

## Olores bacterianos: una forma de comunicación

*Mamá, ¿por qué huele tan mal el frigorífico?*



Fotografía de Viviane Perraudin

**Laure Weisskopf, Mout De Vrieze y Floriane L'Haridon**

Departamento de Biología, Universidad de Friburgo, Suiza

## Olores bacterianos: a forma de comunicación

### Sinopsis

La comunicación, es decir, el intercambio de información, es la base de las interacciones entre los organismos vivos. El lenguaje universal que utilizan todos los organismos para comunicarse no es el habla, sino el intercambio de señales químicas. Algunas de estas señales tienen la particularidad de transmitirse a través del aire de un organismo a otro: son los llamados compuestos "volátiles", comúnmente conocidos como "olores". Las bacterias establecen relaciones mutualistas con las plantas y los compuestos volátiles desempeñan un papel importante en el mantenimiento de esta buena relación. Cuando las plantas perciben olores bacterianos, producen más raíces, crecen mejor y son más capaces de soportar muchas tensiones ambientales, como la sequía o el calor. Los olores bacterianos también actúan como señales de advertencia para las plantas, ayudándolas a defenderse de enemigos naturales, como los hongos que causan enfermedades y pérdidas significativas de cosechas. Proteger nuestra salud y garantizar una producción alimentaria sostenible requiere una agricultura respetuosa con el medio ambiente. El uso de bacterias y sus compuestos volátiles es una alternativa prometedora al uso de fertilizantes y pesticidas sintéticos, ya que estos volátiles bacterianos son naturalmente degradables y no se acumulan en el suelo ni son arrastrados por el agua de lluvia hacia nuestros niveles freáticos, ríos y lagos.

### La microbiología y el contexto social

*La microbiología:* Metabolismo bacteriano; fermentaciones; metabolitos secundarios; compuestos volátiles; ecología química; interacciones planta-microbio; rizo bacterias promotoras del crecimiento de las plantas; síntesis de fitohormonas por bacterias; control biológico; biopesticidas; reciclaje de materia orgánica. Cuestiones de sostenibilidad: producción sostenible de alimentos; protección sostenible de los cultivos; protección del agua y del suelo; protección de la salud humana y animal; biodiversidad microbiana; reducción de los gases de efecto invernadero.



### Olores bacterianos: La Microbiología

1. *¿Qué es un olor?* Como bien lo expresó Patrick Süskind, "nuestro lenguaje no sirve para describir el mundo de los olores". Sin embargo, vamos a intentar descifrar este complejo y sutil mundo de los olores, y en particular el origen microbiano de algunos de ellos. ¿Qué es un olor? El olor que percibimos es generado por uno o más Moléculas con propiedades químicas especiales: el pequeño tamaño y hidrofóbico La naturaleza (grasa) de estas moléculas llamadas compuestos "volátiles" les permitieron ser transportado por vía aérea. Algunas de estas sustancias volátiles son reconocidas por las células sensoriales de nuestras fosas nasales, de modo que detectamos un olor particular, que puede ser agradable o desagradable, y que, por tanto, transmite información: en el ejemplo del frigorífico mencionado anteriormente, la madre, alertada por su hijo, identificará el pescado en descomposición como la fuente del mal olor. Este olor sirve de señal a los seres humanos y a los animales, cuyo sentido del olfato suele estar mucho más desarrollado que el nuestro y es una advertencia para no comer alimentos que desprendan ese olor. Por otro lado, el olor a queso -que también puede ser fuerte- en el mismo frigorífico desencadenará una reacción completamente diferente. Por tanto, somos capaces de discriminar entre la información transmitida por estos dos tipos de olores y adaptar nuestro comportamiento en consecuencia. ¿Por qué huelen tan diferente el pescado y el queso? Para responder a esta pregunta, primero debemos entender de dónde provienen los olores de estos alimentos...

2. *Muchos olores provienen de la actividad de las bacterias.* Cuando imaginamos olores, podemos pensar en el aroma de las flores, el olor del bosque o el de la hierba recién cortada. Todos estos olores son producidos por las plantas tienen una función biológica especial, por ejemplo, para atraer a los insectos polinizadores o para advertir a las plantas vecinas de un peligro inminente para que puedan defenderse. ¿Qué sucede con el pescado o el queso de nuestro frigorífico? En este caso, a diferencia de lo que ocurre en las plantas, los olores ya no son los del animal vivo (el pescado) o del producto básico (la leche), sino que proceden de la actividad de las bacterias que se alimentan de estos alimentos y los procesan. En el caso del pescado, el olor muy fuerte proviene de la descomposición de los restos del animal. Proteínas. Las bacterias utilizan estas proteínas como fuente de alimento y las fermentan, liberando sustancias tóxicas y compuestos volátiles con un olor muy fuerte que los animales y nosotros hemos aprendido a detectar para no intoxicarnos con alimentos en mal estado. En cuanto al queso, también es un producto que ha sido transformado por la acción de las bacterias, pero aquí se utilizan como fuente de alimento los azúcares de la leche, no las proteínas. Este proceso de fermentación bacteriana que transforma la leche en queso hace que este producto sea comestible para nosotros y, por lo tanto, lleva consigo un olor que asociamos con una buena comida. Cabe señalar aquí que el mismo olor puede ser repulsivo para un organismo, pero atractivo para otro: nos parece muy desagradable el olor del pescado descompuesto, por ejemplo, pero el mismo olor será atractivo para las moscas y les servirá de guía para encontrar la fuente de alimento. Esta diferencia de percepción es válida para muchos olores generados por la actividad bacteriana, desde el compost hasta el estiércol y el estiércol de vaca: tantos olores que nos resultan desagradables pero que atraen a las moscas y otros insectos que se alimentan de estos desechos vegetales o animales. De este modo, participan en el trabajo incansable de las bacterias que desempeñan el papel de recolectoras de basura y recicladoras de residuos en nuestro planeta. Esta labor bacteriana esencial permite a las plantas, que están en la base de toda nuestra cadena alimentaria, encontrar en el suelo los nutrientes que necesitan para crecer. Las bacterias son, por tanto, verdaderas aliadas de las plantas y los dos tipos de organismos mantienen una relación mutuamente beneficiosa, en la que los olores bacterianos desempeñan un papel fundamental.

3. *Los olores bacterianos estimulan el crecimiento de las plantas.* A primera vista,

## Un marco de educación en microbiología centrado

parece extraño pensar que las plantas puedan detectar olores bacterianos, ya que no tienen nariz para olerlos. Sin embargo, las moscas tampoco tienen nariz y, sin embargo, utilizan estas señales volátiles para encontrar su alimento, como acabamos de ver. Por lo tanto, debemos creer que los olores pueden entrar en el cuerpo de los insectos por otros medios que no sean la nariz, y ahora sabemos que las plantas también pueden integrar estas pequeñas moléculas en sus raíces y hojas y adaptar su comportamiento en consecuencia, por ejemplo aumentando su crecimiento.

Para entender el papel de estos olores bacterianos en la relación entre la planta y las bacterias, primero debemos saber que en la naturaleza, las plantas no viven solas, sino que están colonizadas por muchas bacterias beneficiosas, que viven en el suelo que las rodea, en sus raíces o incluso en sus hojas. Estas bacterias, a diferencia del ejemplo de los peces mencionado anteriormente, no degradan las plantas sino que viven del exceso de alimento que la planta produce a través de fotosíntesis. A cambio, las bacterias emiten compuestos volátiles que ayudan a la planta a adquirir lo que no puede fabricar por sí misma, es decir, los elementos minerales. Por ejemplo, el hierro suele estar presente en el suelo en forma insoluble y los volátiles bacterianos pueden hacerlo más soluble y, por tanto, aumentar su disponibilidad para las plantas. Del mismo modo, las plantas pueden absorber volátiles que contienen azufre emitidos por las bacterias y utilizarlos como fuentes de azufre para su crecimiento. Además, algunos olores bacterianos también actúan como hormonas naturales de crecimiento e indican a la planta que debe producir más raíces (Figura 1). Esta proliferación de raíces beneficia a la planta, que crecerá mejor y será más capaz de soportar la sequía y otros estreses ambientales, pero también beneficia a las bacterias, porque la planta alimenta a sus habitantes bacterianos a través de las raíces secretando moléculas orgánicas producidas por la fotosíntesis y que la mayoría de las bacterias necesitan.



*Figura 1: Las bacterias que viven en el suelo y en las hojas emiten compuestos volátiles beneficiosos para el crecimiento de las plantas. Ilustración de Viviane Perraudin.*

4. **Los olores bacterianos protegen la salud de las plantas.** Si bien una amplia gama de bacterias beneficiosas para las plantas, otras bacterias y muchos hongos, comúnmente

## Un marco de educación en microbiología centrado

conocidos como patógenos, amenazan la salud de las plantas. Estos organismos patógenos provocan enfermedades que debilitan las plantas e incluso pueden matarlas en algunos casos. Esto plantea graves problemas cuando se trata de árboles centenarios o cultivos agrícolas necesarios para alimentar a la población humana. Sin embargo, las plantas no están indefensas; como nosotros, tienen un sistema inmunológico que las ayuda a combatir las enfermedades. Sin embargo, ciertos olores emitidos por bacterias beneficiosas que viven en las raíces, el suelo circundante o en las partes aéreas de las plantas, pueden estimular el sistema inmunológico de las plantas y advertirles de un posible peligro. Esto permite que la planta se prepare con anticipación y se defienda mejor cuando sea atacada por un hongo patógeno. Además de estimular el sistema inmunológico de la planta, los olores bacterianos también tienen otros efectos,

formas más directas y poderosas de proteger a las plantas de sus enemigos: algunos de estos olores son Armas químicas reales, que, aunque no afectan a las plantas, son altamente tóxicas para sus enemigos. Las bacterias, que reciben refugio y alimento de las plantas, también pueden actuar como pequeños soldados dispuestos a defender su planta huésped emitiendo olores específicos que repelerán a los enemigos de la planta que se acerquen (Figura 2).



Figura 2: Las bacterias que viven en el suelo emiten compuestos volátiles que ayudan a la planta a defenderse de los organismos patógenos. Ilustración de Viviane Perraudin.

5. **Los olores bacterianos como medio de comunicación a larga distancia.** Para nosotros, los seres humanos, la comunicación es principalmente verbal o gestual. También entendemos a nuestros animales de compañía por los ruidos que hacen o por su comportamiento. Pero más allá de estas dos formas de expresión, existen muchos otros medios de comunicación entre los seres vivos desde el principio de la evolución. El lenguaje de la química, es decir, el intercambio de señales químicas, es sin duda el medio de comunicación ancestral y más utilizado en los diferentes reinos del mundo viviente. Las bacterias han desarrollado todo un lenguaje de comunicación química que les permite interactuar entre sí, con las plantas y con los animales. Dentro de este vocabulario extenso, los olores y en sentido amplio los compuestos volátiles- tienen una propiedad particular: pueden emitirse y "oírse" o percibirse a mayor distancia que los compuestos no volátiles. Nos resulta muy útil poder



## Un marco de educación en microbiología centrado

detectar si un alimento todavía es comestible o no antes de llevárnoslo a la boca. Del mismo modo, es mucho más eficaz proteger una planta repeliendo a sus enemigos antes de que lleguen a ella, lo que sólo es posible con los compuestos volátiles. La acción de estos olores es, por tanto, más amplia que la de otras señales químicas no volátiles. En algunos ambientes, las plantas están alejadas unas de otras y las partes aéreas o radiculares del suelo, formadas por partículas del suelo, están separadas por el aire. La emisión de compuestos volátiles suele ser la única vía para llegar a otros organismos que comparten el mismo ambiente sin estar físicamente unidos entre sí.

6. *¿Cómo se pueden aprovechar los olores bacterianos para preservar el medio ambiente?* Como hemos visto, los olores bacterianos mejoran el crecimiento de las plantas (aumentando el crecimiento de las raíces y la biomasa en general), la resistencia a diversos estreses, como la sequía o la salinidad, y la resistencia a las enfermedades. Todas estas propiedades son de gran importancia agronómica y ecológica. En efecto, para aumentar el crecimiento de las plantas, todavía recurrimos con frecuencia a fertilizantes minerales, cuya producción provoca la emisión de gases de efecto invernadero y contamina nuestras aguas y suelos. Para proteger los cultivos contra las enfermedades, la agricultura utiliza productos fitosanitarios, que la mayoría de las veces son o bien moléculas sintéticas de difícil degradación biológica y que suelen tener efectos nocivos para el medio ambiente y la salud humana, o bien metales como el cobre que se acumulan en el suelo y perturban la vida de la fauna y la microflora. En este sentido, sustituir al menos una parte de estos productos por alternativas basadas en el uso de compuestos emitidos naturalmente por las bacterias, y que actúan a gran distancia debido a su naturaleza volátil, parece un planteamiento prometedor para proteger la salud del medio ambiente y de las generaciones futuras.

### Relevancia para el desarrollo sostenible: Metas y grandes desafíos

- **Objetivo 2: Hambre cero: *Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición y promover agricultura sostenible.*** Los microorganismos están presentes de forma natural en los suelos. Los compuestos volátiles producidos por estos microorganismos pueden promover el crecimiento de las raíces de las plantas, lo que les permite absorber más agua y nutrientes. Como resultado, las plantas producirán más hojas, flores o frutos y serán más resistentes a las condiciones ambientales estresantes, como la sequía. Mantener y estimular la vida microbiana (y, por lo tanto, la producción de compuestos volátiles) puede contribuir a una producción de alimentos que requiera menos insumos y sea más sostenible.

- **Objetivo 3: Buena salud y bienestar: *Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos.*** Siglos el uso masivo de pesticidas en la producción agrícola supone un grave riesgo para la salud de todos. Cuando se tratan los cultivos con pesticidas, una cierta cantidad de éstos llega a las partes comestibles del cultivo y puede quedar adherida a ellas, y una parte puede ser absorbida y transportada por la planta. Como resultado, los consumidores que consumen estos alimentos también ingieren residuos de pesticidas, incluso si se han tomado la molestia de lavarlos. La sustitución de los pesticidas por compuestos volátiles bacterianos reduciría los residuos de pesticidas en los alimentos, ya que los compuestos volátiles, debido a sus propiedades químicas, tendrían menos probabilidades de depositarse en los alimentos y permanecer adheridos a ellos.

- **Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento: *Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible***

## Un marco de educación en microbiología centrado

*del aguay saneamiento para todos.* Otra consecuencia del uso masivo de pesticidas es la acumulación de residuos de pesticidas en el suelo. Durante las fuertes lluvias, estos residuos son transportados por el agua de lluvia a las aguas subterráneas, ríos y lagos. Estos residuos también pueden encontrarse en el agua corriente que sale de los grifos de nuestras casas. Los compuestos volátiles tendrán menos probabilidades de acumularse en el suelo y tampoco serán arrastrados -o muy poco- por el agua de lluvia. La exposición repetida a cócteles de residuos de pesticidas transportados por el agua potable pone en riesgo nuestra salud. Sustituir estos pesticidas por compuestos volátiles o por bacterias que produzcan compuestos volátiles evitaría la acumulación de residuos de pesticidas en los suelos y su paso al agua potable.

- **Objetivo 12: Consumo y producción responsables: *Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.*** la población mundial continúa creciendo y con ella la presión para producir más alimentos mientras no aumente la superficie cultivable disponible. Actualmente, la producción de materias primas y alimentos se basa principalmente en el uso masivo de fertilizantes y pesticidas. Una solución alternativa podría ser el uso de compuestos volátiles bacterianos, que tienen propiedades tanto fertilizantes (estimulando el crecimiento de las plantas) como pesticidas (controlando los enemigos de las plantas y estimulando las defensas naturales de las plantas). Los compuestos volátiles bacterianos son, por tanto, una alternativa interesante a los fertilizantes y pesticidas, ya que son más respetuosos con el medio ambiente.

- **Objetivo 13: Acción climática: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos la huella de carbono de la producción de fertilizantes nitrogenados sintéticos para la agricultura representa el 1,2% de las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidos por la actividad humana.** Además, el uso de estos fertilizantes también genera la emisión de óxido nítrico (N<sub>2</sub>O), un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y al deterioro de la capa de ozono de nuestro planeta. Los fertilizantes químicos también son una fuente de contaminación para arroyos, ríos y lagos cuando se aplican en exceso o en el momento inadecuado. La acumulación de nutrientes en el agua puede provocar una proliferación masiva de algas que asfixiarán los ecosistemas acuáticos, un fenómeno llamado eutrofización. Algunos compuestos volátiles producidos por bacterias del suelo podrían usarse como alternativa a los fertilizantes químicos. Estos compuestos son producidos naturalmente por las bacterias del suelo y no sintetizados químicamente. Por lo tanto, reemplazar al menos una parte de los fertilizantes con volátiles bacterianos reduciría la huella de carbono de la agricultura, así como la emisión de gases de efecto invernadero.

- **Objetivo 15: Vida en tierra: *Proteger, restaurar y promover sostenible usar de terrestre ecosistemas***  
*gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.* El uso de bacterias y sus compuestos volátiles como alternativa a los pesticidas contribuye indirectamente el mantenimiento de la salud ambiental, ya que estas estrategias de protección de cultivos serán menos dañinas para las abejas y otros organismos que brindan servicios ecosistémicos clave. Además, un suelo libre de bacterias, hongos y otros microorganismos es un suelo desprovisto de plantas, que se vuelve muy susceptible a la erosión por el viento y la lluvia, y en consecuencia a la desertificación. Al estar anclados en el suelo, los sistemas de raíces de las plantas mantienen el suelo en su lugar, y los tallos y las hojas de las plantas cubren su superficie. De esta manera, protegen el suelo contra las lluvias torrenciales y los fuertes vientos que degradarían gradualmente el suelo desnudo. Los microorganismos del suelo actúan como pequeños trabajadores agrícolas y son en gran parte responsables de suministrar nutrientes al suelo. Los volátiles bacterianos desempeñan un papel esencial, ya que, al difundirse entre las partículas

## **Un marco de educación en microbiología centrado**

del suelo, regulan las interacciones de corta y larga distancia entre los diferentes microorganismos que viven en el suelo y aseguran la comunicación entre microorganismos y plantas.

### **Posibles implicaciones para las decisiones**

#### ***1. Individual***

a. Protección de la salud. Prestar atención a los olores de los alimentos antes de consumirlos para detectar posibles contaminaciones por microorganismos pueden ayudar a proteger su salud y la salud de quienes le rodean.

b. La elección del consumidor. La agricultura respetuosa con el medio ambiente promueve la actividad microbiana en el suelo, incluida la emisión de volátiles bacterianos que estimulan el crecimiento y protegen la salud de las plantas. Consumir alimentos producidos de esta manera ayuda a proteger el medio ambiente y a apoyar los objetivos de desarrollo sostenible.

c. Mantenimiento de espacios privados. Además de la agricultura profesional, el mantenimiento de espacios verdes y jardines privados también contribuye de forma significativa a la contaminación ambiental: optar por abonos orgánicos (por ejemplo, compost), mantener la cobertura del suelo y no utilizar pesticidas en el propio jardín es una contribución local para preservar la salud humana y ambiental a escala global.

#### ***2. Por empresas distribuidoras***

a. Adaptación de la oferta de productos en los comercios. La elección por parte del consumidor de alimentos procedentes de una producción más o menos sostenible dependerá en gran medida de la elección que le ofrezcan las empresas de distribución y venta. Optar por una mayor oferta de productos de producción sostenible y por unos precios competitivos para los mismos es una forma eficaz de promover la salud humana y medioambiental.

b. Informar a los consumidores sobre cómo se producen los alimentos y otros bienes. Para que los consumidores puedan elegir los productos con conocimiento de causa, la información sobre los métodos de producción, así como sobre la demanda energética y el impacto ambiental, debe facilitarse de forma clara y transparente.

#### ***3. Por las comunidades y autoridades públicas***

a. Mantenimiento de espacios públicos. Al mantener sus numerosos espacios, parques y jardines de forma que se preserve la vida microbiana del suelo, las autoridades públicas pueden realizar una importante contribución a la reducción de residuos de plaguicidas en el suelo y el agua y mejorar la salud humana al tiempo que protegen el medio ambiente.

b. Financiación de la investigación. Numerosos avances científicos y técnicos en el ámbito de la agricultura han sido financiados o cofinanciados por empresas productoras de fertilizantes y plaguicidas. Para promover la aplicación práctica y la explotación del potencial de los microorganismos y sus compuestos volátiles para mejorar la sostenibilidad de la agricultura, es necesario financiar la investigación en este campo.

c. Adaptación de las disposiciones legales relacionadas con la autorización de uso de nuevos productos. Antes de poder aplicar los volátiles bacterianos o las bacterias que los producen como alternativas a los fertilizantes y pesticidas, es necesario realizar estudios sobre el impacto de estos nuevos productos, que sirvan de base para autorizar su uso. En la actualidad,



## Un marco de educación en microbiología centrado

este proceso de registro es muy costoso, lo que impide que muchos compuestos y organismos prometedores encuentren su camino hacia la práctica. Mejorar el marco legal que rige estas solicitudes de autorización para facilitar y acelerar el proceso es un paso importante hacia una agricultura más sostenible.

### Participación de los alumnos

#### 1. Clase *Discusiones*

a. Discusión sobre la naturaleza y el origen de diferentes olores relacionados con la actividad microbiana. (chucrut, yogur, queso, tierra, compost, estiércol, pero también alimentos en mal estado).

#### 2. *Concienciación de los alumnos sobre las partes interesadas*

a. Reflexión sobre las ventajas y desventajas del uso de volátiles emitidos por bacterias en la agricultura. Discusión sobre cómo superar las desventajas inherentes al uso de volátiles bacterianos.

b. Reflexión sobre lo que cada uno puede hacer personalmente para promover el desarrollo sostenible aprovechando las bacterias y sus compuestos volátiles.

La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos

de Vrieze J., 2015 Los peones más pequeños. *Ciencia*. 349:680–3. doi: 10.1126/ciencia.349.6249.680

Garbeva, P.; Weiskopf, L. Medicina aerotransportada: compuestos volátiles bacterianos y su influencia en la salud de las plantas. *New Phytol.* 2020, 226, 32–43, doi:10.1111/nph.16282.

Kanchiswamy, CN; Malnoy, M.; Maffei, ME Bioprospección de volátiles bacterianos y fúngicos para la agricultura sustentable. *Trends Plant Sci.* 2015, 20, 206–211, doi:10.1016/j.tplants.2015.01.004. Nørskov, J.; y Chen, J., 2016. Síntesis sostenible de amoníaco: mesa redonda. Departamento de Energía de Estados Unidos.

Süsking, P, 1985. *Le parfum, l'histoire d'un meurtrier* Paris (ISBN 978-2-87809-188-5).

Weiskopf, L.; Schulz, S.; Garbeva, P. Compuestos orgánicos volátiles microbianos en interacciones intrarreinos e interreinos. *Nat. Rev. Microbiol.* 2021 en prensa.

## Un marco de educación en microbiología centrado

### Glosario

**Moléculas:** varios átomos unidos entre sí por enlaces químicos para formar un compuesto estable.

**Hidrofóbico:** no miscible en agua.

**Bacterias:** organismos unicelulares microscópicos.

**Proteínas:** moléculas de gran tamaño formadas por varias unidades de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos. **Fermentación:** proceso metabólico que permite, en ausencia de oxígeno, transformar una fuente de alimento en energía.

**Fotosíntesis:** proceso mediante el cual las plantas, las algas y ciertas bacterias utilizan la energía del sol para producir sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono presente en la atmósfera.

**Patógeno:** organismo capaz de causar enfermedades en otros organismos.

**Efecto invernadero:** fenómeno natural por el cual la atmósfera filtra y retiene cierta cantidad de radiación luminosa que es captada por la superficie terrestre y liberada en forma de calor, manteniendo así una temperatura óptima para la supervivencia de las especies.

**Gases de efecto invernadero:** gases que aumentan la capacidad de la atmósfera para atrapar la radiación de la Tierra, lo que provoca un calentamiento de la temperatura de la Tierra y el consiguiente cambio climático.