



Explorando la virósfera del suelo: los guardianes invisibles de la vida

Jessica E. Martínez-Vázquez^{1*}

Fabián Fernández-Luqueño²

Ana Margarita Rodríguez-Hernández³

¹ Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav Unidad Saltillo); Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza, México.

² Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (Cinvestav Zacatenco), CDMX, México.

³ Centro de Investigación en Química Aplicada; Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

*Autor para correspondencia: elizabeth.martinez@cinvestav.mx

La virósfera del suelo es el conjunto de virus que habitan en este ecosistema. Constituye un universo invisible que regula los microbios, recicla nutrientes y sostiene la fertilidad del suelo. Los virus no son únicamente amenazas, sino también son guardianes invisibles de la vida terrestre que promueven el equilibrio ecológico y abren el camino hacia una agricultura sostenible.

Introducción

Bajo nuestros pies se esconde un mundo invisible tan vasto y diverso como los bosques y los océanos que conocemos. La “virósfera del suelo” está formada por entre 10 y 1 000 millones de virus por gramo de suelo. Aunque el ojo humano no puede verlos a simple vista, estos influyen en la fertilidad del suelo, la salud de las plantas y el equilibrio de los ecosistemas. Más allá de su asociación con enfermedades, estos agentes microscópicos cumplen funciones esenciales que apenas se están descubriendo.

Se calcula que en un solo gramo de suelo puede haber miles de millones de partículas virales.

Ante los desafíos que plantean el cambio climático y la degradación del suelo, una agricultura más sostenible es indispensable. Comprender la vida microscópica del suelo y la relación entre virus, microorganismos y plantas puede contribuir a obtener cultivos más sanos y productivos.



Desarrollo

Los virus del suelo son partículas biológicas muy pequeñas (no celulares) que carecen de metabolismo propio, por lo que no están vivos por sí mismos.

Básicamente, están formados por material genético (ADN o ARN) dentro de una cápsula de proteínas y necesitan entrar en organismos (celulares) como bacterias, arqueas, hongos o plantas para multiplicarse. Su función principal consiste en infectar a estos organismos (hospedadores) y regular sus poblaciones, lo que repercute indirectamente en el funcionamiento del ecosistema.

Diversidad y variabilidad ambiental

Investigaciones recientes han revelado que la diversidad viral en el suelo supera con creces las estimaciones iniciales. Se calcula que en un solo gramo de suelo hay miles de millones de partículas virales que forman una red compleja que responde a cambios en la humedad y la temperatura del suelo o a las prácticas agrícolas.

Además, la virósfera del suelo no es uniforme, ya que varía en función del tipo de suelo, el uso agrícola y las condiciones ambientales. Los virus presentes en un bosque húmedo son distintos de los que se encuentran en un desierto o en un campo de cultivo (Figura 1). Esta variabilidad abre nuevas preguntas sobre cómo manejamos nuestros suelos y cuál es el papel que los virus podrían desempeñar en una agricultura más sostenible.

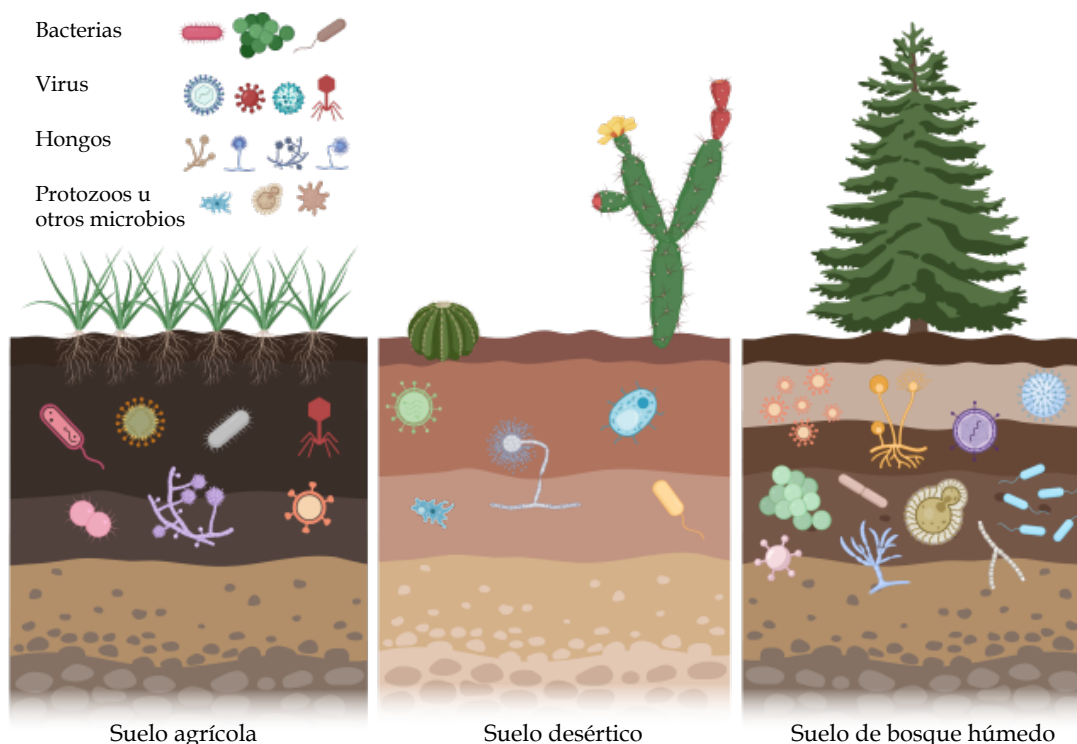


Figura 1. Diversidad relativa de virus y microorganismos en distintos tipos de suelo.



Los virus en las redes tróficas del suelo

En el suelo, la vida se organiza en complejas redes de interacción conocidas como redes tróficas. En ellas, bacterias, hongos, protozoos, nemátodos y pequeños invertebrados mantienen un delicado equilibrio ecológico.

Los virus son una parte fundamental de este entramado, ya que regulan las poblaciones microbianas al infectar bacterias (bacteriófagos) o, en algunos casos, hongos (micovirus). Este proceso, que se refiere a un modelo de crecimiento poblacional, se conoce como “kill the winner” (“matar al ganador”): los virus limitan a los microorganismos más abundantes y permiten que otros menos competitivos prosperen, manteniendo así la diversidad.

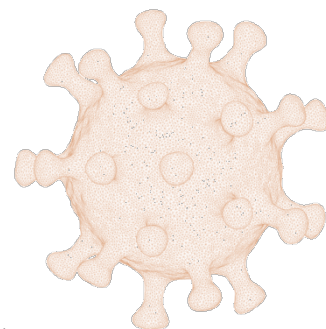
Además, al destruir a sus hospedadores, generan lo que se conoce como fertilización viral, que consiste en nutrir y aportar compuestos orgánicos a otros organismos del suelo. De esta manera, los virus no solo controlan las poblaciones, sino que también conectan la energía y la materia en las redes tróficas.

Los virus del suelo son partículas biológicas muy pequeñas: no son células, no tienen metabolismo propio y no están vivos por sí mismos.

Los virus en la biogeoquímica del suelo

La biogeoquímica estudia cómo elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre circulan por la naturaleza. En este entramado, los virus del suelo actúan como motores invisibles. Cuando los virus infectan y destruyen microorganismos, liberan carbono orgánico, amonio, fosfatos y otras moléculas que antes estaban encerradas en las células (Figura 2). Estos nutrientes se reincorporan al ciclo del suelo, lo que acelera procesos como la mineralización y aumenta la disponibilidad de recursos para las plantas.

En los ecosistemas naturales, la acción viral contribuye a regular el almacenamiento y la liberación de carbono en el suelo, lo que tiene implicaciones directas para el cambio climático. En los sistemas agrícolas, comprender las interacciones virus-planta-suelo podría ayudar a utilizar los fertilizantes de manera más eficiente y a adoptar prácticas más sostenibles.



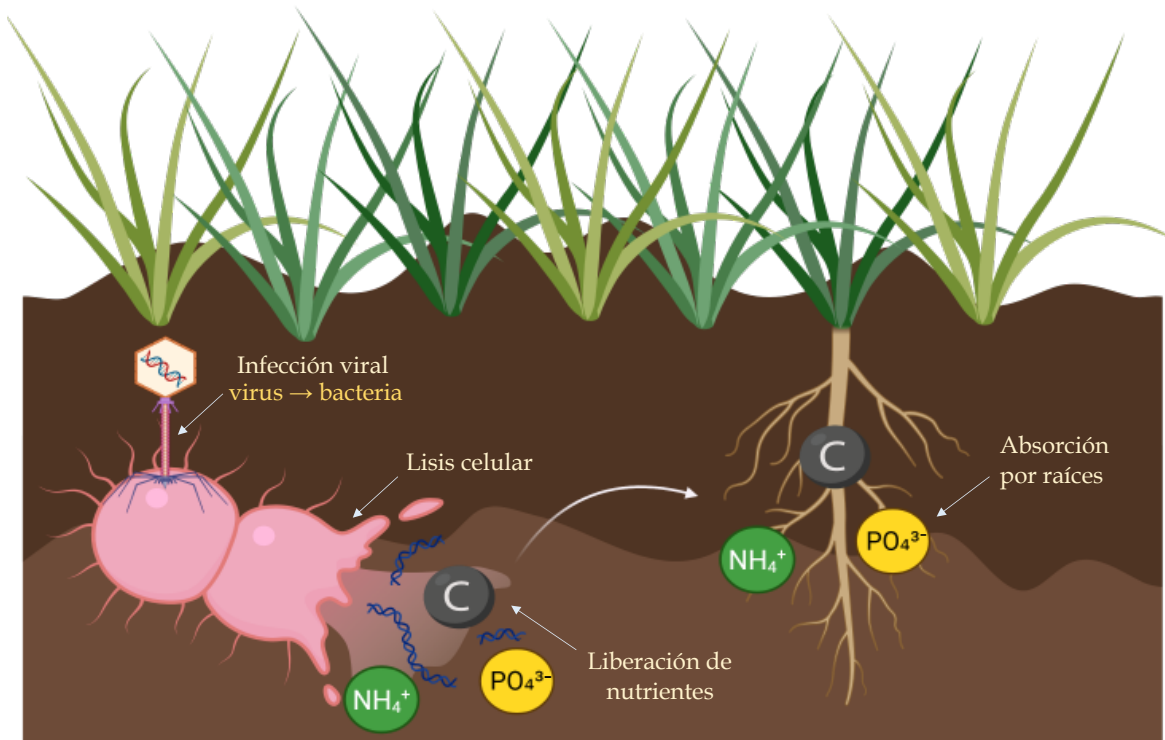


Figura 2. Liberación de nutrientes tras la acción viral. Cuando los virus infectan y destruyen microorganismos, se liberan compuestos como carbono orgánico (C), amonio (NH_4^+) y fosfatos (PO_4^{3-}), que estaban contenidos en las células.

En los ecosistemas se han identificado dos grandes tipos de virus: los de ADN y los de ARN. Durante años se pensó que los virus de ADN eran los protagonistas en el suelo, porque eran los más detectados con las herramientas disponibles. Sin embargo, estudios recientes han revelado una gran diversidad de virus de ARN, incluso aquellos que infectan bacterias. Esta evidencia amplía la perspectiva: ambos tipos son importantes. Aunque difieren en su material genético y en su forma de replicarse, tanto los virus de ADN como los de ARN influyen en las comunidades microbianas y, por tanto, participan en la transformación y redistribución de nutrientes en el suelo.



Los virus regulan las poblaciones microbianas al infectar bacterias (bacteriófagos) o, en algunos casos, hongos (micovirus).



Los virus en la rizosfera

La rizosfera se puede considerar como una delgada capa de suelo que rodea o cubre a las raíces y es una de las zonas más dinámicas de la actividad subterránea. En ella, las raíces liberan compuestos que atraen o repelen microorganismos, creando un “micro universo” que influye directamente en la salud y la productividad de las plantas.

Tradicionalmente, la atención científica se ha centrado en las bacterias y los hongos de la rizosfera, pero estudios recientes muestran que también hay virus y que estos podrían desempeñar un papel esencial. Aunque la abundancia de virus en la rizosfera no siempre es mayor que en el suelo circundante, su interacción con las comunidades microbianas es relevante en términos de salud y nutrición de las plantas, así como en la síntesis de metabolitos. Estos son sustancias químicas producidas por los organismos y que participan en su crecimiento, defensa y funcionamiento.

Muchos de estos virus adoptan una estrategia lisogénica; es decir, en lugar de destruir de inmediato a la célula que infectan, integran su material genético dentro de ella y permanecen “silenciosos” durante un periodo largo de tiempo, multiplicándose cada vez que la célula se divide. Sin embargo, en cualquier momento pueden activarse y pasar al ciclo lítico, en el que comienzan a producir numerosas copias de sí mismos hasta romper la célula y liberarse al ambiente (Figura 3). Este mecanismo podría ayudar a ciertos microbios a adaptarse mejor al ambiente adverso que hay alrededor de las raíces, incluida la presión de los sistemas inmunitarios de la planta.

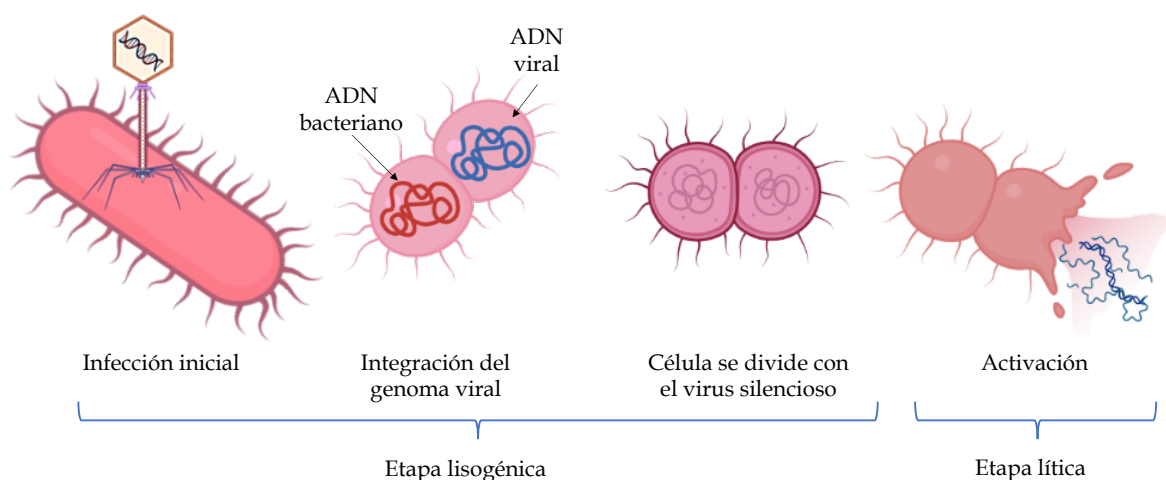
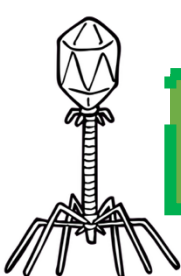


Figura 3. Ciclo de vida de un bacteriófago en el suelo: el virus introduce su ADN en la bacteria y puede permanecer silencioso dentro de ella (etapa lisogénica) hasta activarse y pasar a la etapa lítica, en la que produce muchas copias y rompe la célula bacteriana para liberarse al medioambiente.



De esta forma, los virus no solo afectan a los microbios, sino que también modelan indirectamente la microbiota de las raíces. Al favorecer la permanencia de algunas bacterias beneficiosas, estas pueden mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes o resistir enfermedades. Por otro lado, todavía queda por descubrir si los virus emplean estrategias distintas frente a los microbios benéficos y a los microbios perjudiciales para la planta.

Explorar esta asociación entre virus, microbios y plantas abre la puerta a nuevas preguntas: ¿podríamos aprovechar los virus del suelo para promover una agricultura más resiliente, es decir, más capaz de resistir y recuperarse frente a sequías, enfermedades y otros cambios ambientales? O, por el contrario, ¿los virus podrían estar limitando el potencial de los cultivos? Lo que sí está claro es que la rizosfera es un punto de interés en el que los virus interactúan, pero apenas empezamos a prestarles atención.



Los virus no son solo agentes reguladores, sino también
proveedores de materia y energía en la ecología del suelo.

Diversidad y métodos de estudio de los virus del suelo

Explorar los virus del suelo no es sencillo. Muchos de ellos no pueden cultivarse en el laboratorio y su información genética suele aparecer fragmentada. Aun así, hoy en día contamos con varias técnicas de análisis que, combinadas, están permitiendo descubrir este mundo oculto. Entre estas técnicas se encuentran las siguientes:

Metagenómica de ADN: leer el material genético directamente del suelo

Esta técnica permite analizar todo el ADN presente en una muestra de suelo sin necesidad de cultivar los organismos. Gracias a ella, se han descubierto miles de virus desconocidos y genes que sugieren su participación en el reciclaje del carbono y los nutrientes. No obstante, detecta con mayor facilidad los virus de ADN que los de ARN.

Metatranscriptómica y análisis del viroma: saber quién está activo

Para identificar virus de ARN y aquellos que están en plena actividad, se estudia el ARN presente en el suelo o se separan las partículas virales antes del análisis. Esto permite reconocer qué virus están infectando en ese momento y qué genes utilizan durante la infección, información que resulta clave para entender su impacto en el funcionamiento del suelo.



¿A quién infectan? Pistas desde CRISPR

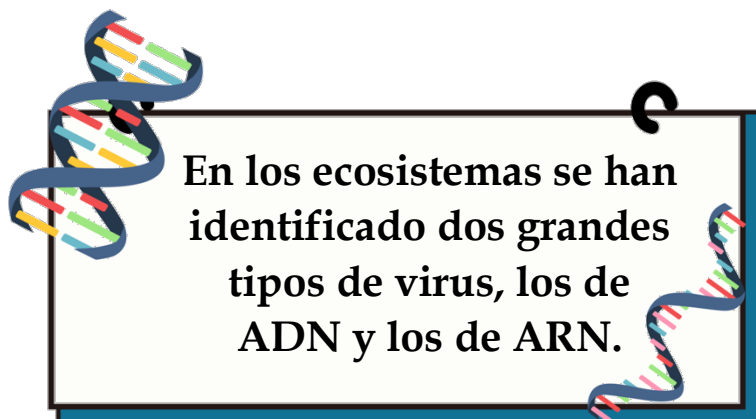
Las bacterias y las arqueas poseen un sistema de defensa llamado CRISPR, que funciona como una memoria genética. Cuando un virus las ataca, guardan pequeños fragmentos de su material genético. Si el mismo virus regresa, pueden reconocerlo y defenderse. El análisis de estos registros permite identificar qué virus han infectado a qué microorganismos.

Herramientas bioinformáticas: organizar la información

Existen programas informáticos especializados que ayudan a identificar, clasificar y evaluar la calidad de los genomas virales encontrados. Además, al comparar bases de datos de distintos países, es posible hacerse una idea de la enorme diversidad viral del suelo y comprender cuánto nos queda por aprender y descubrir.

Microscopía y nuevas tecnologías

La microscopía electrónica permite observar directamente partículas virales, aunque el suelo es un entorno complejo. En un futuro cercano, las técnicas de secuenciación más avanzadas ayudarán a reconstruir genomas más completos y a comprender con mayor precisión las relaciones entre virus y microorganismos.



Conclusión

La virósfera del suelo constituye un universo microscópico poco explorado, pero vital para el mantenimiento de la vida en la Tierra. Comprender el papel de los virus del suelo tiene implicaciones tanto ecológicas como prácticas en la producción de alimentos, en la salud del suelo y en la estabilidad de los ecosistemas y sus poblaciones, incluida la humana.

Diversos estudios han demostrado que tanto la biodiversidad como el contenido de carbono orgánico del suelo han disminuido debido a las prácticas agrícolas intensivas, por lo que es urgente ampliar nuestros conocimientos y capacidad de manejo de estos componentes invisibles. Entender la virósfera nos invita a cambiar nuestra percepción de los virus, ya que estos no solo son una amenaza, sino que también son guardianes invisibles que sostienen la salud de los ecosistemas.



Literatura recomendada

- Cruz-O'Byrne, R., Piraneque, N. V., & Aguirre, S. E. (2023). Virus del suelo y su rol en la microbiología ambiental. En *Introducción a la biología y microbiología de suelos* (pp. 55-60). Editorial Unimagdalena.
- Paez-Espino, D., Eloie-Fadrosch, E. A., Pavlopoulos, G. A., Thomas, A. D., Huntemann, M., Mikhailova, N., Rubin, E., Ivanova, N. N., & Kyrpides, N. C. (2016). A global atlas of soil viruses reveals unexplored biodiversity and potential biogeochemical impacts. *Science*, 354(6317), aaf4509. <https://doi.org/10.1126/science.aaf4509>



Semblanzas de autores

Jessica E. Martínez-Vázquez. Estudiante de Doctorado en Ciencias en Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo. Ramos Arizpe, Coahuila de Zaragoza.

Fabian Fernández-Luqueño. Investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN - Departamento de Biotecnología y Bioingeniería: Ciudad de México, México. Adscrito a los Programas de Maestría en Ciencias y Doctorado en Biotecnología y Bioingeniería, Doctorado en Ciencias en Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad y Doctorado en Ciencias en Nanociencias y Nanotecnología.

Ana Margarita Rodríguez-Hernández. Investigadora Asociada C del Departamento de Biociencias y Agrotecnología en el Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila de Zaragoza.



Del 5 al 9 de octubre de 2026
¡Los esperamos en Puebla!
Complejo Cultural Universitario

"50 años de raíces... Entramando los Suelos del mañana"