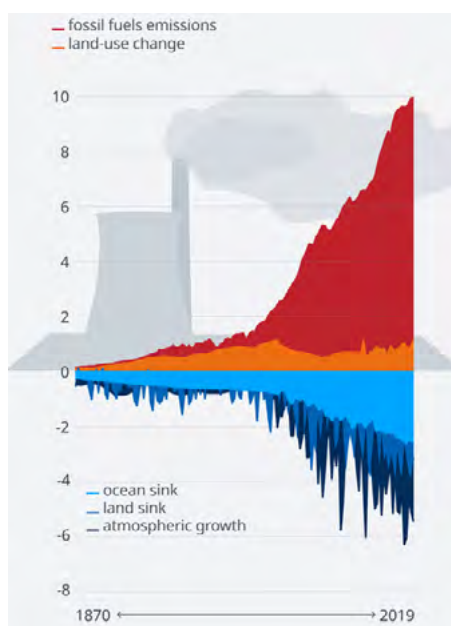
---

## **Soluciones microbianas para el cambio climático**

Los medios de comunicación nos advierten constantemente sobre el cambio climático: los cambios a largo plazo en temperatura y patrones climáticos que hoy se atribuyen en gran medida a las actividades humanas. Los microorganismos, formas de vida claves para la salud planetaria, ofrecen soluciones sostenibles.

El año 2024 promete ser el más caliente jamás registrado. Durante sus 4.500 millones de años de historia, el planeta Tierra ha experimentado condiciones climáticas cambiantes, pero sólo durante este último siglo el calentamiento ha sido tan acelerado. Gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) calientan la atmósfera gracias a un efecto invernadero, el cual es necesario para la vida. Sin embargo, el uso de combustibles fósiles ha superado la capacidad del planeta para regular estos gases, resultando en un constante aumento de las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) en las últimas décadas. Es así como en 2023 generamos aproximadamente 54 gigatoneladas de equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Recientemente se realizó la Conferencia de las Partes de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP29) en Bakú, Azerbaiyán. Esta conferencia pretende negociar iniciativas y cooperación para abordar el cambio climático. Desde la primera COP sobre cambio climático en 1995 en Berlín, ha habido avances, pero todavía queda un largo



**Figura 1.** El presupuesto global de carbono. Emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera procedentes de actividades humanas y CO<sub>2</sub> absorbido por los sumideros naturales de carbono. Todos los valores en miles de millones de toneladas de carbono por año. Fuente: <https://www.dw.com/en/fact-check-is-global-warming-merely-a-natural-cycle/a-57831350>

camino por recorrer. La conciencia global del problema ha aumentado notablemente y se han tomado medidas para reducir el uso de combustibles fósiles e invertir en prácticas renovables y sostenibles. Sin embargo, la reducción de las emisiones de GEI ha sido desigual entre países y las políticas para mitigar el cambio climático han sido lentas. Esto significa que quizás no se logre cumplir la meta de aumentar en tan solo 1,5°C la temperatura media de la superficie del mundo por encima de los niveles preindustriales para el año 2100. Se prevé que las temperaturas por encima de este umbral alterarán los ecosistemas y conducirán a un clima más extremo e irreversible.

**Tabla.** Ejemplos de estrategias microbianas para mitigar el cambio climático. Fuente: <https://www.nature.com/articles/s41564-024-01861-0/tables/1>

Strategy	Mechanism of action	Benefits	Application
Secuestro de carbono	Mejora microbiana del secuestro de carbono en suelos y océanos	Reduce el CO <sub>2</sub> atmosférico y mejora la productividad del suelo	Sostenibilidad agrícola y forestal y biosecuestro marino
Oxidación del metano	Uso de bacterias metanotróficas para oxidar el metano en compuestos menos dañinos	Reduce las emisiones de metano y puede promover su eliminación atmosférica; mitiga un potente gas de efecto invernadero.	Vertederos; gestión ganadera; masas de agua dulce continentales; humedales
Producción de bioenergía	Cultivo de algas y otros microbios para la producción de biocombustibles	Proporciona energía renovable; reduce la dependencia de combustibles fósiles	Producción de biocombustibles; aplicaciones industriales
Biorremediación	Descomposición microbiana de contaminantes y sustancias peligrosas	Mejora la salud ambiental; reduce la exposición a toxinas.	Gestión de residuos industriales; restauración de suelos contaminados y sedimentos
Terapias microbianas	La gestión específica del microbioma mediante terapias microbianas (por ejemplo, probióticos, posbióticos, prebióticos) puede mitigar los microbiomas dañinos y la consiguiente degradación ambiental; restaurando los microbiomas beneficiosos en todos los huéspedes y ecosistemas.	Mejora la salud de los organismos y del medio ambiente y puede aplicarse a prácticas sostenibles, lo que, a su vez, minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero.	Restauración y rehabilitación de la vida silvestre y los ecosistemas; agricultura sostenible; salud humana
Gestión del nitrógeno	Ingeniería de cultivos con bacterias simbióticas para fijar el nitrógeno atmosférico o cultivos que produzcan inhibidores biológicos de la nitrificación.	Mejora la fertilidad del suelo; reduce el uso de fertilizantes; aumenta la eficiencia del uso de nitrógeno por parte de las plantas; disminuye la eutrofización y las emisiones de gases de efecto invernadero.	Agricultura sostenible; producción de cultivos

¿Qué se puede hacer? Un grupo de científicos publicó un llamado a actuar de forma urgente (que aparece simultáneamente en varias revistas) argumentando el uso de sistemas microbianos para enfrentar esta crisis. La propuesta es aprovechar los microorganismos y las soluciones que proveen, así como la experiencia científica, para mitigar los problemas generados por el cambio climático. Algunos ejemplos de soluciones propuestas se muestran en la tabla.

Para la implementación eficiente y amplia de enfoques basados en microbiomas, la comunidad de microorganismos que existen en un entorno particular, los autores sugieren una estrategia descentralizada pero coordinada a nivel global. También proponen el establecimiento de un grupo de trabajo científico e internacional, con representantes de sociedades e instituciones científicas, para proporcionar respuestas y soluciones rigurosas y basadas en evidencia a las partes interesadas, como los delegados de los países y los negociadores en las reuniones de la COP de las Naciones Unidas. La ciencia y los investigadores deben estar a la vanguardia, trabajando juntos para evaluar las estrategias y respuestas necesarias para frenar los impactos de la crisis climática actual y proteger nuestro planeta para las generaciones futuras.

**María Mercedes Zambrano, Ph. D.**

Directora Científica, Corporación Corpogen, Bogotá, Colombia  
Dirección de Investigación y Transferencia de Conocimiento, Universidad Central,  
Bogotá, Colombia

Enlaces:

- <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>
- <https://cop29.az/en/home>
- <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>
- [https://www.ipcc.ch/sr15/#:~:text=Limiting%20warming%20to%201.5%C%20implies%20reaching%20net%20zero,particularly%20methane%20\(high%20confidence\)](https://www.ipcc.ch/sr15/#:~:text=Limiting%20warming%20to%201.5%C%20implies%20reaching%20net%20zero,particularly%20methane%20(high%20confidence))
- [https://journals.asm.org/doi/10.1128/msystems.01416-24?\\_zs=51gpl&\\_zl=B0KA3](https://journals.asm.org/doi/10.1128/msystems.01416-24?_zs=51gpl&_zl=B0KA3)