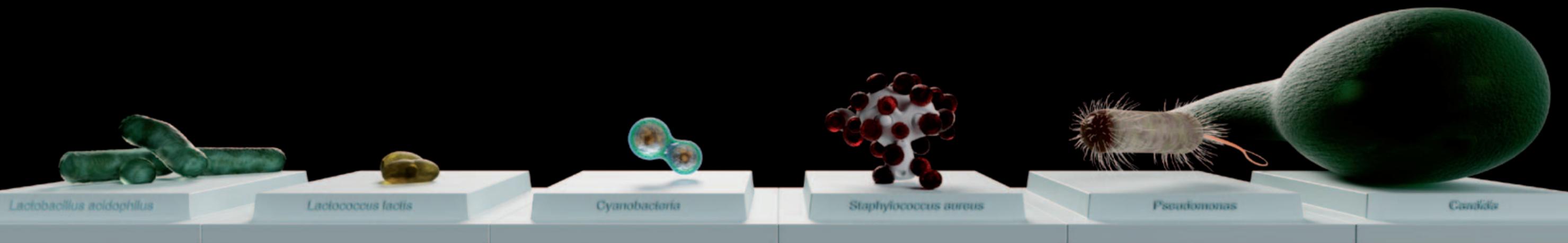


## LOS GOBERNANTES SECRETOS DEL MUNDO



# NACIMIENTO DE LA VIDA EN LA TIERRA

La Tierra se formó hace cuatro mil quinientos millones de años. En aquel momento, el planeta estaba constituido por gas y polvo. Con el tiempo, la Tierra se enfrió, se formó una corteza y se acumuló agua. Hace tres mil quinientos millones de años se originó el primer organismo vivo. Se desconoce cómo surgió. Los compuestos químicos se agruparon y a partir de ellos se formó un organismo constituido por una sola célula viva. Esta célula se dividió y nació otro organismo unicelular. Los seres vivos pequeños, como éstos, se llaman microorganismos porque son tan diminutos que no podemos verlos a simple vista. Probablemente, la vida se originó en el agua. Porque incluso hoy en día las formas de vida más antiguas siguen siendo organismos unicelulares que viven en los alrededores de manantiales termales, tales como las fumarolas del fondo marino.

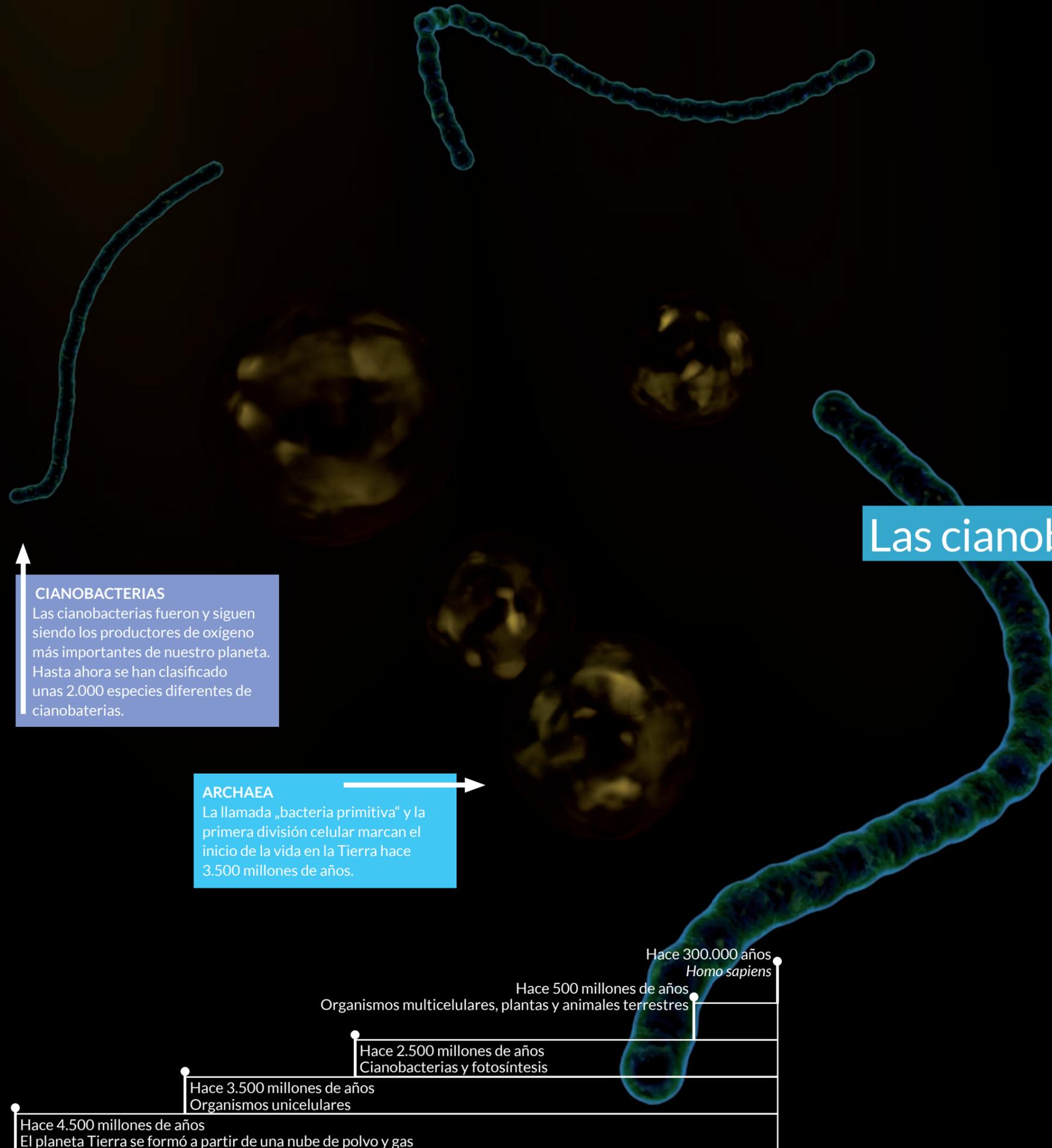
## Las cianobacterias „inventaron“ la fotosíntesis

Mil millones de años después de la aparición del primer organismo unicelular, se produjo el siguiente paso crucial para la vida en la Tierra: las cianobacterias produjeron azúcar y oxígeno, utilizando un poco de agua, un poco de gas del entorno y la ayuda de la luz solar. Con ello se „inventó“ la fotosíntesis. Las cianobacterias eran ahora capaces de producir su propio alimento. Con el tiempo, el oxígeno formado por las cianobacterias se acumuló en la atmósfera. Así se originó una de las bases más importantes para el desarrollo de la vida: el aire que respiramos, y del que depende nuestra existencia.

### FANTÁSTICO

Las cianobacterias fueron las primeras productoras de oxígeno. Necesitan la luz solar para la fotosíntesis. Probablemente por este motivo, las cianobacterias pueden percibir la luz. Cómo lo consiguen ha sido un misterio por descubrir durante mucho tiempo. Las cianobacterias tienen un diámetro de 3 micrómetros, es decir, 3 millonésimas de metro. No existen instrumentos ópticos lo suficientemente pequeños para medir la refracción de la luz en las bacterias. Los investigadores utilizaron un truco. De forma resumida, midieron la refracción de la luz alrededor de las bacterias. Y descubrieron que, aunque la bacteria consta de una sola célula, esta única célula funciona en realidad como un ojo. La luz entra a través de una diminuta lente, justo enfrente suya se activan los filamentos de locomoción y la bacteria puede desplazarse hacia la fuente de luz.

Estudio  
Schuergers N. et al. (2016)  
Cyanobacteria use micro-optics to sense light direction.  
<https://doi.org/10.7554/eLife.12620>



## Los microorganismos producen OXÍGENO en el agua

Sin microorganismos, no habría vida en el planeta Tierra. A día de hoy, nuestra vida depende de estos organismos acuáticos pues producen la mayor parte del oxígeno.



## Algas - las LIMPIADORAS

Las algas pueden absorber el nitrógeno y el fosfato de las aguas residuales. Para ello sólo necesitan luz solar y dióxido de carbono. Durante el proceso de depuración, las algas producen oxígeno. Y, por supuesto, crecen. Las algas aumentan su biomasa y a partir de ella, se puede producir biocombustible. Es una situación en la que todos salen ganando.

## Las algas como RECURSO

Las algas producen una gran variedad de sustancias, por lo que se investiga su uso como materia prima sostenible. Son ricas en minerales y vitaminas, y aportan grasas, tales como los ácidos grasos omega-3, que son muy saludables. Las algas se multiplican rápidamente y producen 30 veces más aceite que la colza o el maíz.

*Emiliania huxleyi* es un alga que forma parte del fitoplancton calcáreo. La célula del alga está rodeada de unas plaquetas calcáreas. Ciertas rocas calizas, como la tiza, suelen estar compuestas en gran parte por fitoplancton calcáreo. Por tanto, cuando escribimos con tiza en una pizarra, básicamente estamos escribiendo con algas.



### ÚNICO

Las algas producen aceite. Sin embargo algunas algas en particular pueden producir aceites muy especiales, denominados n-alcenos. Una microalga muy peculiar llamada *Dicrateria rotunda* tiene gotas de este aceite, con una longitud de cadena de 10-38, en sus cavidades. Esta es la misma longitud de cadena que tiene el petróleo. *Dicrateria rotunda* es el primer organismo conocido capaz de producir petróleo.

Estudio  
Harada N. et al. (2021)  
A novel characteristic of a phytoplankton as a potential source of straight-chain alkanes.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-93204-w>

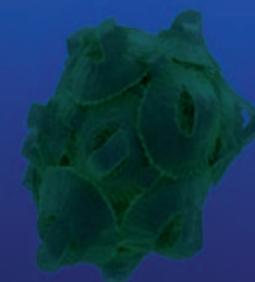
## EL MICROBIOMA en el mar

### Las algas se mantuvieron aisladas durante mucho tiempo

Durante los siguientes millones de años, los organismos pluricelulares como las algas evolucionaron. Las algas tienen un núcleo en sus células para proteger su información genética. Probablemente se fusionaron con las cianobacterias, y así pudieron realizar la fotosíntesis. Las algas han sido los únicos organismos en la Tierra similares a las plantas durante unos dos mil millones de años.

### El ecosistema marino es esencial para LA VIDA EN LA TIERRA

El 70% de la Tierra está cubierta de agua. Los pastos marinos y las algas pueden almacenar 20 veces más carbono que los bosques terrestres. Esto los convierte en un factor clave en la lucha contra la crisis climática. Sin embargo, en caso de que se siga destruyendo el hábitat marino y, por tanto, se libere parte del carbono allí almacenado, cabe esperar que se produzcan enormes aportaciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera terrestre. La vida se originó en el mar, y sin los mares no habrá vida en la Tierra en el futuro.



*Gephyrocapsa oceanica*

## Los microorganismos constan de una sola o de unas pocas células

Llamamos microorganismos a los organismos más pequeños, sencillamente porque son muy pequeños. Los microorganismos incluyen las bacterias, los protozoos, las arqueas, los hongos y las microalgas.

## Cada organismo forma una unidad con su microbioma

Por microbioma se entiende el conjunto de todos los microorganismos que colonizan un hábitat concreto, por ejemplo, la piel humana, las hojas de una planta o las raíces de una determinada especie vegetal en el suelo. Un microbioma es una comunidad viva, muy compleja y diversa. El microbioma más conocido es el del intestino humano.

### SOBRESALIENTE

Es difícil calcular cuántas especies diferentes de bacterias, de hongos y de algas viven en nuestro planeta. Sin embargo, existen las llamadas leyes de escala que pueden utilizarse para calcular la diversidad de las especies. En 2016, los científicos aplicaron estas leyes de escalado también a los microorganismos, y calcularon que en nuestro planeta podría haber 1 billón de microorganismos. Un millón de millones de especies diferentes. De ellas, a día de hoy se han catalogado 10 millones. Unas 10.000 pueden cultivarse en el laboratorio.

Estudio  
Locey K. J. et al. (2016)  
Scaling laws predict global microbial diversity.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1521291113>

## La biodiversidad es la base de unos sistemas ecológicos robustos

Aunque los humanos seamos técnicamente avanzados, dependemos de la naturaleza y de toda su diversidad. Esta diversidad incluye también a los más pequeños: los microorganismos. Los microorganismos se encuentran por todas partes: en el aire, en el suelo y en el agua. Las plantas, los animales y los seres humanos también están poblados por ellos. Cada planta y cada animal es el hábitat de millones y millones de microorganismos. Cuanto mayor es la biodiversidad de plantas y animales, mayor es también la biodiversidad de los microorganismos que los colonizan. Si una especie vegetal o animal se extingue, con ella también desaparecen miles de microorganismos, muchos de los cuales son aún desconocidos. Existen miles de millones de especies diferentes, de las que hasta ahora sólo se conoce una mínima parte.

**ecológicos robustos**

## La biodiversidad surgió de los seres vivos más simples

Durante tres mil millones de años, los seres vivos más simples compuestos de unas pocas células poblaron la Tierra. Y en ese momento, hace unos 500 millones de años, de repente todo sucede muy deprisa. En poco tiempo surge un enorme y variado número de especies. Diferentes plantas y animales pueblan la Tierra, y así se forma una variopinta diversidad de especies.

## La diversidad te mantiene sano

El principio fundamental de la naturaleza es: la vida es diversidad. Cuanto más diverso es un hábitat, más sano es. Este principio de la diversidad también se aplica a los sistemas creados por el hombre, como la agricultura. Durante muchos años, el ser humano ha ignorado este principio, alterando así gravemente su equilibrio. Los monocultivos, el exceso de ganadería o el uso de productos químicos son algunas de las razones por las que la diversidad que nos rodea disminuye constantemente, y el planeta ya se enfrenta a sus consecuencias.

## La biodiversidad describe un amplio espectro

La diversidad de especies abarca la variedad de animales, de plantas y de microorganismos. La diversidad genética describe la diversidad dentro de una especie. La diversidad biológica también incluye los hábitats, como los océanos, los prados y los bosques. Los tres ecosistemas se engloban en el término „biodiversidad“.



# EL SUELO ESTÁ PLAGADO DE MICROORGANISMOS

En la zona radicular de una planta conviven billones de microorganismos. Todos los microorganismos de esa comunidad constituyen el microbioma. Cuanto más variados sean sus habitantes, mejor para todas las partes implicadas. Porque en todo microbioma, la diversidad es el factor decisivo para que la coexistencia funcione. Todos los habitantes tienen ciertas tareas que cumplir: los hongos pueden formar filamentos finísimos. Los utilizan para acceder a las zonas más remotas del suelo a las que, de otro modo, las raíces de las plantas serían incapaces de alcanzar. Las bacterias y los hongos del suelo procesan la materia vegetal muerta y, al hacerlo, descomponen sustancias que sirven de alimento a otros organismos. Por su parte, los hongos actúan como transportistas porque pueden absorber nutrientes y entregárselos a las plantas. A cambio, las bacterias y los hongos reciben azúcares procedentes de la fotosíntesis de la planta.

## TODO EL MUNDO SE BENEFICIA DE UN SUELO SANO

Básicamente, las plantas colonizan lugares donde pueden encontrar lo que necesitan para sobrevivir. En agricultura, a menudo hay que adaptar las condiciones porque falta diversidad y el suelo está muy estresado. Para aportar nutrientes al suelo hay que utilizar fertilizantes, pero a menudo éstos sólo son activos durante un corto periodo de tiempo porque son arrastrados por el agua o pierden su eficacia. Un suelo sano con un microbioma intacto puede ayudar a utilizar menos fertilizantes químicos.

## Comunidades hospitalarias en las raíces

Todas las plantas necesitan nitrógeno como alimento. Sin embargo, el nitrógeno suele presentarse en una forma que las plantas no pueden absorber directamente. Pero las bacterias pueden modificar el nitrógeno de tal forma que una planta pueda utilizarlo. Por eso algunas plantas invitan a bacterias a vivir con ellas en la raíz. Establecen una relación simbiótica con las bacterias. Esto se ve bastante bien en el caso de las leguminosas. Estas plantas llegan a formar nódulos que albergan millones de bacterias (llamadas rizobios), donde convierten el nitrógeno para la planta.

### Rhizobium

Las leguminosas forman una relación simbiótica única con las bacterias. El nitrógeno atmosférico se convierte y se almacena en los rizobios. Por eso las leguminosas también se emplean como cultivos intermedios y como abono verde en la agricultura. Cuando la planta muere, su biomasa se incorpora al suelo. De este modo, el nitrógeno, que es tan importante, entra en el suelo y está disponible para las plantas cultivadas posteriormente.

## ENORMES

Las plantas son importantes proveedores de carbono para el suelo. Los organismos del suelo convierten las partes muertas de las plantas en carbono y CO<sub>2</sub>. Pero también los propios organismos del suelo mueren de forma natural. Cuando una bacteria del suelo muere, sus restos son absorbidos por el medio ambiente: alrededor del 10% de la bacteria muerta sirve de alimento a otros microorganismos, alrededor del 50% se convierte en minerales y aproximadamente el 40% del carbono orgánico permanece en el suelo. Las bacterias y los hongos muertos constituyen una gran parte de la materia orgánica del suelo. El suelo es el mayor depósito de CO<sub>2</sub> del mundo. En el suelo se almacenan unos 2.600 miles de millones de toneladas de carbono (el doble que en la atmósfera).

No todos los microorganismos llevan una vida tan cómoda y acogedora como los rizobios en los nódulos en el suelo. Los microorganismos de las hojas de las plantas viven en condiciones más duras. Los cambios rápidos de luz solar, calor, frío, lluvia y viento son duros para ellos. Por eso les gusta vivir en las hendiduras de la superficie de la planta o protegidos por un „paraguas“ en la parte inferior de la hoja. Las bacterias, los hongos y las algas son depositadas en las hojas. A menudo viajan con el viento cientos de kilómetros, desde muy lejos. Las bacterias de las hojas ayudan a la planta a reforzar su sistema inmunitario, protegiéndola de enfermedades. Las plantas que tienen optimizado su microbioma también son más resistentes a factores de estrés, tales como la sequía y la sal.

# Escudos microbianos en una hoja

# Valores internos de una planta

## Sabor debido a las metilobacterias

Los microorganismos más comunes en las hojas son las metilobacterias. También son responsables en parte del sabor de las frutas y las verduras.


 Studie  
 Siegmund B. et al. (2011).  
 Die Bedeutung von Methylobakterien  
 für die Aromabildung von Erdbeeren.  
 Die Ernährung, 35, 149-155

En el interior de una planta hay aún más bacterias que en la superficie de una hoja. Allí pueden acumularse millones de bacterias, pero la cantidad por sí sola no aporta ningún beneficio. La diversidad es más importante que la masa. Al fin y al cabo, muchas bacterias del mismo tipo no mejoran el microbioma. La diversidad de microorganismos que habitan en la planta es fundamental. Todos aquellos microorganismos que combaten enfermedades o proporcionan nutrientes a la planta son especialmente importantes.


 Estudio  
 Shalev, O. et al. (2022)  
 Commensal Pseudomonas strains facilitate protective  
 response against pathogens in the host plant.  
<https://doi.org/10.1038/s41559-022-01673-7>

1 μm

## Los microorganismos producen gas para las PLANTAS DE BIOGÁS

Hasta 200 tipos diferentes de bacterias conviven en el estómago de las vacas. Digieren los alimentos de origen vegetal, pero también durante este proceso producen una gran cantidad de gases. Durante la rumia, los gases (CO<sub>2</sub> y metano) escapan por la boca de la vaca: hasta 200 litros al día.

El gas metano producido por los microorganismos de las vacas no puede ser capturado ni utilizado como energía. Por eso, las plantas de biogás utilizan otros microorganismos similares para producir gas. Estos microorganismos son alimentados con plantas y residuos biológicos, digieren las plantas y producen gas en el proceso.

### GENIAL

Los microorganismos de la vaca pueden digerir casi cualquier cosa, algunos incluso descomponen el plástico. Hasta ahora, estas bacterias siempre se habían estudiado individualmente. Científicos austriacos descubrieron que la degradación del plástico mejora cuando participa todo el microbioma del rumen.

Estudio  
 Quartinello F. et al. (2021)  
 Together Is Better: The Rumen Microbial Community as Biological Toolbox for Degradation of Synthetic Polyesters.  
[https://doi: 10.3389/fbioe.2021.684459](https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.684459)

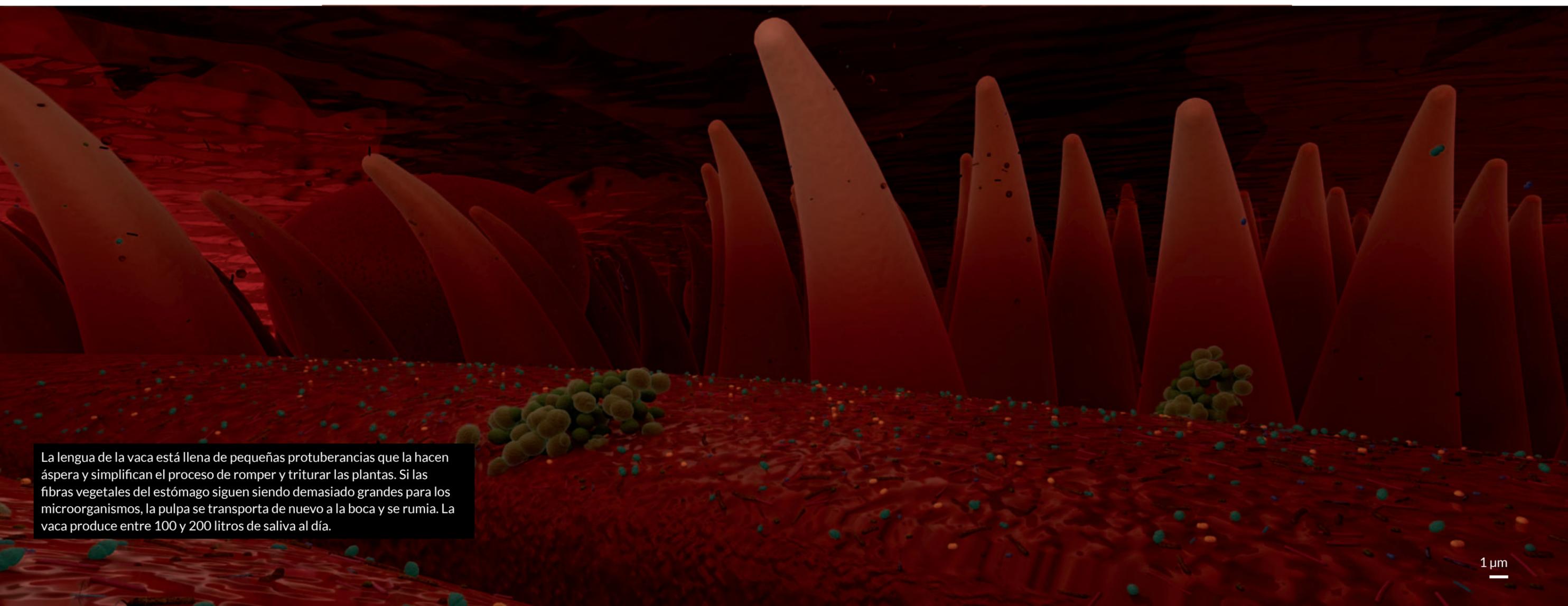
Una vaca es mucho más de lo que podemos ver. Porque cada vaca alberga también billones de bacterias que le ayudan a digerir los alimentos y a mantenerse sana. Sin estas bacterias, la vaca no podría sobrevivir.

## LOS MICROORGANISMOS DIGIEREN EL PIENSO DE LAS VACAS

Muchas de las plantas que come una vaca son en realidad indigestas para ella. La tarea de la digestión la realizan las bacterias que viven en simbiosis con la vaca. Una vez que la vaca se ha tragado un manojo de plantas, las bacterias empiezan a fermentar el alimento, dando lugar a los azúcares nutritivos.

Todo lo que no puede ser descompuesto por las bacterias vuelve a la boca, donde se saliva con energía y se rumia. Esta pulpa vegetal fina rumiada pasa a otro estómago, el rumen. Los microorganismos que allí residen convierten esta pulpa en compuestos digeribles.

Pero algunos de los propios microorganismos también sirven de alimento a la vaca. Además de una media de 100 kg de hierba, una vaca digiere hasta 10 kg de microorganismos al día. El tipo de plantas que come la vaca determina que microorganismos se multiplican.



La lengua de la vaca está llena de pequeñas protuberancias que la hacen áspera y simplifican el proceso de romper y triturar las plantas. Si las fibras vegetales del estómago siguen siendo demasiado grandes para los microorganismos, la pulpa se transporta de nuevo a la boca y se rumia. La vaca produce entre 100 y 200 litros de saliva al día.

# BACTERIAS

## QUE NO NOS PRODUCEN ACIDEZ

La leche se utiliza para elaborar productos lácteos desde hace miles de años: ya se fabricaba queso en la Edad de Piedra. Para la producción de queso es fundamental el microbioma de la leche, es decir, las bacterias y los hongos que contiene la leche. Influyen en la maduración y en el sabor del queso de leche cruda. Las bacterias lácticas, por ejemplo, convierten la lactosa en ácido láctico, y la leche se vuelve ácida. En el medio ácido, las proteínas lácticas (llamada caseína) forman grumos que proporcionan al queso su estructura firme.

### La calidad de la leche también depende de los microorganismos

En la ubre de una vaca hay innumerables vesículas lácteas. Filtran proteínas, grasas, lactosa, minerales y vitaminas de la sangre, que luego se van a encontrar en la leche. Los componentes de la leche difieren en función de lo que coma la vaca y los microorganismos que la hayan colonizado.

### Las bacterias lácticas frenan las bacterias nocivas

El ácido láctico que forman las bacterias impide que las bacterias nocivas se multipliquen, lo que hace que los alimentos duren más. Pero las bacterias lácticas no sólo se encuentran en la leche, sino también en las verduras. Son las responsables de convertir la col en chucrut, o las verduras frescas en encurtidos. También tienen algo que decir a la hora de elaborar el pan: la masa madre se compone de bacterias lácticas, levadura y harina y, ayuda a que el pan suba esponjoso. Las bacterias lácticas son bacterias extremadamente útiles, también para el intestino humano, ya que también ahí garantizan que las bacterias nocivas puedan multiplicarse con menos facilidad.

### Pro y Pre

Las bacterias lácticas pertenecen a los probióticos. Se encuentran en el yogur, en el chucrut, en el kimchi y en otros alimentos fermentados. Cuando comemos estos alimentos, también ingerimos las bacterias. Muchas pueden sobrevivir al ambiente muy ácido de nuestro estómago para luego establecerse en nuestros intestinos. Los prebióticos, por su parte, son alimentos que no contienen directamente bacterias, pero son el alimento favorito de las bacterias de nuestro intestino. Entre ellos se incluyen todas las fibras alimentarias, como las que se encuentran en frutas, verduras, legumbres y cereales integrales. A las bacterias lácticas y las bifidobacterias les encanta la fibra y se multiplican cuando las alimentamos con ellas. El azúcar y el exceso de proteínas, por el contrario, favorecen el crecimiento de microorganismos, que a menudo se asocian con enfermedades.

Las bacterias lácticas viven preferentemente en el tubo digestivo de los mamíferos, pero también pueden encontrarse en el estómago de las abejas y de las ranas.

### IMPRESIONANTE

La caseína es un aglutinante muy bueno, une diversas sustancias y se adhiere a las superficies. Para las pinturas de caseína, se añaden pigmentos de color a la caseína. La caseína mezclada con cal produce un pegamento de gran fuerza adhesiva. Se piensa que el ser humano lleva miles de años utilizando la leche como base para pinturas; los compuestos proteínicos de la leche pueden encontrarse incluso en pinturas rupestres. El poder aglutinante de la caseína fue también explotado por un monje en 1531. Calentaba queso y lo volvía a enfriar. Cuanto más repetía este proceso, la masa una vez enfriada se volvía cada vez más firme. Con ella era capaz de dar forma a objetos y llamó al material „cuerno artificial“. La receta exacta del “cuerno artificial” procede de un alquimista llamado Bartholomäus Schobinger y se considera la primera receta de plástico en Alemania. Hacia el 1900, un impresor alemán y un químico mezclaron caseína con diversos productos químicos e inventaron la galalita, un plástico de caseína con él que se fabricaron una gran variedad de objetos, como botones, asas y también joyas.

### ESTRUCTURA DE LA CASEÍNA

La caseína es la proteína de la leche que se coagula por el ácido láctico producido por las bacterias, lo cual le confiere una estructura más firme.

# No sólo los champiñones son comestibles

Las levaduras son hongos que constan de una sola célula. Se reproducen formando un pequeño brote en la célula madre. En el interior de la célula, el núcleo se duplica por división y se transporta al brote. El brote se separa de la célula madre y nace una pequeña levadura nueva. Obviamente, este proceso requiere energía. La levadura la obtiene principalmente del azúcar, y mientras la célula convierte el azúcar en energía, se produce alcohol y gas CO<sub>2</sub>. Este metabolismo se conoce como „fermentación“. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es nuestra levadura panadera y cervecera. Durante la producción de cerveza, aporta el contenido de alcohol a la bebida. Al hornear con masa madre, el crecimiento de la levadura garantiza la creación de pequeñas burbujas de gas y la esponjosidad de la masa.



*Saccharomyces cerevisiae*  
En realidad, la levadura no hace otra cosa que multiplicarse. Durante su crecimiento, se producen las sustancias que el ser humano utiliza: alcohol y gas.

## La levadura consta de una sola célula, pero funciona como una esponja

Las levaduras se utilizan para purificar las aguas residuales en las depuradoras. Algunos metales pesados como el zinc, el cobre y el cadmio se adhieren a la levadura y pueden eliminarse químicamente. Otros microorganismos, como las bacterias y las algas, también nos ayudan a los humanos a limpiar las aguas residuales mediante procesos de „biosorción“.

## La levadura en la producción de alimentos

Las levaduras se encuentran en todas partes. Están en el aire, dentro y fuera en la superficie de las plantas y en otros alimentos. Están en todas partes. Se puede hacer masa madre mezclando harina y agua, y esperando. Las levaduras se multiplican y la masa madre sube. Sin embargo, las levaduras presentes de forma natural no pueden hacer frente a toda la producción de alcohol y de productos de panadería de nuestro mundo. Por lo tanto, se realiza una cría selectiva de levaduras y se multiplican para luego utilizarse en la producción de alimentos.

## Diferentes levaduras y bacterias se respaldan mutuamente...

... y el resultado es una bebida de moda: kombucha. Se trata de un té que ha sido fermentado con la ayuda de levaduras y bacterias. El kombucha tiene de especial que el proceso de fermentación lo llevan a cabo bacterias y hongos que viven en simbiosis. Varios hongos levaduriformes, como la levadura de la cerveza o la levadura de fisión *Schizosaccharomyces pombe*, las bacterias del ácido láctico y las bacterias del ácido acético convierten el azúcar en ácido y en gas (por eso la kombucha es ligeramente efervescente). Se dice que la kombucha tiene efectos curativos, aunque hay poca investigación científica al respecto.

## Un falso hongo llamado SCOBY

El cultivo de kombucha suele denominarse hongo del té. Esto no es correcto, porque no es un hongo, sino una comunidad de bacterias y levaduras. El término técnico es SCOBY. Proviene del inglés y significa „Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast“ (cultivo simbiótico de bacterias y levaduras).

Estudio  
Villarreal-Soto S. A. et al. (2018)  
Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review.  
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.1406>

# En el interior del intestino humano

Este es el aspecto del intestino de un ser humano desde dentro: las vellosidades son protuberancias del intestino delgado, que tienen un tamaño aproximado de un milímetro. Sobre las vellosidades intestinales se encuentran las microvellosidades, que son aún más pequeñas. Las microvellosidades son prolongaciones de las células en forma de hilo. Las vellosidades y las microvellosidades aumentan muchas veces la superficie interna del intestino, creando una enorme „sala de estar“.

Billones de microorganismos como bacterias, fagos y hongos viven allí, y realizan su valioso trabajo. Todos juntos forman el microbioma intestinal. En el intestino se encuentran protegidos de las influencias externas y también reciben suficiente alimento. A cambio, producen vitaminas y muchas otras sustancias valiosas para nosotros. Un microbioma intestinal diverso favorece la digestión y protege contra las enfermedades.

Una gran

ventaja para la salud

Lo que comemos cuenta: los productos ecológicos no sólo tienen buen sabor, sino que también son ricos en microorganismos saludables para el ser humano. La diversidad de microorganismos es lo que mejor favorece al intestino y a la salud. Los investigadores solían pensar que los microorganismos eran eliminados por el ácido del estómago y que, por tanto, no desempeñaban ningún papel en el intestino. Pero ya se ha demostrado que muchos microorganismos llegan ilesos al intestino.

Estudio

Wassermann B, et al. (2019)  
An Apple a Day: Which Bacteria  
Do We Eat With Organic and  
Conventional Apples?  
doi: 10.3389/fmicb.2019.01629

# LOS VIRUS COMO AYUDANTES

Un bacteriófago T4 infecta una bacteria *Escherichia coli*.



## INCREIBLE

Con un tamaño de 0,02-0,2  $\mu\text{m}$ , los fagos son los componentes más pequeños del plancton. Sin embargo, los fagos constituyen numéricamente la parte más importante del plancton de nuestros océanos: el llamado virioplancton cuenta con  $10^{31}$  fagos.

Los virus son formas especiales. Por definición, no son seres vivos, porque no pueden reproducirse por sí mismos. Necesitan un hospedador para hacerlo. Algunos virus utilizan al ser humano como hospedador, como es el caso de los coronavirus o de los virus del resfriado. Pero los virus también utilizan hongos, plantas y animales como hospedadores.

Algunos virus atacan exclusivamente a bacterias; estos virus se denominan bacteriófagos, o sencillamente fagos. Por ejemplo, el fago llamado T4 sólo ataca a la bacteria *Escherichia coli*. El fago T4 se adhiere a la superficie bacteriana y utiliza su aguijón para inyectar su ADN al interior de la bacteria. En el interior de la bacteria se reproducen ahora nuevos fagos, utilizando la información del ADN del virus que se ha introducido. Cuando éstos están listos, la bacteria estalla y se liberan hasta 200 fagos recién creados. Este proceso es totalmente inocuo para el ser humano. De hecho, en medicina se está trabajando para programar fagos que puedan eliminar específicamente las bacterias dañinas. Esta terapia con fagos puede utilizarse contra las enfermedades bacterianas como alternativa a los antibióticos.

La bacteria *Escherichia coli* se encuentra de forma natural en el intestino de los seres humanos y de otros mamíferos. La mayoría de ellas no causan ninguna enfermedad. Sin embargo, hay muchas estirpes de *Escherichia coli* que causan infecciones graves en humanos, que cursan con diarrea, vómitos y fiebre. *Escherichia coli* puede cultivarse fácilmente en el laboratorio, por lo que se utiliza como organismo modelo en microbiología.



1  $\mu\text{m}$

*Escherichia coli*

# Problemas con el microbioma

Los microorganismos del intestino producen muchas sustancias. Por desgracia, no todas estas sustancias son beneficiosas para los seres humanos. Algunas sustancias pueden incluso producir daños en nuestro ADN y probablemente estén implicadas en la aparición del cáncer. Aún se necesita una investigación científica exhaustiva para determinar con precisión la relación entre el microbioma intestinal y el cáncer. Estos conocimientos futuros podrían hacer posibles nuevas terapias o medidas preventivas. En el caso de las enfermedades intestinales crónicas, ya se están experimentando los trasplantes de microbioma.

Estudio  
Yiyun C. et al. (2022)  
Commensal microbiota from patients with inflammatory bowel disease produce genotoxic metabolites.  
DOI: [10.1126/science.abm3233](https://doi.org/10.1126/science.abm3233)

Estudio  
Sittipo P. et al. (2022)  
The function of gut microbiota in immune-related neurological disorders: a review.  
<https://doi.org/10.1186/s12974-022-02510-1>

## Ruminococcus

La presencia de bacterias del género *Ruminococcus* en el intestino indica una buena salud mental. En personas con una enfermedad depresiva, solo se encuentran unas pocas de estas bacterias.

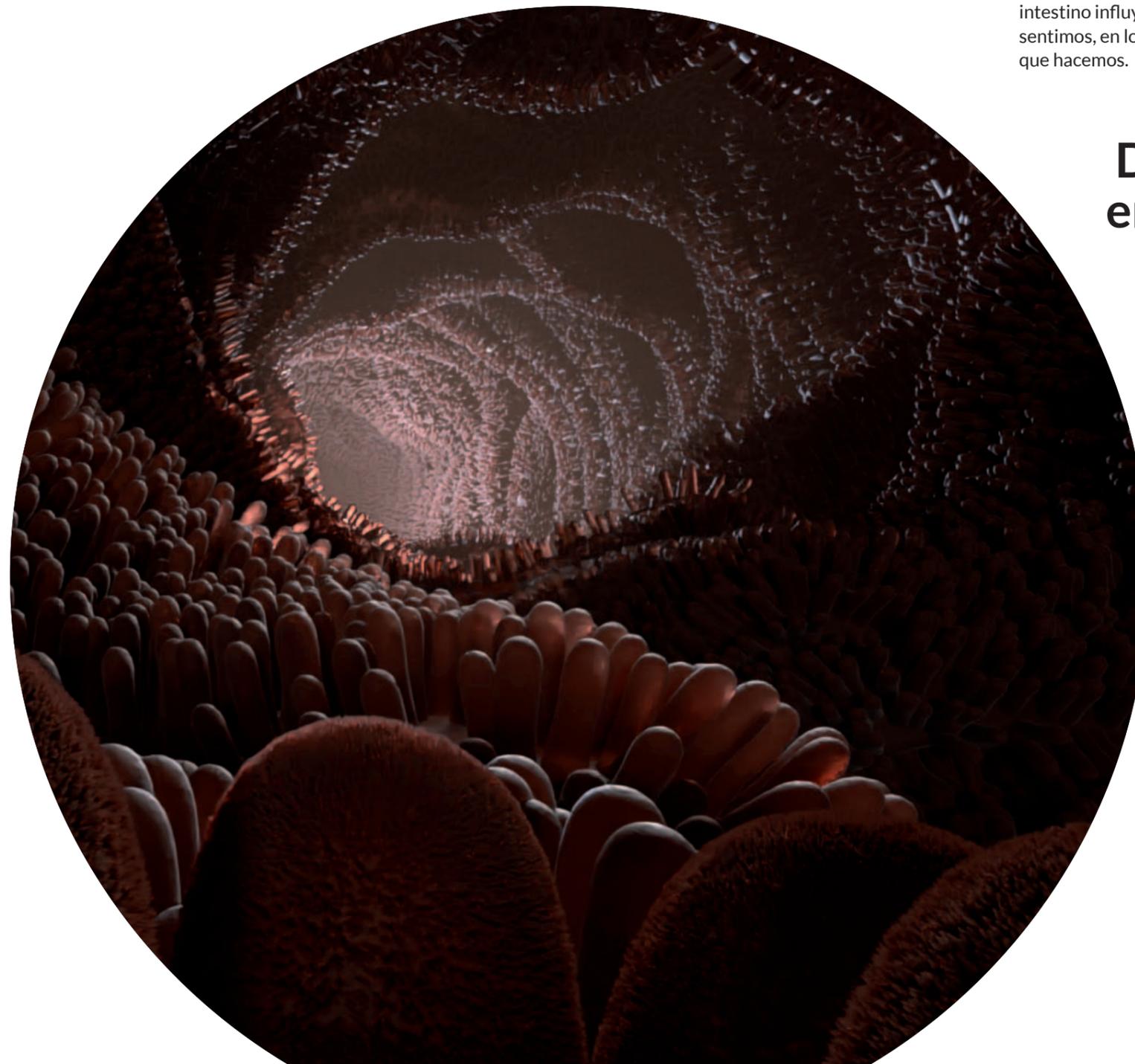
Estudio  
Haiyin J. et al. (2015)  
Altered fecal microbiota composition in patients with major depressive disorder.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbbs.2015.03.016>

# Microbioma y el eje intestino-cerebral

Desde hace tiempo se sabe que un microbioma intestinal sano, antes conocido como „flora intestinal“, protege contra las enfermedades. Sin embargo, los descubrimientos relativamente nuevos son que el microbioma intestinal influye en nuestro cerebro y, por lo tanto, en nuestro estado de ánimo y en nuestras emociones.

El nervio vago va del cerebro al intestino. Esta es una de las formas con las que el microbioma intestinal se comunica con nuestro cerebro. Sin embargo, los microorganismos también pueden producir sustancias que pueden actuar sobre los neurotransmisores del cerebro, como la dopamina o la serotonina. Así pues, el microbioma de nuestro intestino influye en como nos sentimos, en lo que pensamos y en lo que hacemos.

Cuales son los microorganismos que habitan en nuestro microbioma depende enormemente de nuestra dieta y de nuestro estilo de vida. El estrés crónico y los alimentos poco saludables alteran el equilibrio de nuestro microbioma intestinal. Las bacterias nocivas pueden tomar el control y afectar no sólo a nuestra salud física, sino también a nuestra salud mental.



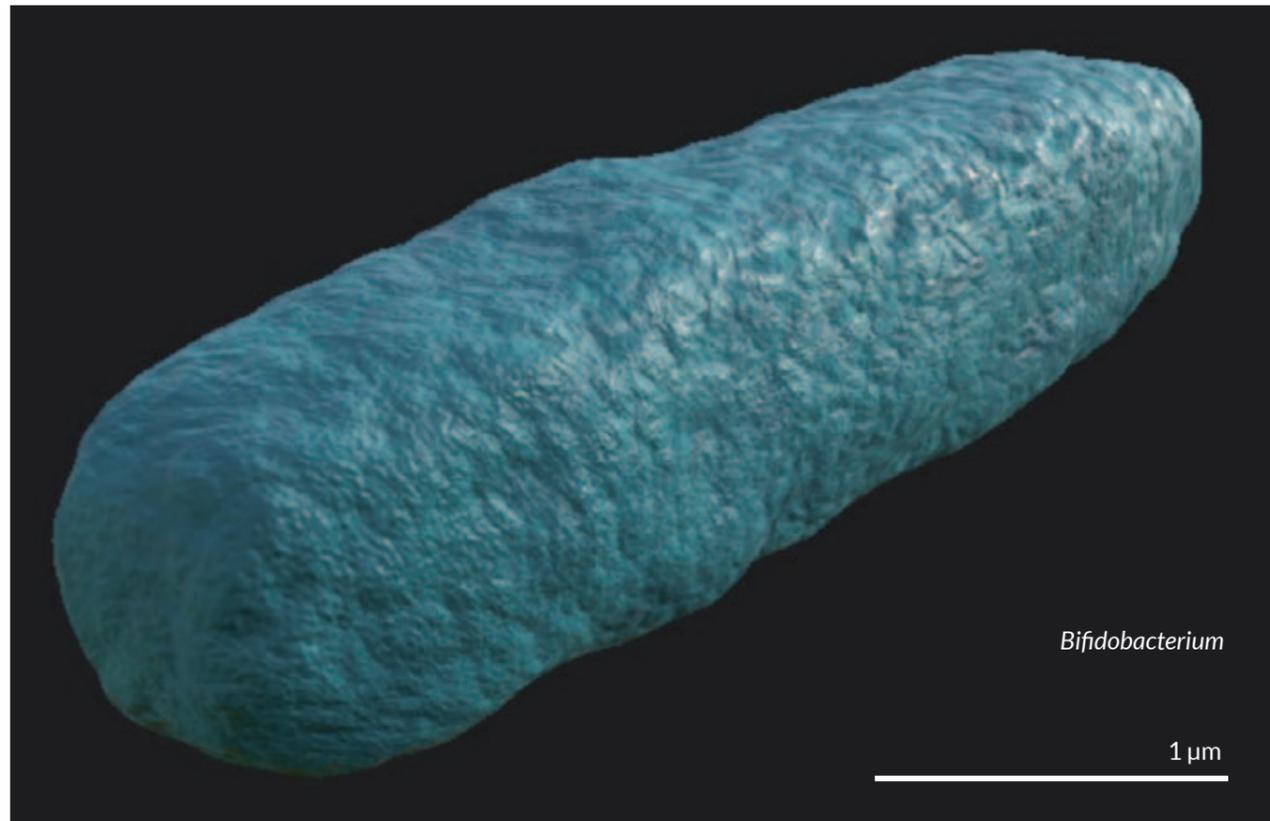
## Diferentes microbiomas en diferentes estados de ánimo

Las personas con depresión suelen tener un menor número de ciertas bacterias en el intestino. Estas bacterias producen ácidos grasos de cadena corta y otras sustancias. Si esas bacterias no están presentes, la persona carece de estas sustancias. Son precisamente estas bacterias las que se podrían utilizar como una especie de medicamento contra la depresión. Sin embargo, de momento esto sigue siendo un sueño futurible. La investigación sobre el eje intestino-cerebral no comenzó hasta hace unos pocos años, y aún hay demasiadas preguntas sin respuesta. Se necesita una investigación más profunda para poder demostrar las relaciones temporales y causales.

Estudio  
Thomann A.K. et al. (2022)  
Depression and fatigue in active IBD from a microbiome perspective—a Bayesian approach to faecal metagenomics.  
<https://doi.org/10.1186/s12916-022-02550-7>

## Las bifidobacterias merodean por la pared intestinal

Las bifidobacterias actúan como un bloqueo contra los asedios hostiles. Se encuentran literalmente en la pared intestinal. De este modo, ocupan el espacio e impiden que los microorganismos nocivos se instalen en él. Además, producen un ácido que inhibe la reproducción de las bacterias nocivas. Donde hay suficientes bifidobacterias merodeando, la pared intestinal produce más células inmunitarias, que son antiinflamatorias.



## En el intestino pasan muchas cosas

Se calcula que en el intestino humano hay unos 10 billones de bacterias. El cuerpo humano está formado por unos 10 billones de células. Por tanto, estamos formados por el mismo número de bacterias que de células humanas. El 95% de las bacterias intestinales viven en el intestino grueso. No sólo hay bacterias en el intestino. También viven hongos, virus y las llamadas arqueas.

### CANDIDA

No todos los microorganismos que viven en el microbioma humano son inofensivos. *Candida* es un hongo levaduriforme que se encuentra de forma natural en el intestino. Si este hongo se propaga en exceso, puede provocar infecciones. En cambio, las bacterias lácticas forman un escudo protector natural.

### El microbioma como huella dactilar

La composición de los microorganismos del intestino de cada persona es muy específica y difiere de la de cualquier otra persona. Cada microbioma es único, como una huella dactilar.

## Un órgano adicional

El microbioma intestinal humano suele considerarse un órgano independiente. Al igual que otros órganos, tiene tareas muy específicas, por ejemplo funciones inmunitarias y metabólicas. Cada microorganismo del microbioma tiene su propio ADN, por lo que a menudo se hace referencia al microbioma como el „segundo genoma humano“.

### El trasplante fecal como forma de „trasplante de órganos“

Si el microbioma intestinal puede considerarse un órgano independiente, seguramente también puede trasplantarse como otros órganos. De hecho, ya en el siglo IV d.C. en China se recetaba una „sopa dorada“ compuesta principalmente de materia fecal para el tratamiento de las intoxicaciones alimentarias o de las diarreas graves. Parecía restablecer el equilibrio del organismo, aunque los médicos de la época desconocían qué ocurría exactamente. En la medicina moderna, los trasplantes fecales se utilizan en casos graves de enfermedad. Pueden dar buenos resultados, pero deben realizarse con sumo cuidado para no trasplantar microorganismos indeseables.



# Una mirada al futuro

Los microorganismos son los seres vivos más antiguos del planeta. Durante un tiempo increíblemente largo, más de miles de millones de años, se han adaptado repetidas veces a nuevas condiciones de vida, y han sobrevivido. El ser humano es muy joven en comparación con ellos y se ha „instalado“ en este mundo ancestral.

Durante mucho tiempo se ha subestimado completamente a los microorganismos. Es ahora cuando la ciencia está empezando a comprender mejor la importancia de los microbiomas para la salud de todos los seres vivos: sin microbiomas, no sobreviven ni una brizna de hierba ni una vaca.

Los microbiomas también son esenciales para el ser humano en muchos aspectos: muchos habitantes de estas comunidades son fundamentales, útiles y provechosos.

Las bacterias influyen incluso en el clima, pero también se ven afectadas por el cambio climático. No se puede sobrestimar las consecuencias fatales que una manipulación descuidada de la biodiversidad puede tener para nosotros, los humanos.

## DEL MICROSCOPIO A LA INVESTIGACIÓN DEL ADN

El mundo de los microorganismos es un cosmos en sí mismo, con un valor inconmensurable para todos los seres vivos y su entorno. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos no se han descubierto ni se han investigado aún.

Esto es debido a que durante mucho tiempo no se han podido ver, en el sentido estricto de la palabra. Sólo con los microscopios la ciencia ha podido echarles un vistazo. Muchos microorganismos no sobreviven en el laboratorio el tiempo suficiente para ser estudiados.

Por ello, muchos descubrimientos revolucionarios sólo han sido posibles en los últimos años gracias a la investigación genética. Los análisis de ADN permiten estudiar, hasta cierto punto, incluso los microorganismos muertos.

### Preservar los microbiomas: una buena inversión para el futuro

Mantener la diversidad de los microbiomas será un factor esencial para una bioeconomía sostenible. Las aplicaciones innovadoras del microbioma pueden ser unas respuestas eficaces a los retos actuales del tercer milenio: mitigación del cambio climático, conservación de la biodiversidad, producción y disponibilidad de alimentos sanos, bioenergía, reciclaje y gestión de residuos.

*Lactobacillus*



1 µm

## Los microorganismos orquestan la vida en la Tierra.

La investigación sobre el microbioma se ha incrementado espectacularmente en los últimos años. Hay una gran cantidad de conocimientos nuevos sobre las comunidades microbianas. Por supuesto, la investigación sobre el microbioma humano ha sido especialmente activa. Sin embargo, recientemente se ha puesto de manifiesto que los microbiomas también pueden ayudar a afrontar otros retos. Entre ellos figuran la fertilidad del suelo, la nutrición y la salud de las plantas y de los animales, la seguridad alimentaria, la gestión de residuos, la adaptación al cambio climático, la captura de carbono y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El proyecto „MicrobiomeSupport“ ha reunido a expertos de distintos campos de la investigación sobre el microbioma. Se creó un panel internacional de expertos en microbiomas de los sistemas alimentarios. Este panel de expertos podría convertirse en un comité permanente para trabajar en prioridades comunes y desarrollar conocimientos compartidos. Los expertos también identificaron las carencias que existen en la investigación del microbioma: infraestructuras de investigación, acceso e intercambio de datos, transferencia de conocimientos e innovación, un marco normativo adecuado para productos y aplicaciones novedosas así como la sensibilización de las partes interesadas y de la sociedad. Esto también facilitará la búsqueda de formas de cubrir estas lagunas.

Estudio

Strategic Research and Innovation Agenda for future microbiome activities and applications.  
[www.microbiomesupport.eu](http://www.microbiomesupport.eu)

## LAS GRANDES CUESTIONES

La ciencia sabe bastante sobre los microorganismos individuales, pero aún sabe muy poco sobre las interacciones dentro del microbioma, es decir, entre bacterias, hongos y otros microorganismos individuales. También se tiene sólo un conocimiento parcial sobre cómo afecta el hospedador al microbioma, y cómo afectan los microbiomas a su hospedador o al medio ambiente.

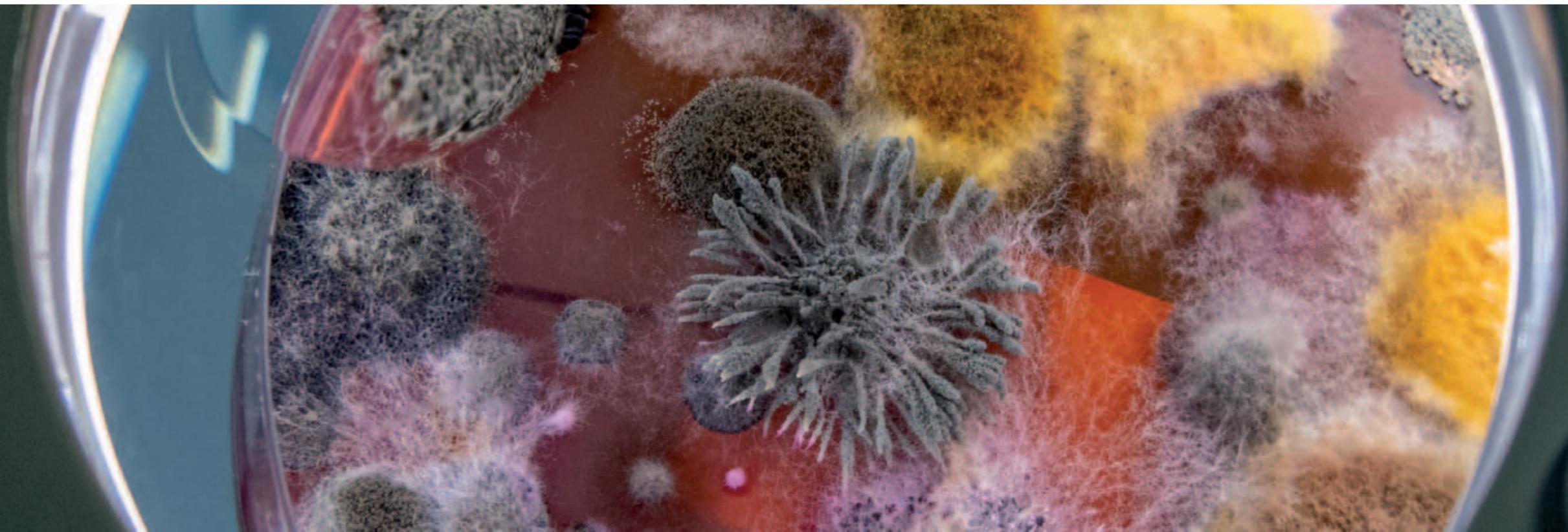
Para ello, tendríamos que ser capaces de describir y caracterizar aún mejor los microbiomas. ¿Qué microorganismos conviven? ¿Qué funciones desempeñan determinados microorganismos? ¿Qué sustancias producen? ¿Cómo cambian con el tiempo o bajo la influencia de diversos factores externos? En resumen: ¿quién hace qué, dónde y cuándo, y qué efectos tiene esto?

LO QUE aún  
NO SE SABE

### HACIENDO PREDICCIONES CON EL „TERMÓMETRO“ MICROBIANO

Sólo cuando sepamos exactamente cómo funcionan los microbiomas podremos hacer predicciones. ¿Cuáles son las bacterias saludables en los alimentos? ¿Qué microorganismos suponen un riesgo? ¿Cómo afectan los microbiomas a la vida útil de los alimentos? ¿Mi microbioma intestinal es sano, o hay demasiados microorganismos de algún tipo? ¿Y en qué momento los cambios son patogénicos?

Saber cómo están compuestos determinados microbiomas también permite comprobar si son como deberían ser. Se podrían definir características biológicas o químicas que indiquen el grado de salud o de enfermedad de un microbioma. En el futuro, podrían desarrollarse sistemas analíticos que midieran las características biológicas del microbioma, casi de la misma manera que un termómetro mide la temperatura.



# EN BUSCA DE NUEVOS FÁRMACOS Y TERAPIAS

antibióticos matan las bacterias que causan enfermedades. En particular en la cría de animales, los antibióticos se utilizan a menudo con fines preventivos. Pero si se utilizan demasiados antibióticos, las bacterias se acostumbran a ellos y se vuelven resistentes. La resistencia a los antibióticos ya es un problema muy grave. Las personas y los animales enfermos ya no pueden ser tratados porque los medicamentos no funcionan más. Los microbiomas pueden contener nuevos antibióticos eficaces u otras sustancias útiles que podrían ser alternativas a los antibióticos. Por lo tanto, también es necesario investigar los microbiomas para encontrar nuevos fármacos.

Los intentos dirigidos a modificar el microbioma intestinal también deben basarse en datos científicos sólidos. Los probióticos pueden ayudar a restaurar el microbioma intestinal después de haber tomado antibióticos. La ingesta de probióticos es fácil y no conlleva ningún peligro en particular. La situación es diferente cuando se trata del trasplante de microbiomas: en este caso, deben cumplirse una normas especiales para garantizar que las bacterias beneficiosas para la salud no se trasplanten junto con bacterias causantes de enfermedades, poniendo así en peligro la salud del paciente.

## EL DETECTIVE DEL MICROBIOMA

Cada microbioma es como una huella dactilar. Si se conocen los microbiomas con precisión, y se ha almacenado su composición en una base de datos de referencia, por ejemplo, se podría comprobar si el microbioma presente es realmente lo que se afirma que es. En un futuro lejano, esto permitiría seguir el rastro de los alimentos, comprobar certificaciones y detectar fraudes alimentarios.

Lactobacillus lactis

Lactobacillus lactis

1 μm

## ALIMENTOS MÁS SANOS PARA PERSONAS MÁS SANAS

Es necesaria una mayor investigación para obtener nuevos conocimientos, que además sean más exhaustivos, sobre lo que constituye un microbioma humano sano y cuáles son sus características. La alteración de la interacción entre el microbioma y el ser humano está asociada a una amplia gama de enfermedades. Un deterioro del microbioma se considera uno de los principales factores del espectacular aumento de las enfermedades crónicas. La dieta es un instrumento importante para moldear el microbioma. Por tanto, una dieta sana puede ayudar a restablecer el equilibrio perdido.

También es necesaria más investigación para desarrollar alimentos y dietas especiales, como parte de la terapia médica. Hay que mejorar el efecto terapéutico y evitar los efectos secundarios indeseables en el microbioma humano. Esto sería especialmente importante para las personas con riesgo de padecer enfermedades crónicas y para los pacientes sometidos a tratamientos de larga duración.

## FERMENTACIÓN Y SALUD

Por fermentación se entiende la conversión de sustancias por bacterias, hongos o enzimas. Los beneficios para la salud de los alimentos fermentados se han descrito desde hace siglos, aunque muchos no se encuentran demostrados. Los beneficios potenciales se basan en la presencia de microorganismos vivos y en los cambios producidos por la fermentación en los ingredientes de los alimentos. Los alimentos fermentados pueden influir positivamente en la composición del microbioma intestinal y favorecer el metabolismo. Una mayor investigación podría contribuir a desarrollar dietas sostenibles basadas en alimentos fermentados microbiológicamente que mejoren la salud humana.

## ENFERMEDADES ALIMENTARIAS

Cada año, 600 millones de personas enferman a causa de la ingesta de alimentos y 420.000 mueren por enfermedades de transmisión alimentaria. A menudo, los patógenos empiezan a multiplicarse durante el camino del productor a la mesa de casa. Un sistema de alerta precoz que se realice ya en el productor, y que nos indique cambios peligrosos en el microbioma, podría reducir enormemente el riesgo de infecciones alimentarias.

## MICROBIOMAS DIVERSOS EN LA AGRICULTURA Y LOS SISTEMAS ALIMENTARIOS

Los microbiomas existen dentro y en la superficie exterior de los seres humanos, los animales y las plantas, tanto en la tierra como en el agua. Los microbiomas influyen en la salud del suelo, la productividad de las plantas, y la salud humana y animal. Por lo tanto, también desempeñan un papel importante en la agricultura y la producción de alimentos.

La población crecerá hasta casi 10.000 millones de personas en 2050. Estas personas necesitan alimentarse. Para ello es necesario un sistema alimentario justo y sano. La ciencia necesita comprender mejor los microbiomas, especialmente en el sistema alimentario. Entonces, los microbiomas podrán utilizarse de forma razonable.

## LOS TRANSFORMADORES DE RESIDUOS

La producción de alimentos es uno de los sistemas con mayor huella ecológica. Hay que reducir los residuos alimentarios. Los residuos y las aguas residuales de la producción de alimentos podrían ser transformados por microorganismos para reciclarlos como fuente de energía, como fertilizante, o también como pienso para animales o incluso como alimento para humanos.

Para ello sería necesario conocer mejor los microbiomas ambientales, por ejemplo los del suelo, el mar y la pesca. Dentro de esos microbiomas pueden descubrirse microorganismos útiles para el procesamiento de residuos.



*Aspergillus*

10  $\mu$ m

## EL MICROBIOMA EN UNA AGRICULTURA SANA

El suelo es uno de los ecosistemas más complicados de todos. Es un hábitat independiente y alberga una increíble variedad de organismos vivos. Éstos regulan y controlan la fertilidad del suelo, los ciclos de nutrientes y la retención de carbono.

La huella ecológica de la agricultura es enorme y muchos suelos están gravemente degradados debido a la práctica agrícola. Si tuviéramos más conocimientos sobre cómo afectan los microbiomas a la salud del suelo y, por tanto, a la de las plantas, podríamos producir productos fitosanitarios mejores y más seguros, y biofertilizantes con microorganismos. El suelo sería más resistente y los agricultores dependerían menos de pesticidas tóxicos

y de fertilizantes químicos. Los microbiomas podrían contribuir así a una transición hacia una agricultura respetuosa con el clima y con el medio ambiente, que proporcione a los consumidores alimentos seguros, sanos y sostenibles.

Descifrar la complejidad del microbioma del suelo y comprender mejor las interacciones dentro de esos ecosistemas es necesario en muchos sentidos. Esto puede aportar soluciones para restaurar los suelos degradados. Además, los microbiomas del suelo también pueden favorecer el almacenamiento de carbono, lo que podría contribuir enormemente a contener la crisis climática.

## MICROORGANISMOS Y SALUD ANIMAL

La forma de criar los animales jóvenes influye en gran medida en la composición y funcionalidad del microbioma, lo cual repercute también en el rendimiento y la salud de los animales adultos. Los animales sanos proporcionan alimentos sanos. Los animales también podrían beneficiarse de la ingesta de probióticos, en forma de piensos con microorganismos saludables. ¿Cómo exactamente? Eso hay que investigarlo.

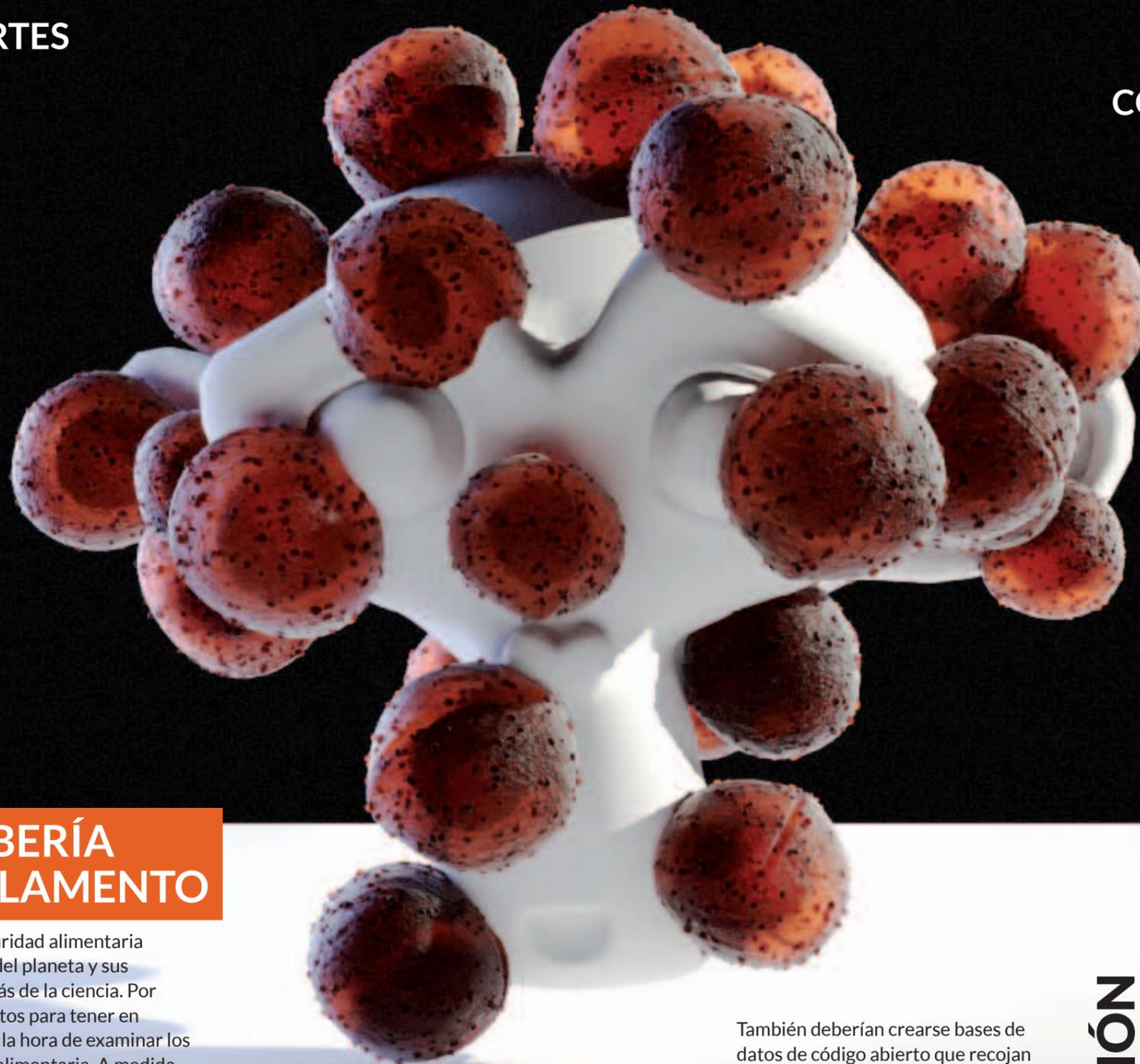
## CLIMA CAMBIANTE MICROBIOMA CAMBIANTE

¿Cuál es el impacto del cambio climático en los microbiomas de los sistemas alimentarios? Sería importante saber cómo pueden adaptarse los microbiomas y si, en las nuevas condiciones, pueden continuar prestando los mismos servicios a nuestro suministro de alimentos.

## EL TODO ES MÁS QUE LA SUMA DE LAS PARTES

Es necesario establecer métodos y enfoques por etapas para evaluar sistemáticamente el impacto de los microbiomas en la salud humana, animal o vegetal y en la seguridad alimentaria. Por ejemplo, los efectos de las barreras ecológicas contra sustancias químicas, aditivos o patógenos no suele deberse a cepas bacterianas individuales, sino a una combinación de ellas. La evaluación de cada cepa bacteriana de forma individual no refleja las propiedades de toda la comunidad bacteriana.

Del mismo modo que los microbiomas se componen de una amplia variedad de factores, el conjunto de investigadores participantes en el estudio del microbioma debe estar compuesto por una amplia variedad de contribuyentes. Los proyectos multidisciplinares en los que participan la industria, la agricultura, diversas disciplinas científicas y socioeconómicas y organismos reguladores pueden ofrecer una visión más completa.



## EL MICROBIOMA DEBERÍA SENTARSE EN EL PARLAMENTO

Hay un nuevo actor en cuestiones tales como la seguridad alimentaria y química, la producción vegetal y animal, y la salud del planeta y sus habitantes: el microbioma. La legislación va por detrás de la ciencia. Por ejemplo, todavía no existen requisitos legales explícitos para tener en cuenta los efectos relacionados con el microbioma a la hora de examinar los riesgos y los beneficios en el marco de la legislación alimentaria. A medida que surgen nuevos conocimientos sobre la estructura y el funcionamiento del microbioma, es necesario tenerlos en cuenta a la hora de evaluar la legislación.

La ciencia del microbioma debe avanzar en paralelo a la regulación y a la legislación. Esto ayudaría a aportar las pruebas necesarias para mejorar la evaluación de riesgos. Esto, a su vez, podría facilitar la aprobación de estrategias innovadoras basadas en el microbioma y diseñadas para promover la salud de las personas, de los animales y del planeta, así como para mejorar la sostenibilidad, la productividad, la seguridad y la calidad nutricional de los alimentos.

También deberían crearse bases de datos de código abierto que recojan información sobre los microbiomas. Pueden mejorar la reutilización de datos y modelos matemáticos, así como el acceso a la información o su puesta en común. Sin embargo, estos sistemas deben garantizar una buena protección de los datos, una capacidad de almacenamiento suficiente y permitir un acceso rápido y sencillo. Las bases de datos deben ser gratuitas y de fácil acceso.

**INFORMACIÓN  
PARA TODOS**

## COMPARANDO PERAS CON MANZANAS

La ciencia del microbioma ha avanzado rápidamente en la última década. Son muchos los campos científicos diferentes que investigan los microbiomas. A menudo, estas disciplinas científicas utilizan métodos diferentes. Hablan lenguajes científicos diferentes, por así decirlo. Esto hace que sea muy difícil comparar o relacionar los resultados. Sin embargo, esto es esencial para tener una visión global del funcionamiento del microbioma. Por lo tanto, habría que crear lo antes posible un sistema y unas normas estandarizadas para que todos los científicos dedicados a la investigación del microbioma sigan los mismos procedimientos o, al menos, procedimientos similares. Desde la recogida, almacenamiento y procesamiento de las muestras hasta su análisis e interpretación.

## ALMACENAMIENTO

La investigación sobre diversos microbiomas es muy costosa. Uno de los mayores cuellos de botella tecnológicos actuales es la conservación de los microbiomas. ¿Cómo pueden almacenarse microbiomas complejos de forma que su composición siga siendo la misma y los microorganismos sigan funcionando? ¿Y cómo se comprueba que sigan funcionando?

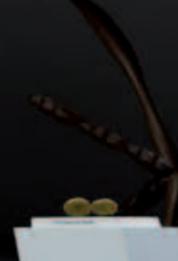
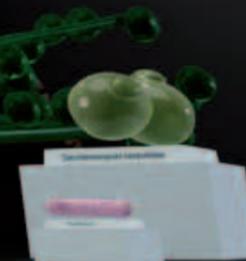
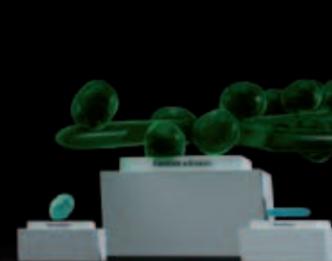
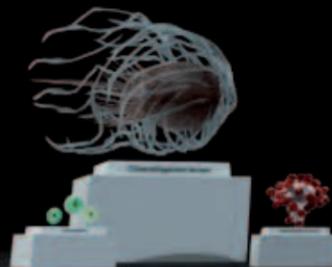


# AUNAR CONOCIMIENTOS

Gracias a la investigación del microbioma, estamos empezando a comprender lo estrecha y a su vez lo amplia que es la interdependencia entre humanos, animales, plantas y microorganismos.

En consecuencia, la investigación del microbioma afecta a una amplia diversidad de sectores: desde la medicina a los sistemas alimentarios pasando por los negocios y la tecnología. Es sumamente importante que todas las partes interesadas colaboren estrechamente para aprender más sobre el mundo de los microbiomas.

Cada vez es más evidente que los microorganismos dominan nuestro mundo. Cómo lo hacen exactamente, sigue siendo un gran misterio.





### **MicrobiomeSupport**

El Instituto Austriaco de Tecnología AIT dirigió el proyecto MicrobiomeSupport. El proyecto fue financiado por el programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea (código del proyecto: 818116). El objetivo: allanar el camino hacia sistemas alimentarios y una bioeconomía sostenibles y circulares basados en el microbioma. 29 socios académicos y gubernamentales de 13 países europeos y 9 socios internacionales han colaborado estrechamente para establecer normas de calidad para la investigación del microbioma y elaborar recomendaciones para una agenda estratégica de investigación e innovación en Europa y en todo el mundo.

[www.microbiomesupport.eu](http://www.microbiomesupport.eu)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 818116.

### **STORY & DIGITAL DESIGN**

Claudia Puck  
Johann Steinegger  
Sebastian Pichelhofer  
Sebastian Postl  
Florian Wurster  
Valentin Postl  
Brigitte Wegscheider

### **SCIENTIFIC ADVICE**

Angela Sessitsch  
Tanja Kostic  
Stephane Compant

### **VIRTUAL REALITY FILM**

<https://www.microbiomesupport.eu/resources/virtual-reality-movie>

\*All images are 3D illustrations.