

La guerra contra las superbacterias

Una historia de ciencia
pero sin ficción

ANDREA
MURAS

@ciencia_miuda

La guerra contra las superbacterias

Una historia de ciencia sin ficción

ANDREA MURAS



© Andrea Muras, 2023

© de las infografías: Cirenía Arias Baldrich

© Centro de Libros PAFP, SLU., 2023

Alienta es un sello editorial de Centro de Libros PAFP, SLU.

Av. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona

www.planetadelibros.com

Primera edición: abril de 2023

Depósito legal: B. 4.492-2023

ISBN: 978-84-1344-235-8

Preimpresión: Realización Planeta

Impreso por Huertas Industrias Gráficas

Impreso en España - *Printed in Spain*

El papel utilizado para la impresión de este libro está calificado como **papel ecológico** y procede de bosques gestionados de manera **sostenible**.

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor.

La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento.

En **Grupo Planeta** agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan seguir desempeñando su labor.

Dirígete a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesitas fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puedes contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.

Sumario

Introducción	13
--------------------	----

PRIMERA PARTE

Mis queridísimas bacterias

1. Las bacterias molan mucho	19
1.1. Invisibles al ojo humano	23
1.2. El tamaño y la forma importan	28
1.3. Llamemos a cada cosa por su nombre	33
1.4. En todas partes	38
2. No todas las bacterias son malas	41
2.1. De la cocina al laboratorio	49
2.2. El regalo de mamá	53
2.3. Compartir es vivir	63

SEGUNDA PARTE

Una batalla épica

3. La culpa es de las bacterias	69
3.1. La amenaza fantasma	71
3.2. Hasta las infecciones tienen sus reglas	76
3.3. Melocotones con helado	80
3.4. No todo es tan simple	83

4. Muerte a las bacterias	93
4.1. Todo viene de China	99
4.2. Muerte al invasor	104
4.3. Bendito moho	107
4.4. Natural como la vida misma	111
4.5. ¿Y esto cómo va?	115
5. Superbacterias	123
5.1. De toda la vida	127
5.2. ¿Y ahora qué?	131
5.3. Todos a una	136
5.4. Superpoderes	139
6. La fortaleza de las bacterias	147
6.1. Otra forma de vivir	150
6.2. Palabras mayores	154
6.3. En boca de todos	156
6.4. Las reinas de los mares	162
7. Bacterias ESKAPE	167
7.1. <i>Enterococcus faecium</i>	171
7.2. <i>Staphylococcus aureus</i>	173
7.3. <i>Klebsiella pneumoniae</i>	175
7.4. <i>Acinetobacter baumannii</i>	176
7.5. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	178
7.6. <i>Enterobacter</i> spp.	179

TERCERA PARTE

Buscando soluciones

8. Otras formas de luchar contra las bacterias	185
8.1. Adaptarse o morir	187
8.2. Silenciando al enemigo	196
8.3. El enemigo de mi enemigo	199
9. Bacterias y clima	207
9.1. Por mi culpa	209
9.2. Una única salud	212
10. ¿Qué podemos hacer contra las superbacterias?	221
10.1. Seguir las indicaciones del médico	224
10.2. Eliminar los antibióticos de forma responsable	225

10.3. Vacunarse.....	225
10.4. Definir una ciencia digna.....	226
10.5. Tener una buena higiene de manos.....	227
10.6. Comer sano.....	228
Agradecimientos.....	231
Glosario.....	233
Bibliografía.....	237

Las bacterias molan mucho

Desde siempre, la humanidad ha subestimado a las bacterias. Por ello, creo firmemente que es importante que la gente se haga una pequeña idea de lo que las bacterias son capaces de hacer, tanto para bien como para mal. Pero antes de eso tengo que confesarte que yo normalmente no sólo trato de descubrirle el increíble universo microbiano a toda aquella persona que esté dispuesta a escucharme, sino que uno de mis principales objetivos como divulgadora científica es convencer a todo el mundo de que las bacterias molan. Así que, siempre que la ocasión me lo permita, tengo que intentarlo y no reprimir la necesidad de hacerlo. Desde siempre me ha encantado descubrir datos curiosos y anécdotas sobre las bacterias para después poder contar a mi familia, a mis amigos y cada vez a más gente las cosas más originales que sé sobre ellas. Por eso intento aprovechar todas y cada una de las oportunidades que tengo para hablar de mis queridísimas bacterias. Y no me negarás que escribir un libro sobre las superbacterias, esas terribles (pero fascinantes) bacterias que son resistentes a los antibióticos, parece la ocasión perfecta. La verdad es que, aunque al principio suelo encontrarme con la incredulidad de las personas («Pero ¿qué me está contando esta loca de las bacterias?»), yo creo que al final se van bastante convencidos de que, al menos, algo de razón puede que sí tenga. Entiendo que el hecho de que las bacterias molen puede que choque así, de primeras. No en vano, lo más normal es que a lo largo de nuestra típica educación en el colegio o instituto lo único que se nos solía contar de las bacterias es que

son de los seres vivos más sencillos que existen y que pueden causar determinadas infecciones. Y, claro, ¿cómo va a molar eso? Si estás leyendo este libro, es muy probable que seas una persona bastante afín a mis queridísimas bacterias. Pero por si no fuera el caso, déjame darte muy rápidamente tres sencillas razones por las que las bacterias molan:

- Aunque la mayor parte de la sociedad sólo asocia las bacterias con suciedad, basura o infecciones, aquellas que son patógenas y causan enfermedades únicamente constituyen una parte muy pequeña de todos los tipos de bacterias que existen. En cambio, la mayor parte de las bacterias son totalmente inocuas para nosotros, hay muchas de ellas que nos son realmente beneficiosas, como, por ejemplo, los lactobacilos que usamos como probióticos y muchas otras que nos son imprescindibles para poder vivir. No por nada llevamos miles de años conviviendo con ellas y adaptándonos mutuamente.
- Las bacterias son de los organismos más sencillos que existen: su principal objetivo es sobrevivir para reproducirse y poder expandirse tan rápido como sea posible. Pero, a pesar de su aparente sencillez inicial, son unos seres vivos muy complejos. Estos microorganismos han desarrollado una excelente capacidad de adaptación gracias a diferentes sistemas que les permiten obtener información de su alrededor para actuar en consecuencia. De hecho, si las condiciones ambientales cambian, las bacterias pueden notarlo mediante unos sensores propios, que detectan unos estímulos externos concretos, y modificar su comportamiento para adecuarlo a la nueva situación. Es decir, son capaces de tener diferentes tipos de comportamientos para adaptarse de la mejor manera posible a las características del lugar en el que viven y para relacionarse con los otros seres vivos con los que comparten tiempo y espacio. Por ejemplo, si hay algo que les impide crecer, como puede ser la presencia de los antibióticos, las bacterias acabarán por desarrollar y emplear mecanismos que las harán inmunes a ellos.
- No podemos olvidarnos de que los seres humanos somos una especie muy apañada y hemos aprendido a utilizar mu-

chos elementos de la naturaleza a nuestro antojo. La biotecnología nos permite utilizar seres vivos en nuestro beneficio, incluyendo, por supuesto, a mis queridísimas bacterias. Así, mediante diferentes procesos biotecnológicos, podemos producir compuestos específicos o llevar a cabo determinadas acciones. En este sentido, somos capaces de usar y manipular bacterias para nuestro interés, como las bacterias productoras de compuestos usados para elaborar perfumes o las bacterias que se modifican genéticamente y nos posibilitan la elaboración de insulina.

Es un hecho que el funcionamiento de las bacterias es muchísimo más complejo de lo que se pensó en un primer momento. Así que, si eres de esas personas que piensa que las bacterias solamente son unos «bichos» sencillos que únicamente saben causar enfermedades, siento decirte que estás totalmente equivocada, y espero que me des el tiempo necesario para que cambies de idea. Durante mucho tiempo se creyó que estos pequeños seres vivos sólo eran una especie de diminutas «bolsas de enzimas». No fue hasta hace relativamente poco, en los años noventa, cuando se empezó a poner en duda la simplicidad de las bacterias. Actualmente están consideradas microorganismos de elevada complejidad. Esto se ha corroborado en las últimas décadas al observarse que muchas de mis queridísimas bacterias son capaces de hacer cosas increíbles, como comunicarse entre ellas para ponerse de acuerdo y tener un comportamiento de tipo social. Por todo esto y más cosas curiosas que te iré contando, espero que, a medida que vayas avanzando a lo largo del libro, puedas ver las bacterias con otros ojos y, sobre todo, aprender a no menospreciarlas. Es posible que comprender a las bacterias y saber de lo que son capaces de hacer, tanto para bien como para mal, nos salve la vida en un futuro no muy lejano.

Sé que hay muchas personas que piensan que la biología, en general, y la microbiología, en particular, son ciencias exactas. Sin embargo, esto no es así. Son ciencias empíricas, que no es lo mismo, que, al igual que otras disciplinas que también se dedican al estudio de la naturaleza, tienen ciertas peculiaridades ya que, como veremos, a veces los seres vivos se saltan sus propias nor-

mas. Estas «excepciones» que se han ido encontrando los científicos a lo largo de la historia han puesto de manifiesto que tanto la biología como la microbiología son ciencias en cierto modo impredecibles.

Además, el hecho de que conozcamos menos de las bacterias de lo que nos queda por saber tampoco ayuda, pues de vez en cuando eso supone que nos salgan resultados imprevisibles. Me explico. Una parte muy importante de la ciencia se basa en que se van realizando experimentos para comprobar nuestras hipótesis y, así, poco a poco, ir progresando en las investigaciones (y ayudando al avance de la ciencia y de la sociedad, claro). Para ello, a lo largo de nuestra vida científica tenemos que leer una innumerable cantidad de publicaciones científicas con el objetivo de saber qué investigaciones se están llevando a cabo en los diferentes laboratorios de todo el mundo, principalmente en nuestra área de estudio. Así sabemos qué podemos hacer nosotros que sea nuevo para aportar nuestro granito de arena al desarrollo científico. Mientras pasamos las horas leyendo estos estudios, vemos qué tipo de técnicas y métodos se utilizan en nuestro campo, lo cual nos suele servir de inspiración para diseñar nuestros propios experimentos. Asimismo, vemos cuáles son los temas más candentes en nuestra área de estudio y qué tipos de pruebas en el laboratorio son las que más se llevan. En resumen, vemos qué técnicas y temas están más de moda. Puede que te parezca un poco raro, incluso superficial, pero la ciencia muchas veces también se rige por las tendencias del momento.

Una vez tenemos claro qué queremos demostrar y cómo vamos a llevar a cabo nuestros experimentos, toca pasar a la acción. Pero, claro, como suele ocurrir en muchas facetas de la vida, la teoría no siempre coincide con la práctica. A mí me ha pasado (y me sigue pasando), en más ocasiones de las que puedo recordar, tener diseñado un experimento que sobre el papel está claro que va a salir bien ya que—así lo atestigua la información sacada de las trocientas publicaciones que he leído sobre el tema— y, sin embargo, a la hora de la verdad, cuando lo llevo a la práctica, no obtengo los resultados esperados. Y al contrario: a veces me han salido cosas que, según la teoría, no eran de esperar. Así de frustrante y maravillosa es la investigación con seres vivos. Por supuesto que no siempre es así, sino que depende mucho de con lo que estés

trabajando. Yo te hablo desde mi experiencia estudiando el comportamiento de las bacterias, porque cuando haces experimentos con ellas, debes tener en cuenta un montón de cosas. Algunos factores pueden parecer bastante obvios, ya que no sólo influye el tipo de bacteria concreta con la que estés trabajando, sino que también es muy importante decidir qué cantidad de ella debes utilizar para empezar el experimento, cuánto tiempo dejarla crecer, a qué temperatura realizar las diferentes pruebas o qué tipo de nutrientes darle para que se alimente. Asimismo, hay otras variables mucho más sutiles que pueden afectar a los resultados —y que sueles conocer a través de la experiencia propia o ajena— como, por ejemplo, la marca comercial concreta de los reactivos o medios de cultivo que utilices, la presencia de otros «bichos» que ayuden o hagan la puñeta a la bacteria que estás estudiando o, simplemente, la cantidad de oxígeno que llega a tus microbios (cultivos en agitación o en estático). Y ya te digo que, aun así, cuando piensas que ya lo tienes todo controlado, a la hora de llevar a cabo tu experimento muchas veces se te escapan cosas.

Suele suceder que cuando llevas ya algún tiempo dedicándote a la investigación en un campo concreto, te especializas tanto que a veces se te olvida que no todas las ciencias son iguales. Evidentemente, cada disciplina científica tiene sus frustraciones particulares. Muchas personas con las que he tenido la suerte de coincidir en los laboratorios aprendían (un poco por las malas) con sus primeros experimentos con las bacterias las mil cosas que hay que tener en cuenta cuando se trabaja con ellas y cómo estos microorganismos pueden ser bastante impredecibles. Aunque muchas veces, al poco de empezar, se daban cuenta de lo compleja, pero a la vez tan maravillosa, que puede llegar a ser la vida bacteriana.

1.1. Invisibles al ojo humano

Saber que vivimos rodeados de millones y millones de microorganismos durante toda nuestra vida puede parecerte algo obvio. Pero, si te paras a pensarlo, no debió de resultar fácil descubrir por primera vez estos seres vivos que son invisibles a nuestros ojos.

eBay es un conocido portal de subastas online donde puedes vender cualquier cosa. Seguro que, aunque no hayas comprado nada allí, al menos sabes de qué te estoy hablando. Allá por el año 2015, un detectorista holandés puso en venta un pequeño lote de objetos que había encontrado el año anterior en los lodos extraídos del dragado de los canales de la ciudad de Delft (Países Bajos). La pequeña colección estaba formada por un conjunto de varios objetos, incluyendo un par de monedas antiguas, utensilios médicos y un extraño artilugio cuyo vendedor no tenía ni la más remota idea de lo que era. A pesar de que el precio de salida para el lote fue de 50 dólares (algunos dicen que fue de 99 dólares), a un médico de Vigo que andaba cotilleando la web algo le llamó la atención, así que decidió aventurarse y desmarcarse del resto de los compradores. Ofreció la friolera suma de 1.500 dólares, muchísimo más dinero que el precio de venta, asegurándose así la compra. Seguro que ya lo has adivinado. Entre la variada chatarra de objetos que había encontrado el detectorista, el extraño artilugio de función desconocida fue el que llamó la atención del que resultó ser un experto coleccionista. Aunque era poco probable, el objeto en cuestión le había recordado mucho a una de las extrañas lupas de Anton van Leeuwenhoek. En cuanto otros coleccionistas se percataron de la situación, empezaron a contactar con el vendedor para ofrecerle grandes sumas de dinero y conseguir la tan preciada lupa. De hecho, el detectorista holandés intentó echarse atrás, aunque sin éxito, ya que finalmente no tuvo más remedio que entregar los objetos al comprador español, pues, según las condiciones de eBay, él era el legítimo dueño.

Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) era un hombre solitario y desconfiado que nació en Delft. Su principal ocupación fue el negocio de las telas (abrió su propia tienda a los veinte años), pero también tuvo otros trabajos y ejerció como administrador y funcionario público. En su juventud, cuando apenas tenía dieciséis años, se trasladó a Ámsterdam para ser aprendiz de un comerciante de telas de lino. Allí aprendió que una forma de evaluar la calidad de las telas era contar el número de hebras. Pero era imposible hacerlo a simple vista, se necesitaba la ayuda de una lupa. Leeuwenhoek no tenía ningún tipo de formación académica, pero era un hombre extraordinariamente curioso, por lo que decidió

fabricarse sus propias lentes. Y lo hizo tan rematadamente bien que pasó a la historia por ello. Sus lupas estaban compuestas por una lente convexa colocada cuidadosamente entre dos placas (de latón o plata). La muestra que quería observar la colocaba en la cabeza de un alfiler, que se podía mover hacia delante o hacia atrás, posibilitando el enfoque.

La incesante curiosidad de Leeuwenhoek hizo que no sólo usase sus lupas para evaluar la calidad de sus telas, sino que con estos artilugios estudió minuciosamente todo tipo de muestras diferentes, desde gotas de agua y granos de arena hasta muestras más escatológicas, como de sarro, heces o esperma, durante toda su vida. Cualquier planta, animal o cosa que se le ocurría pasaba por sus lupas. Las lentes que fabricaba eran de tal calidad que le permitían conseguir muchos aumentos, tantos que fue capaz de ver con muchísima claridad estructuras y seres vivos que hasta el momento habían sido invisibles al ojo humano. A pesar de que no se consideraba un científico al uso, sus allegados lo animaron a compartir sus descubrimientos, y así empezó a mandar cartas a la Royal Society of London explicando sus avances. Esta correspondencia en muchos casos iba acompañada de dibujos que mostraban lo que Leeuwenhoek iba observando bajo su lupa. Además, las cartas estaban escritas en holandés, ya que, al no tener formación académica, no sabía latín. Un día de 1677, Leeuwenhoek recogió una gota de agua de lluvia que había estado acumulándose durante varios días y decidió observarla bajo su lupa. En ella descubrió cientos de diminutos seres, claramente de formas muy distintas, que nadaban y corrían sin parar, a los que llamó «animálculos». Este pequeño hallazgo quedó recogido en los 17 folios y medio que tenía la carta número 18 enviada a la Royal Society of London, llamada «Carta de los protozoos».

Jamás he tenido ante mis ojos una visión tan placentera como estos miles de criaturas vivas, todas ellas en una gota de lluvia, moviéndose una a través de la otra y cada criatura demostrando su propia movilidad.

Fragmento de la carta 18 de
Anton van Leeuwenhoek, 1677

Unos cuantos años más tarde, en 1683, en su carta número 39 escribió lo que se considera la primera descripción confirmada de lo que hoy conocemos como bacterias. Este descubrimiento se produjo porque a Leeuwenhoek se le ocurrió la brillante idea de cotillear con una de sus lupas su propia boca, y para ello empleó muestras de sarro y de la superficie de la lengua. En la carta 39 añadió una serie de dibujos donde se mostraban claramente las formas más frecuentes de las bacterias.

Aunque el trabajo de Leeuwenhoek pasó bastante desapercibido entre la comunidad científica durante mucho tiempo, hoy se le reconocen sin duda alguna sus increíbles aportaciones a la CIENCIA. Sí, escribo ciencia en mayúsculas porque con sus observaciones contribuyó a descubrimientos en una gran cantidad de disciplinas científicas diferentes, como la anatomía, la fisiología, la embriología, la botánica, la zoología y la física. Este hombre sin formación académica hizo descubrimientos históricos para la ciencia gracias a su extraordinaria curiosidad y a su increíble habilidad para fabricar lentes consiguiendo descubrir un nuevo mundo hasta entonces invisible para nuestros ojos. Actualmente, Leeuwenhoek está considerado uno de los padres de la microbiología, ya que con sus observaciones asentó las primeras bases de esta nueva disciplina científica al describir las tres características básicas del mundo microbiano: a) está formado por seres vivos microscópicos, de un tamaño tan pequeño que no pueden ser detectados a simple vista por el ojo humano, por lo que es necesario usar microscopios o lupas para observarlos; b) es un mundo de una extraordinaria biodiversidad y existen muchos tipos diferentes de microorganismos con formas distintas, y c) los microorganismos son omnipresentes, están prácticamente en cualquier sitio de nuestro planeta.

Con el paso de los años Leeuwenhoek fue perfeccionando su técnica de tal forma que consiguió que sus lupas fueran de una calidad única. Y es que sus creaciones tenían la capacidad de alcanzar entre doscientos y trescientos aumentos, diez veces más que los mejores microscopios de su época. De hecho, la calidad de sus lupas no sería superada hasta 1830 (casi dos siglos después). Sin embargo, su desconfianza en la gente hizo que jamás le revelara a nadie la forma en la que construía sus lentes; ese misterio se lo llevó a

la tumba. Ese secretismo hizo que mucha gente pensara que había desarrollado una nueva forma de fabricar lentes, y se especuló mucho sobre ello. Sin embargo, por la forma en la que las lupas están construidas, su estudio es imposible. La lente es inaccesible, ya que ésta está atrapada entre dos placas de metal que sólo dejan el 10 por ciento de la lente a la vista, por lo que apenas tienen un mínimo agujero, de entre 0,5 y 1 milímetros de ancho, dependiendo de la lupa. Por si esto fuera poco, las lentes están aseguradas con remaches. Y, claro, debido a los pocos ejemplares de estas lupas que han llegado a nuestros días, desmontar estos artilugios no es que sea precisamente una opción. Sin embargo, las técnicas han avanzado mucho, y al personal investigador de la Universidad Tecnológica de Delft y del Rijksmuseum se les ocurrió utilizar una tomografía de neutrones para poder realizar una reconstrucción 3D de las lentes y poder estudiarlas sin correr el peligro de dañarlas. Para sorpresa de todos, la conclusión a la que llegó la investigación es que en la fabricación de las lentes no estaba implicada ninguna técnica novedosa ni nada por el estilo. Simplemente confirmaron que cada lupa estaba hecha artesanalmente de una forma excepcionalmente cuidadosa y que cada lente había sido pulida manualmente. De este modo, cada lupa tenía su propia curvatura y unos aumentos característicos que hacían necesario que para un perfecto ajuste cada lámina de metal se tuviera que adaptar especialmente. Y es que, aunque parezca mentira, al final Leeuwenhoek consiguió resultados increíbles utilizando una técnica extraordinariamente común.

De los más de quinientos ejemplares de lupas que Leeuwenhoek construyó a lo largo de su vida (lo que llevó a pensar que quizá tuviera una forma de producirlas en cadena), sólo se tiene constancia de que hayan llegado a nuestros días alrededor de una docena. Muchas de estas lupas fueron destruidas por el mismo Leeuwenhoek, tirándolas incluso a los canales de Delft. Aunque era muy celoso de sus creaciones, se sabe que, siendo ya muy anciano, regaló veintiséis de ellas a la Royal Society of London, pero se cree que se acabaron perdiendo en un incendio. Hoy en día sólo se conoce el paradero de diez ejemplares de estas lupas, las cuales están valoradas en casi medio millón de euros cada una. Curiosamente, la vendida en eBay ha sido la única en poder ser autenticada al cien por cien.

1.2. El tamaño y la forma importan

Entre todas las cualidades que tiene el ser humano como especie, el sentido de la vista no es que destaque especialmente por ser una de las más desarrolladas. Tenemos una capacidad de resolución limitada a los 50-100 μm (micrómetros), lo cual significa que no podemos ver seres ni objetos que sean más pequeños que ese tamaño. Por eso, los microorganismos, que suelen medir alrededor de un micrómetro o, lo que es lo mismo, 0,001 milímetros, son invisibles a nuestros ojos. Como no estamos acostumbrados a estas medidas tan pequeñas, que yo te hable en micrómetros quizá te parezca muy abstracto (lo mismo nos pasa con las medidas muy grandes), pero si te digo que en la cabeza de un alfiler pueden caber perfectamente tres millones de bacterias de tamaño medio, puede que te resulte más fácil hacerte una idea de su pequeño tamaño. Por ejemplo, la bacteria *Escherichia coli*, una de las más conocidas, mide 2 μm (0,002 milímetros), esto es, unas mil veces menos que un grano de sal.

Muchas veces los descubrimientos están limitados por la tecnología de la época, como bien se ha visto en múltiples ocasiones a lo largo de la historia de la ciencia. Por ejemplo, fueron necesarios Leeuwenhoek y sus lupas con la consiguiente mejora de la tecnología disponible en cuanto a lupas y microscopios en el siglo xvii para que se produjera el descubrimiento de los microorganismos. Pero... ¿por qué las bacterias tienen este tamaño tan pequeño? Resulta que las células bacterianas son así de pequeñas porque de ese modo tienen mucha de su superficie expuesta al medio en el que viven en comparación con su volumen. Así, cuanto más pequeñas sean, tendrán una mayor proporción del interior celular con un fácil acceso al exterior. Esto hace que a las bacterias les sea muy fácil captar alimento y agua de su alrededor sin la necesidad de realizar prácticamente ningún esfuerzo. Lo mismo ocurre con el material de desecho que producen y que deben eliminar, porque puede resultarles tóxico. En una célula con una gran superficie en relación con su volumen, las sustancias entran y salen más fácilmente. La energía que se ahorran en transportar sustancias varias hacia dentro o hacia fuera de la célula la pueden usar para otras cosas más importantes, como aumentar su velocidad de crecimiento o su metabolismo.

Pensar en la forma de las bacterias no es algo que se suele hacer a menudo y apenas se le presta atención. Pero si te paras a discurrir sobre esto que te estoy contando, tiene todo el sentido del mundo. Si el tamaño y la forma de las plantas y los animales son tan importantes para su vida y su supervivencia, ¿por qué no lo van a ser también para los microbios? ¿Por el simple hecho de que no los vemos? Leeuwenhoek ya lo decía en sus extensas cartas: los microbios son unos seres vivos muy diversos y existe una gran cantidad de tipos diferentes. Aun así, en general podemos decir que hay tres formas celulares consideradas clásicas: con forma de esfera (cocos), con forma de bastón (bacilos) o con forma de tirabuzón o espiral (espiroquetas). A mí siempre se me ha dado mal recordar estas formas y sus nombres, hasta que un buen día, cotilleando por Twitter, me encontré con un comentario de mi amigo Víctor G. Tagua (@Victagua) que me pareció una genialidad. Víctor había tenido la original ocurrencia de pensar en la forma de las bacterias desde un punto de vista culinario. En su tuit él perjuraba que los bacilos para nada tienen forma de bastón o de barra, que es como se suelen describir, sino que tienen, sin ningún tipo de duda, forma de croqueta. Pero aquí no acaba la anécdota, porque Twitter hizo su magia y apareció otra persona, @uxuola, comentando que sus alumnos comparaban las formas de las bacterias con diferentes tipos de Cheetos. Así, los Cheetos pelotazos eran los cocos, los Cheetos palitos eran los bacilos y los Cheetos rizo eran las espiroquetas. Aunque pueda parecer algo enrevesado, desde ese día siempre he recordado mucho mejor los nombres de las formas de las bacterias al asociarlos con comida.

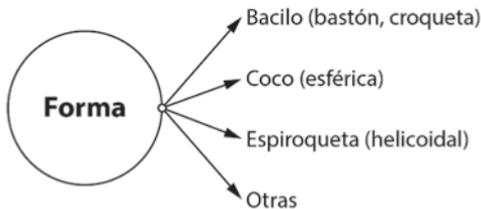


Figura 1. Clasificación de las bacterias en función de su forma

Fuente: Elaboración propia.

Aunque la apariencia que tenga una bacteria pueda parecerle algo arbitrario, en realidad es un elemento muy importante biológicamente hablando. Y esto se debe a que la forma puede afectar mucho a su vida, ya que permite que a la bacteria le resulte más fácil o más difícil vivir en determinadas condiciones. Pero la forma también consigue afectar directamente a su supervivencia, ya que influye a la hora de conseguir alimento y juega un papel muy importante para que las bacterias puedan defenderse de sus depredadores. De este modo, la forma de una bacteria puede favorecer o entorpecer el hecho de que algún depredador se la coma. Por un lado, las bacterias muy pequeñas o con una morfología que les permite ser muy rápidas pueden escapar mejor de aquellos seres vivos que se las quieran comer. También pueden ser demasiado largas o demasiado grandes, lo suficiente como para dificultar a su depredador que las engulla. Para esto algunas bacterias crecen en forma de agregados o en el interior de unas estructuras viscosas, de modo que se vuelven inaccesibles. En este caso, se denominan biopelículas o *biofilms*, en inglés, y hablaremos de ellas largo y tendido más adelante. A veces el tamaño de las bacterias está fuertemente influido por el ambiente donde viven y de los nutrientes que haya presentes. En este sentido, en un sitio donde las bacterias necesitan competir por el escaso alimento, las que tienen más probabilidades de salir triunfantes son las de mayor tamaño y alargadas. Además, les irá mucho mejor a aquellas bacterias que además tengan filamentos (unos pequeños pelillos o tentaculillos con diferentes funciones). En cambio, el vivir en lugares ricos en nutrientes provoca que algunas bacterias sean capaces de aumentar hasta tres veces su tamaño, no sólo a lo largo sino también a lo ancho, manteniendo constante la proporción tanto de proteínas como de ácidos nucleicos.

Hasta aquí hemos hablado de lo que podríamos decir que son las formas bacterianas más clásicas, pero a estas alturas no te extrañarás si te digo que en cuanto a la forma de las bacterias también se ha encontrado alguna que otra excepción. No puedo concluir este tema sin hablarte de las formas de microbios más «locas» de las que tengo constancia, y para ello voy a mencionarte dos ejemplos: la bacteria *Stella humosa*, que tiene forma de estrella de cinco puntas, y la arquea *Haloquadratum walsbyi*, cuya célula es

cuadrada. De hecho, hay quien dice que es como un sello de correos, por ser cuadrada y plana. ¡Flipa! Es bien sabido que en biología el tamaño importa y, por supuesto, en microbiología también. Las dimensiones consideradas normales de una bacteria suelen oscilar entre los 0,5 y 8 μm . Para nosotros una variación de tamaño como ésta puede parecer insignificante, pero es como si te digo que hay una especie de animal cuyos especímenes pueden tener el tamaño de un ratón y el de un conejo. Que un microbio tenga un tamaño demasiado pequeño puede significar que sea incapaz de hacer sus funciones más básicas con éxito, mientras que con un tamaño demasiado grande corre el peligro de ser ineficiente a la hora de introducir los alimentos y eliminar las sustancias de desecho con todo lo que ello supone. Ten en cuenta que una molécula pequeña como puede ser el oxígeno tarda alrededor de una hora en moverse por difusión la distancia de un milímetro. Como ya te he comentado, en biología es bastante normal que haya excepciones. Recientemente se ha publicado la noticia de la existencia de la bacteria más grande conocida hasta ahora, *Thiomargarita magnifica*, que se encontró en la parte sumergida de un manglar bañado por aguas sulfurosas en el archipiélago de Guadalupe (Antillas Francesas). Aunque fue descubierta en la década de 2010 por Olivier Gros, de la Universidad de las Antillas Francesas, su hallazgo tardó en llegar porque pensaron que era un hongo y a ellos mismos les costó cinco años darse cuenta de que en realidad es una bacteria. De hecho, no fue hasta 2022 que la comunidad científica se enteró de su existencia con lo que se conoce como un *pre-print*.

La forma más importante que tenemos los científicos de compartir los resultados y los avances de nuestras investigaciones es conseguir publicarlos como artículos científicos, y de ellos depende nuestro currículum y la posibilidad de conseguir financiación. Dicho de otra forma, un científico vale lo que sus publicaciones, ya sea en calidad o en cantidad, porque eso será lo que determine su facilidad para que lo contraten. Ya sea de forma gratuita o pagando, los investigadores tenemos que conseguir que una revista científica quiera publicar nuestros trabajos. Pero antes de decidir si un artículo se publica o no, las revistas científicas mandan un borrador del mismo a otros investigadores para que lo evalúen de forma anónima y gratuita, y decidan si está bien hecho, es decir, si

cumple con los estándares de calidad de la revista en cuestión y es adecuado para su distribución.

Un *pre-print* es un artículo científico que decides compartir metiéndolo en repositorios online antes de que sea aceptado por una revista y, por lo tanto, que no haya pasado ninguna revisión externa. Es decir, previamente no ha sido validado por la comunidad científica. Lo bueno de los *pre-print* es que, en teoría, cuanto más rápido se generan resultados científicos, más avanza el conocimiento. Sin embargo, este término puede dar lugar a confusión, sobre todo, para aquéllos ajenos al proceso de las publicaciones científicas como periodistas, políticos o el público general que pueden dar una importante difusión a estos artículos científicos prematuros convirtiéndose en algunos casos en peligrosas fuentes de desinformación. Después de esta breve aclaración sobre el sistema de publicaciones científicas y la problemática de los *pre-print*, sigamos con la *Thiomargarita magnifica*. Este microbio es capaz de alcanzar casi un centímetro de largo (¡la mitad de un cacahuete!) y tiene una estructura mucho más complicada de lo que es habitual en las bacterias, razón por la que algunas personas lo han propuesto como el «eslabón perdido» que podría ayudar a explicar el salto de complejidad que tuvo lugar en el paso de las células de tipo procariota (organismos unicelulares simples, sin núcleo) a la aparición de las eucariotas (organismos unicelulares y pluricelulares más complejos, con núcleo). Pero ésta no es la primera bacteria gigante que se conoce. La primera fue *Epulopiscium fishelsoni*, que se descubrió en la década de 1990. Bueno, en realidad se descubrió en la década anterior, pero al igual que con *Thiomargarita magnifica*, los investigadores no se creían que pudiera existir una bacteria tan grande y durante un tiempo se pensó que era otro tipo de microorganismo. Esta bacteria, que vive de forma obligada dentro del intestino del pez cirujano, suele medir entre 200 y 700 μm , aunque hay mucha variabilidad de tamaño entre sus diferentes representantes, ya que algunos sólo miden entre 30 y 150 μm . Debido a su «gran» tamaño, mantener una buena relación entre la superficie y el volumen celular le resulta algo complicado en comparación con otros microbios, así que esta bacteria tiene muchos pliegues para aumentar la cantidad de área expuesta efectiva. Si te paras a pensarlo, nosotros seguimos esta

misma estrategia en nuestro intestino para conseguir aumentar la superficie expuesta y facilitar el proceso de absorción.

Pero aquí no termina la cosa. Ya hemos visto que hay bacterias gigantes, pero es que también existen lo que se han llamado ultramicrobacterias, unas bacterias cuyo volumen celular es menor de $0,1 \mu\text{m}^3$ y que, por lo tanto, pueden atravesar los filtros de $0,22 \mu\text{m}$ que se suelen utilizar para esterilizar líquidos que no se pueden calentar, motivo por el cual también se conocen como microorganismos filtrables. Algunas ultramicrobacterias lo son siempre, mientras que otras pueden serlo o no dependiendo, por ejemplo, de factores externos que inducen su pequeño tamaño. Los científicos han descubierto que estas ultramicrobacterias se encuentran en una gran variedad de medios acuáticos, como lagos, acuíferos, glaciares, y en el medio marino. Estos seres suelen tener funciones muy básicas, probablemente a causa de su pequeño tamaño ($< 0,1 \mu\text{m}^3$) en comparación con otras bacterias como la típica *Escherichia coli* ($1,6 \mu\text{m}^3$) o las gigantes *Epulopiscium fishelsoni* ($3 \times 10^6 \mu\text{m}^3$) y *Thiomargarita namibiensis* ($2,2 \times 10^8 \mu\text{m}^3$).

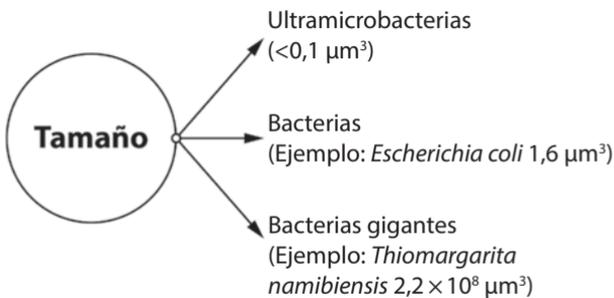


Figura 2. Clasificación de las bacterias en función de su tamaño

Fuente: Elaboración propia.

1.3. Llamemos a cada cosa por su nombre

En general, a las personas nos encanta ponerle nombre a todo. Por eso, cuando llega una nueva mascota a casa o se le regala un nuevo peluche a alguien, lo más normal es que ponerle nombre sea una de las primeras cosas que hacemos. Bueno, tengo que decir que a

veces parece que, más que gustarnos, hay gente que incluso siente la necesidad de ponerle nombre a cualquier cosa. Por ejemplo, hay quien le pone nombre a su portátil. Por supuesto, los científicos no nos quedamos atrás, y no sólo le ponemos nombre a todo, sino que cuando nos referimos a los seres vivos, éste tiene que ser único para cada especie, de forma que nos sirva para identificarlo sin que haya confusión posible. Así, en ciencia, se han desarrollado una serie de normas que se deben seguir a la hora de poner un nombre científico y que nos ayudan a evitar confusiones. Esto de ponerle nombre a las especies se denomina nomenclatura y, además, también nos ayuda a reunir a los seres vivos en diferentes grupos según su parentesco. Clasificar a los seres vivos es tan importante que incluso hay una ciencia, la taxonomía, que se dedica a ello. Pero ¿qué tiene que ver la clasificación de los seres vivos con ponerles nombre? Pues mucho, y es que la nomenclatura es una herramienta esencial para los taxónomos.

Hasta el siglo XVI, la forma de clasificar a los animales se basaba en una desarrollada por Aristóteles mucho tiempo atrás, en el siglo IV a. C. Sin embargo, con las primeras exploraciones de los europeos por Asia y América, empezaron los descubrimientos y, en muy poco tiempo, se disparó el número de nuevas especies. Además, cada idioma tenía su propio nombre para cada ser vivo (o más), lo que dificultaba en exceso a los científicos de la época compartir sus investigaciones con colegas de otras nacionalidades. ¡Era necesario organizar todo aquello!

Carlos Linneo (1707-1778) fue un botánico y zoólogo que creció en una familia de botánicos y agricultores, por lo que entendía perfectamente los problemillas que podía ocasionar que la gente se refiriese con multitud de nombres, incluso dentro de un mismo idioma, a una misma especie. Así que este hombre, que no era para nada modesto, ya que según él disponía lo que Dios creó, desarrolló una forma diferente de nombrar a los seres vivos que permitía clasificarlos y denominarlos de forma inequívoca. Aunque pueda resultar llamativo, la idea que tuvo Linneo de nombrar a cada especie con un nombre único revolucionó la biología por completo. Esta nueva forma de nombrar a los seres vivos tuvo, y aún tiene actualmente, una serie de ventajas sobre otros sistemas propuestos: a) es económica, ya que con sólo dos

palabras podemos identificar de forma infalible a cualquier ser vivo; b) es estable: aunque a veces hay que cambiar algún nombre *a posteriori*, siempre se intentan conservar en la medida de lo posible, y c) se usa: por muy bueno que sea un sistema, si la comunidad científica no lo promueve y no lo regula, está abocado al fracaso.

Su visionaria propuesta favorecía una forma «consensuada» de nombrar las especies para facilitar el intercambio de conocimientos, que es esencial para que la ciencia avance. Y no sólo esto, sino que, aunque él no creía en la evolución, su sistema y la forma de clasificar a los seres vivos que dio lugar ayudó a otros científicos de la época a ver las primeras relaciones entre las diferentes especies. Esto resulta bastante irónico, ¿verdad?, dado que él pensaba que estaba clasificando la obra de Dios, pues procedía de una familia con unas creencias religiosas muy profundas. Curiosamente, algunos de sus discípulos formaron un grupo que se conocía como los «Apóstoles de Linneo» y que se dedicaba a ir por el mundo recorriendo los diferentes países para describir nuevas especies, así como para recoger y enviar ejemplares y semillas con el objetivo de que Linneo los incluyera en su catálogo. Además, Nyander y Roos, dos de sus discípulos, también se encargaron de desarrollar en profundidad la idea que había planteado Linneo sobre que los microbios fueran la causa de las enfermedades infecciosas.

A pesar de que con el paso del tiempo su clasificación sufrió algunas modificaciones debido a descubrimientos y avances posteriores como la genética, Linneo dejó establecidas las bases de lo que los biólogos llamamos nomenclatura binomial. Y esto no es otra cosa que esos nombres científicos tan raros, formados por dos palabras en latín, que puedes encontrar en los envases de las latas de conservas o en los carteles de la pescadería con letra muy pequeña. Estos nombres científicos que están en bastantes sitios de la vida cotidiana, si nos fijamos bien, tienen que seguir una serie de normas internacionales, los llamados Códigos Internacionales de Nomenclatura.

Al igual que el resto de los seres vivos, el nombre de las bacterias sigue este sistema binomial formado por dos palabras en latín. Por lo tanto, siempre deben ir correctamente marcadas en el

texto con el uso de la cursiva, pero también pueden escribirse entre comillas o subrayadas en caso de escribirse a mano, porque son palabras que están en un idioma diferente, excepto si escribimos en latín, lo cual no veo muy probable. Además, irónicamente, los que hicimos «ciencias» en el instituto nunca estudiamos latín, ya que era una asignatura solamente para los de «letras». Pero prosigamos. Cada una de estas dos palabras que conforman el nombre de una bacteria tiene una función. La primera palabra, cuya inicial debe ir siempre en mayúscula, se corresponde con el género al que pertenece la bacteria. Por ejemplo, en *Escherichia coli*, el género sería *Escherichia*. Y la segunda palabra, que siempre se escribe totalmente en minúsculas, y que mucha gente dice que indica la especie, se corresponde con el nombre específico, porque el término *coli*, siguiendo con el ejemplo, no puede escribirse solo porque en sí no significa nada. Es decir, siempre tiene que ir precedido por el género. En este caso, el nombre de la especie es *Escherichia coli*, aunque es cierto que también se puede abreviar como *E. coli*, pero sólo si antes ya se ha mencionado el nombre completo. Además, siguiendo al nombre de la especie, también nos podemos encontrar un código alfanumérico, es decir, un conjunto de letras y/o números. Este código hace referencia a la cepa concreta a la que nos estamos refiriendo. Siguiendo el ejemplo anterior, tendríamos la cepa *Escherichia coli* ATCC 25922. Y en microbiología la cepa hace referencia a una bacteria concreta (y a todas en las que se va a ir dividiendo y que son idénticas entre sí). Me explico. Dos bacterias *Escherichia coli* van a ser diferentes en cuanto a sus características, pero dos *Escherichia coli* ATCC 25922 deberían ser completamente iguales genéticamente aunque se encuentren en diferentes partes del mundo. Otro aspecto a tener en cuenta es que, como en castellano estamos acostumbrados a que las palabras terminadas en «-a» o «-d» suelen ser femeninas y las que acaban en «-e», «-o», «-n», «-r» o «-l» suelen ser masculinas, por costumbre solemos asignar género a las bacterias. Sin embargo, los nombres de las bacterias no tienen género y debemos evitar lo de «el *E. coli*». En su lugar podemos referirnos a este microorganismo como la bacteria *E. coli*, el microbio *E.coli* o el patógeno *E. coli*.

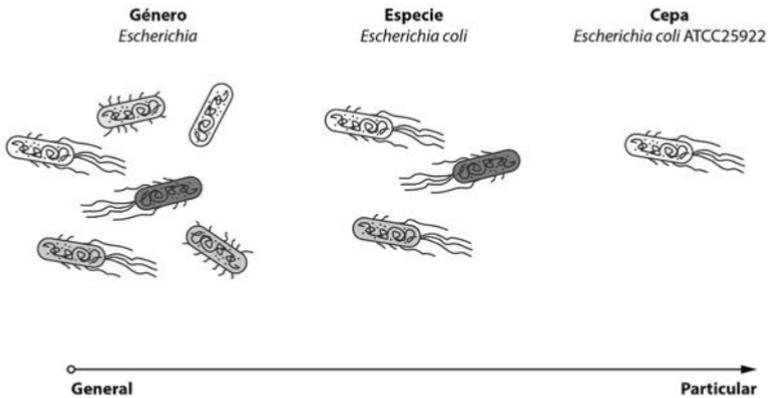


Figura 3. Explicación del nombre de una bacteria

Fuente: Elaboración propia.

Vale, ya sabes por qué las bacterias tienen dos nombres. Pero... ¿quién los elige? Bueno, la mayor parte de las veces la denominación del género viene dada, pero el nombre de la especie lo suele elegir la persona que hace el descubrimiento. En los casos más raros donde además se descubre un nuevo género, también se tiene la responsabilidad de elegirlo. En muchos casos, los científicos deciden nombrar al microorganismo en honor al sitio de donde se obtuvieron las bacterias. Volvamos al ejemplo de las bacterias gigantes. El nombre de *Epulopiscium fishelsoni*, bacteria aislada del intestino del pez cirujano, viene del latín *epulum*, que significa «invitado a un banquete», y *piscium*, «pez». Otras veces el nombre hace referencia a una persona, normalmente como reconocimiento, ya que actualmente está prohibido nombrar a una bacteria con la intención de insultar a alguien (sí, ya se ha hecho). Por ejemplo, el género *Elizabethkingia*, descubierto por Elizabeth King. Y, por último, pero no por ello menos importante, a veces la persona que descubre una bacteria tiene un lado friki que quiere sacar a relucir. Un buen ejemplo es la bacteria *Candidatus*¹ *Midichloria mitochondrii*, un microbio con un tipo de vida muy particular (intrami-

1. Las directrices del Comité Internacional de Bacteriología Sistemática dicen que las bacterias que no sean cultivables en el laboratorio deben clasificarse como *Candidatus*.

tocondrial) cuyo nombre hace referencia a los midiclorianos del universo de *La guerra de las galaxias*.

1.4. En todas partes

Puedes pensar en cualquier sitio que se te ocurra, pero estoy convencida de que será un lugar donde pueden vivir las bacterias. Incluso en los sitios más insospechados e inhóspitos hay bacterias que han conseguido sobrevivir y adaptarse a las condiciones más extremas. Bueno, parece que en casi todos, ya que hace un par de años unos investigadores europeos, liderados por la bióloga Purificación López García, del Centro Nacional para la Investigación Científica de Francia, fueron incapaces de encontrar vida en las charcas de Dallol (Etiopía). A pesar de que los científicos utilizaron diferentes métodos para intentar encontrar signos de vida, los cultivos tradicionales microbianos, las secuenciaciones masivas, los análisis químicos y la microscopía electrónica fueron inútiles. Así pues, estas masas de agua caliente (45 °C) hipersalinas e hiperácidas son uno de los pocos lugares de nuestro planeta donde parece que las bacterias no pueden sobrevivir. Y es que los microbios tienen una capacidad increíble para hacerse siempre un hueco en todos los hábitats. Sólo en nuestro intestino ya existen más bacterias que estrellas hay en la Vía Láctea. Repito, sólo en el intestino. Así que imagínate la cantidad de bacterias que pueden estar viviendo en todo el planeta, incluyendo todos los seres vivos, medios acuáticos y suelos... Ya sabes que a la gente de ciencias nos gusta hablar con cifras. Pues bien, se estima que en nuestro planeta hay 10^{30} bacterias (¡eso es un uno seguido de treinta ceros!). Supongo que ya te estás haciendo una ligera idea de la cantidad ingente de bacterias que viven tanto dentro de nosotros como a nuestro alrededor. Sin embargo, actualmente sólo conocemos «unos cuantos» grupos de géneros en comparación con el total de bacterias que existen. Y es que se cree que solamente somos capaces de hacer crecer en el laboratorio un 1 por ciento de todas las bacterias. Aunque gracias a las técnicas genómicas ya se han descubierto muchas bacterias nuevas a pesar de ser incultivables, el no poder cultivarlas en un laboratorio complica mucho su estudio. ¿Y por qué pasa esto? Pues

porque hay muchas bacterias que necesitan de unos requerimientos nutricionales que no somos capaces de replicar en el laboratorio muchas veces por desconocimiento, aunque también puede pasar que ciertas bacterias de crecimiento lento se pierdan en los medios de cultivo al compartir espacio con otras bacterias con un metabolismo más rápido que las dejan sin alimento.

La mayoría de los seres vivos que habitan nuestro planeta son microorganismos. Aunque los microbios más conocidos son las bacterias y los virus, también existen las arqueas. Conocidas en un principio como arqueobacterias, las arqueas son unos microbios muy parecidos «físicamente» a las bacterias. Al igual que éstas, están formadas por una única célula (son unicelulares) y no tienen núcleo ni orgánulos membranosos en su interior, razón por la que se pensó que eran un tipo especial de bacterias. Sin embargo, gracias al desarrollo de la tecnología y al avance en las técnicas de biología molecular, se descubrió que las arqueas son otra cosa. Se llegó a esa conclusión porque las arqueas son, en determinados aspectos, como en su genética y en los mecanismos mediante los cuales funciona la célula, muy diferentes a las bacterias. Curiosamente, en esto se parecen mucho más a las células eucariotas, que son aquellas que tienen núcleo y orgánulos membranosos, como las mitocondrias o el aparato de Golgi. Así que cuando los investigadores se dieron cuenta de que las arqueas eran muy diferentes a las bacterias (dominio Bacteria) y a las eucariotas (dominio Eukarya), llegaron a la conclusión de que éstas tenían que ir en un grupo aparte (dominio Archaea). Y en ese momento fue cuando pasaron de llamarse arqueobacterias a arqueas. En cuanto a los virus, yo no voy a meterme en el jardín de opinar sobre si realmente son o no seres vivos. Simplemente diré que para mí los virus son entidades biológicas que no están formadas por células. Por último, me gustaría recordarte que, aparte de estos «sencillos» seres, también hay microorganismos eucariotas, como las levaduras, e incluso eucariotas pluricelulares, como los indestructibles tardígrados (también conocidos como «osos de agua»). De hecho, los tardígrados son tan resistentes que se estudia la posibilidad de que los que iban en la sonda espacial israelí que se estrelló contra la superficie lunar hace unos años hayan podido sobrevivir en un estado latente y sólo necesiten de unas condiciones óptimas para volver en sí.

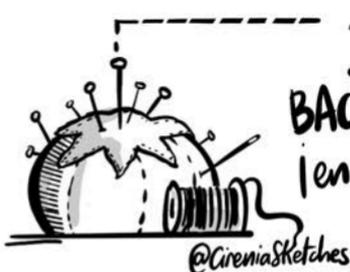
LAS BACTERIAS están en TODAS PARTES



pero son
INVISIBLES
al OJO HUMANO



Anton Van Leeuwenhoek observó BACTERIAS y MICROORGANISMOS con sus MICROSCOPIOS «DIY»



3.000.000 de BACTERIAS pueden caber en la cabeza de un ALfiler!

Algunas FORMAS BÁSICAS BACTERIANAS:

- COCOS ● BACILOS
- ESPEROQUETAS



A Linneo le debemos LA NOMENCLATURA BINOMIAL