

Nicolás Peruzzo / Alejandro Rodríguez Juele

BACTERIAS



Bacterias

Luces en el bacteri-cielo.

Prólogo	2
Luces en el bacteri-cielo	3
Glosario	43
Temas	47

Guión y dibujos:

Nicolás Peruzzo
Alejandro Rodríguez Juele

ARTE DE PORTADA:

Nicolás Peruzzo
DISEÑO GRÁFICO:
Estudio Rodríguez Juele

Comicbacterias

Vanesa Amarelle
Daniela Arredondo
Gastón Azziz
Valentina Carrasco
María José González
Ana Karen Malán
María Morel
Paola Scavone
Cecilia Taulé
Ana Umpiérrez

Agradecimiento:

Claudia Etchebehere



Proyecto seleccionado
por el Fondo Concursable
para la Cultura.
Ministerio de Educación
y Cultura, Uruguay.



Ministerio
de Educación
y Cultura



iibce
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS CLEMENTE ESTABLE



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



FACULTAD DE
CIENCIAS
UDELAR | fciencia.edu.uy



FACULTAD DE
AGRONOMÍA
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/> o envíe una carta a Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Peruzzo, Nicolás y Rodríguez Juele, Alejandro (autores)

Bacterias, Luces en el Bacteri-cielo

Primera Edición - Montevideo.

ComicBacterias, 2024

56 p. 23 x 16 cm.

ISBN: 978-9915-42-202-2

579.3 - Procariotas (Bacterias)

THEMA: AKLC1 - Novela gráfica y manga

Nicolás Peruzzo / Alejandro Rodríguez Juele

BACTERIAS

LUCES EN EL BACTERI-CIELO

COMIC
BACTERIAS

PRÓLOGO

¡Bienvenidos a esta nueva aventura de Coco y Fran!

En esta oportunidad nuestros personajes favoritos emprenden un viaje muy peligroso para resolver algunos enigmas que los tienen inquietos. Como no podía ser de otra manera, sus amigas Carsi y Rudii los acompañan en esta aventura, a la que se suma un nuevo amigo muy brillante. No queremos arruinar la historieta, pero este viaje será muy pero muy productivo, como las bacterias que estos amigos descubrirán.

Agárrense fuerte y prepárense para adentrarse en un misterioso mundo microscópico que tiene mucho para ofrecernos.

Nota: a lo largo de la historia encontrarán palabras en rojo, que significa que tienen una explicación más detallada en el glosario, al final de la historieta. Las palabras en negrita son palabras llevadas a lenguaje bacteriano, es decir, son un invento :P. Como yapa, al final del libro te contamos un poco más de todo lo que se “cocina” en este cómic.

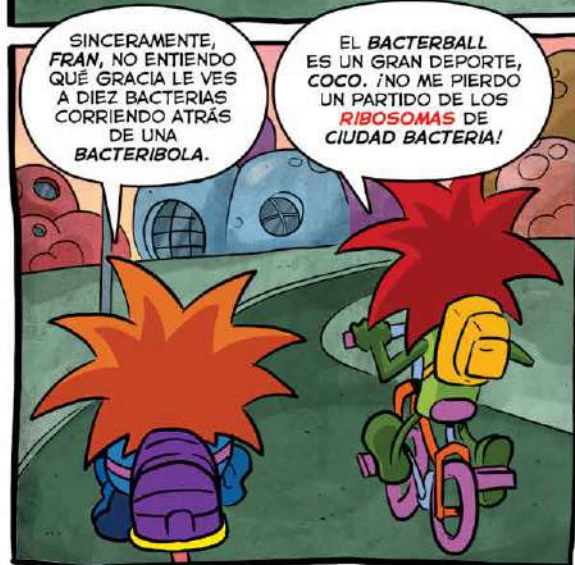
ACLARACIÓN: Los nombres científicos de los seres vivos se componen de dos palabras: el género y el epíteto o nombre específico. Se escriben siempre en Latín, con cursiva y solamente el género con mayúscula inicial, por ejemplo: *Escherichia coli* o su forma abreviada *E. coli*. La fuente utilizada para la historieta no permitió respetar esta norma, por eso los nombres de las especies aparecen todos en mayúscula.



ES LA HORA DE
IR A CLASE EN
CIUDAD BACTERIA



...ENTONCES
EL BASE LE PASÓ LA
BACTERIBOLA AL PIVOT,
PERO EL DEFENSA
CONTRARIO TENIA
FIMBRIAS MUY LARGAS
Y LE CORTÓ EL
PASE...



SINCERAMENTE,
FRAN, NO ENTIENDO
QUÉ GRACIA LE VES
A DIEZ BACTERIAS
CORRIENDO ATRÁS
DE UNA
BACTERIBOLA.

EL **BACTERBALL**
ES UN GRAN DEPORTE,
COCO. ¡NO ME PIERDO
UN PARTIDO DE LOS
RIBOSOMAS DE
CIUDAD BACTERIA!



HAY COSAS
MÁS IMPORTANTES
EN LA VIDA: EL TRABAJO
DE CIENCIAS,
POR EJEMPLO.



¿Y QUÉ
HICISTE VOS PARA
CIENCIAS?

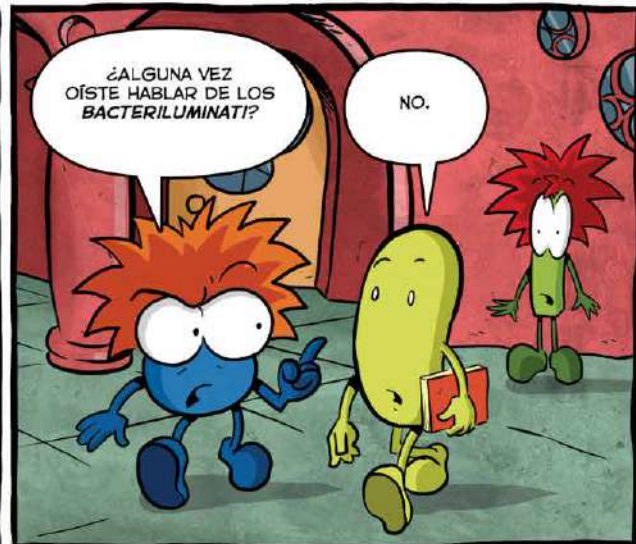




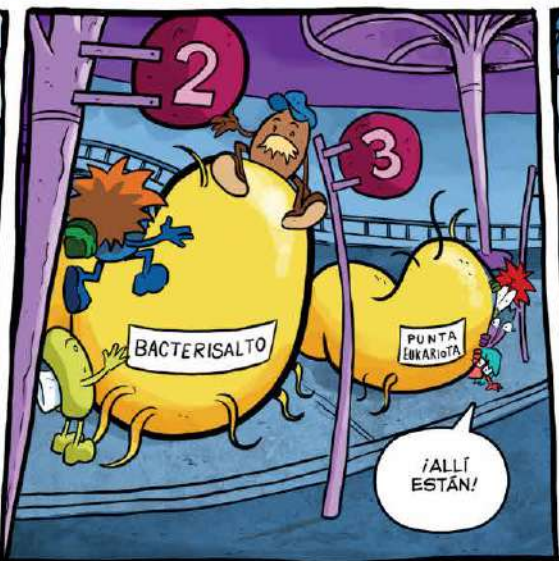


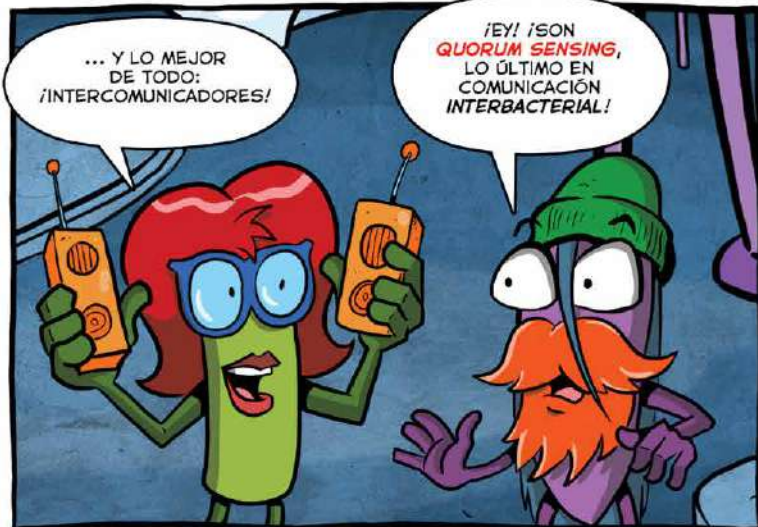
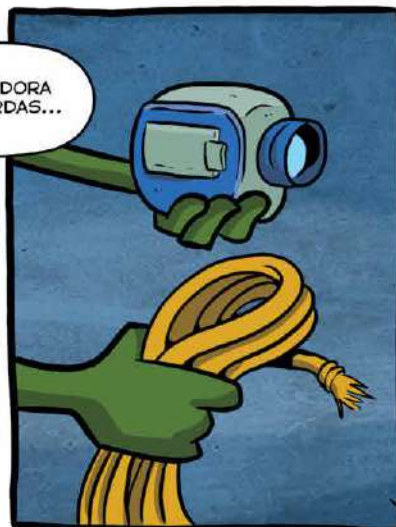
HOLA, YO SOY
COCO. ¿QUERÉS
HACER EL TRABAJO
DE CIENCIAS
CONMIGO?













SI PUDIERAS
VIAJAR EN EL TIEMPO,
¿A QUÉ MOMENTO IRÍAS,
FRÚO? YO AL
FUTURO.

YO VOLVERÍA
A LA CASA DE MI NIÑEZ,
DONDE JUGABA CON
MIS PRIMOS.



NADIE SE BURLABA
DE MÍ PORQUE TODOS
ÉRAMOS FLUORESCENTES.
JUGÁBAMOS A LAS
ESCONDIDAS DE
NOCHE.



ESTO ME HACE
ACORDAR A LA PELÍCULA
"QUERIDA, AGRANDÉ A
LAS ESPORAS"

/JE, JE!



FRAN,
¿POR QUÉ ESTÁS
TAN SERIO?
PARECÉS DARTH
BACTER.

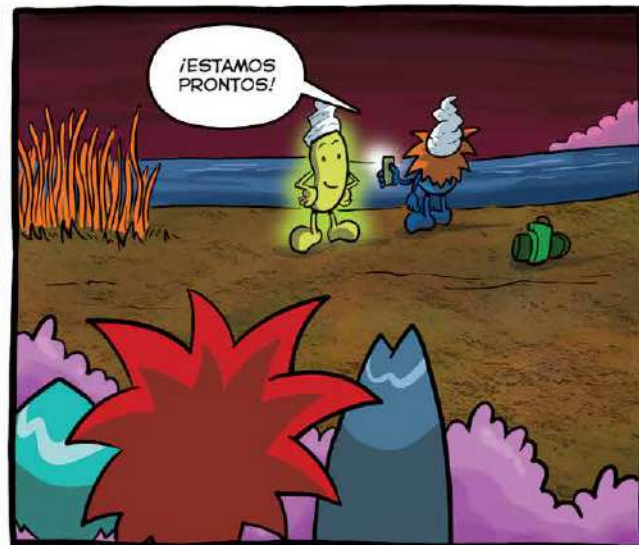
/JA, JA, JA!

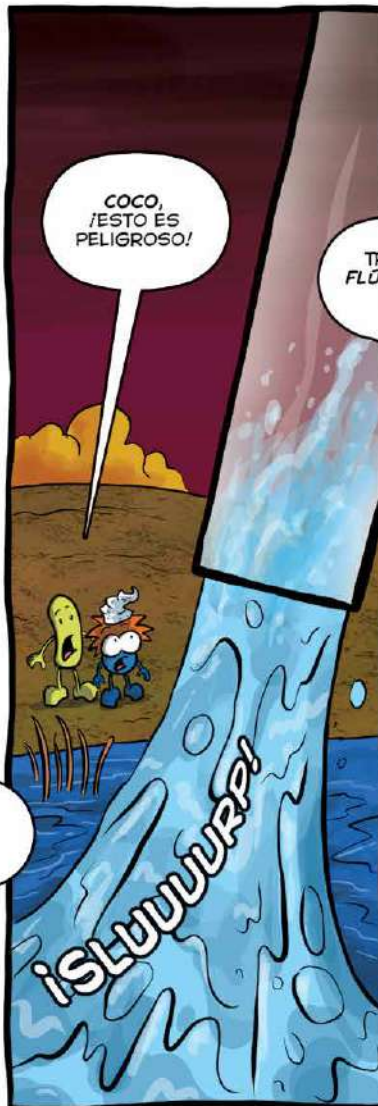


/SHH!
ESTAMOS EN UN
EXPERIMENTO
CIENTÍFICO. TENEMOS
QUE DEMOSTRAR
QUE, COMO SIEMPRE,
COCO ESTÁ
EQUIVOCADO.









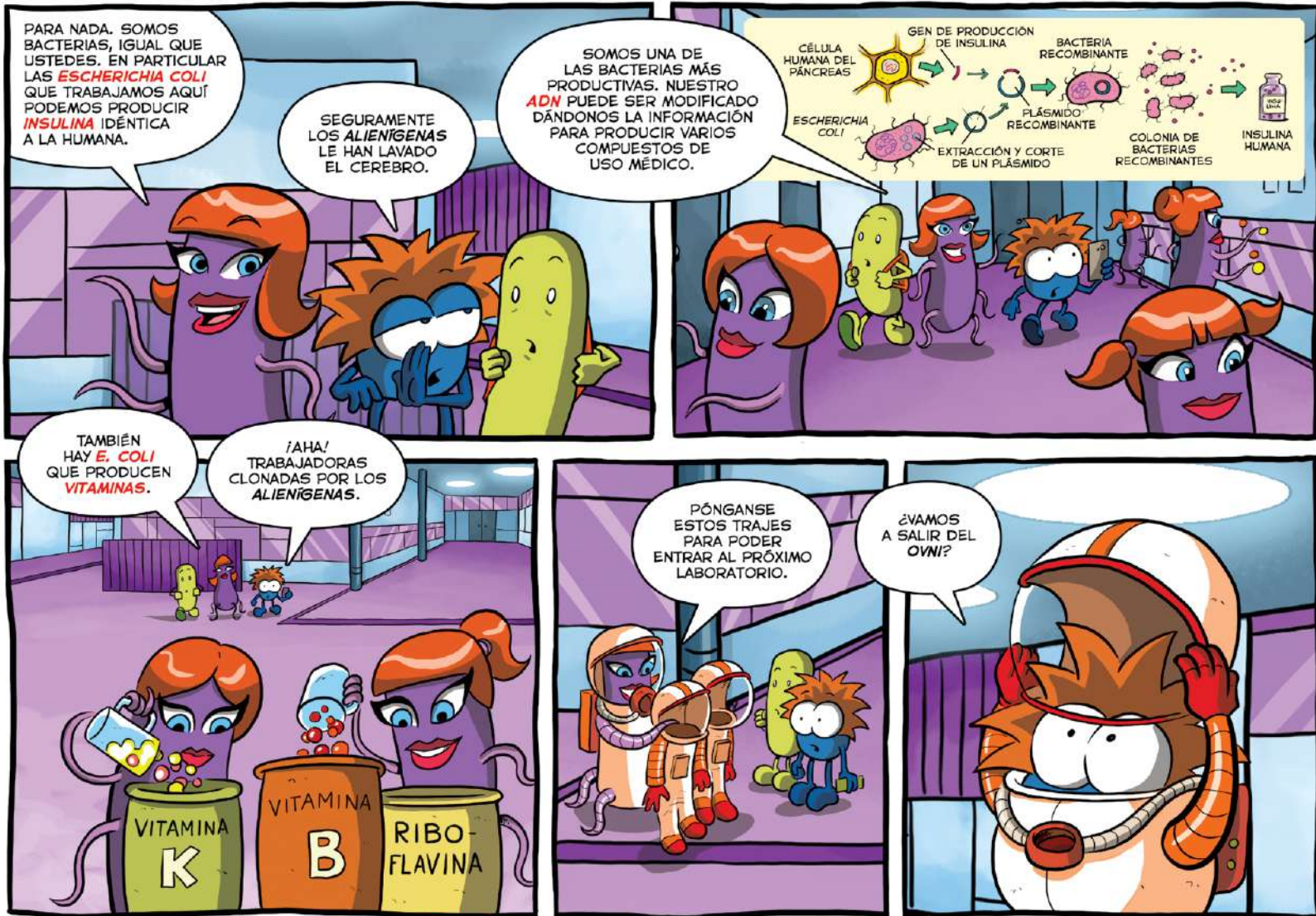














VAMOS A ENTRAR
A UN AMBIENTE SIN
OXÍGENO, PORQUE
ESTA BACTERIA ES
ANAEROBIA.

ADEMÁS ES
MUY RESISTENTE,
PUEDE SOBREVIVIR
A LA EBULLICIÓN
DEL AGUA.



**CLOSTRIDIUM
BOTULINUM** ESTÁ
PRODUCIENDO LA **TOXINA
BOTULÍNICA**, UNO DE LOS
VENENOS NATURALES
MÁS POTENTES
QUE EXISTEN.

EL **BOTOX®**
TIENE MUCHA DEMANDA.
NO PUEDO IMAGINARME
PARA QUÉ LO USAN
LOS HUMANOS.

¿EH?



¡FUERA DE AQUÍ!
NO PUEDEN ENTRAR
BACTERIAS
EXTRAÑAS A MI
LABORATORIO.

¡OH,
NO!



¡INTRUSOS!
¡NO ESTÁN
AUTORIZADOS
A INGRESAR!

¡CORRAN!
¡SALGAN DE
ESTE LUGAR!



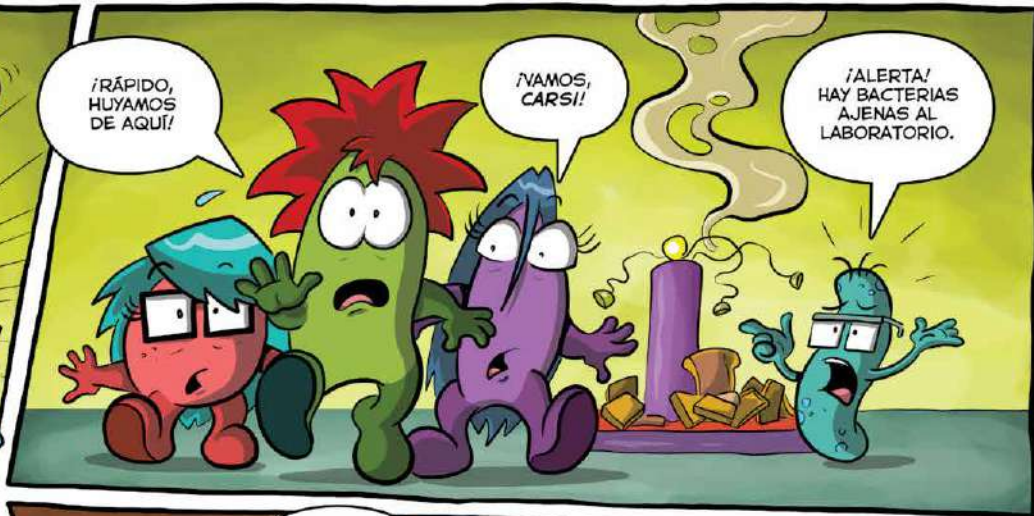
¡RÁPIDO FLÚO!
ESTAS CAJAS
NOS LLEVARÁN
FUERA DE AQUÍ.



MÁS SOBRE LOS **BIOPLÁSTICOS** EN EL GLOSARIO













ACIDITHIOBACILLUS FERROOXIDANS,
POR EJEMPLO EXTRAE
METALES PESADOS DE
LOS MINERALES...



...OXIDÁNDOLOS
PARA QUE LOS
METALES SE VUELVAN
SOLUBLES.



VUELVE **INSOLUBLES**
LOS METALES PARA
SEPARARLOS DEL LÍQUIDO
CONTAMINADO, INCLUSO
ALGUNOS RADIACTIVOS
COMO URANIO O
PLUTONIO



/INCREÍBLE/
NO SABÍA QUE LAS
BACTERIAS PODÍAMOS
HACER COSAS COMO
ÉSTAS.









EL INTERCOMUNICADOR
DETECTA LAS MOLÉCULAS
DE **QUORUM SENSING**
Y TE VA A INDICAR
EL CAMINO, COCO.

A 100 **MICRÓMETROS**
GIRA A LA IZQUIERDA
POR EL PASILLO B34.

POR
SUERTE ESTÁN
CARGADOS LOS
PLANOS DEL
OVNI.

¿QUÉ PASÓ?
¿FRAN ESTÁ
BIEN?

¡RESISTÍ,
FRAN!
YA LLEGÓ
COCO.

¡AH!
PENSÉ QUE
SE HABÍA
OLVIDADO
DE MÍ.

ESTOY ACÁ,
TRANCADO.

¿DÓNDE
ESTÁS, FRAN?
NO SE VE
NADA.

TRATÁ DE
ACERCARTE
A MÍ.

¿ESTÁS
LASTIMADO?

NO.
EL **PHA**
ME PROTEGIÓ
EN LA CAÍDA,
PERO QUEDÉ
ATASCADO.

ES QUE
NO ME PUEDO
MOVER,
COCO.

¡AHORA
TE VEO, COCO!
¡DAME LA
MANO!

¡TE
TENGO!

¡HOLA
AMIGOS!

¡FLŪO!
¡TE LIBERARON LOS
ALIENÍGENAS!





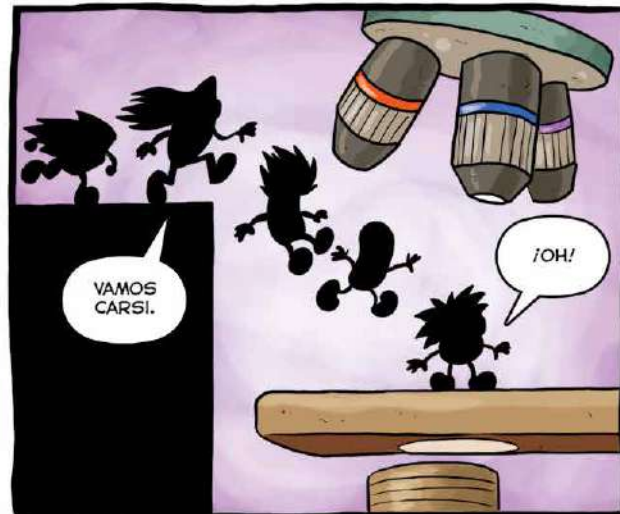
¡AHÍ
ESTÁN!

¡DETÉNGANLOS!

¡POR ALLÁ!
¡SALTEN A ESA
ESTRUCTURA!



NOS OLVIDAMOS
DE DEGRADAR EL
RASTRO DE MOLÉCULAS
DE **QUORUM SENSING**,
POR ESO NOS
UBICARON.



VAMOS
CARSI.

¡OH!



¡SON LOS
ALIENÍGENAS!
¡INTENTARE
COMUNICARME
CON ELLOS!



¡CORTALA CON LOS
ALIENÍGENAS, COCO!
TENEMOS QUE HUIR
DE ACÁ.





TRATAMIENTO DE EFLUENTES



EN ESTA PLANTA NOS ASEGURAMOS QUE EL AGUA RESIDUAL DEL LABORATORIO SEA SEGURA PARA DEVOLVER AL AMBIENTE.

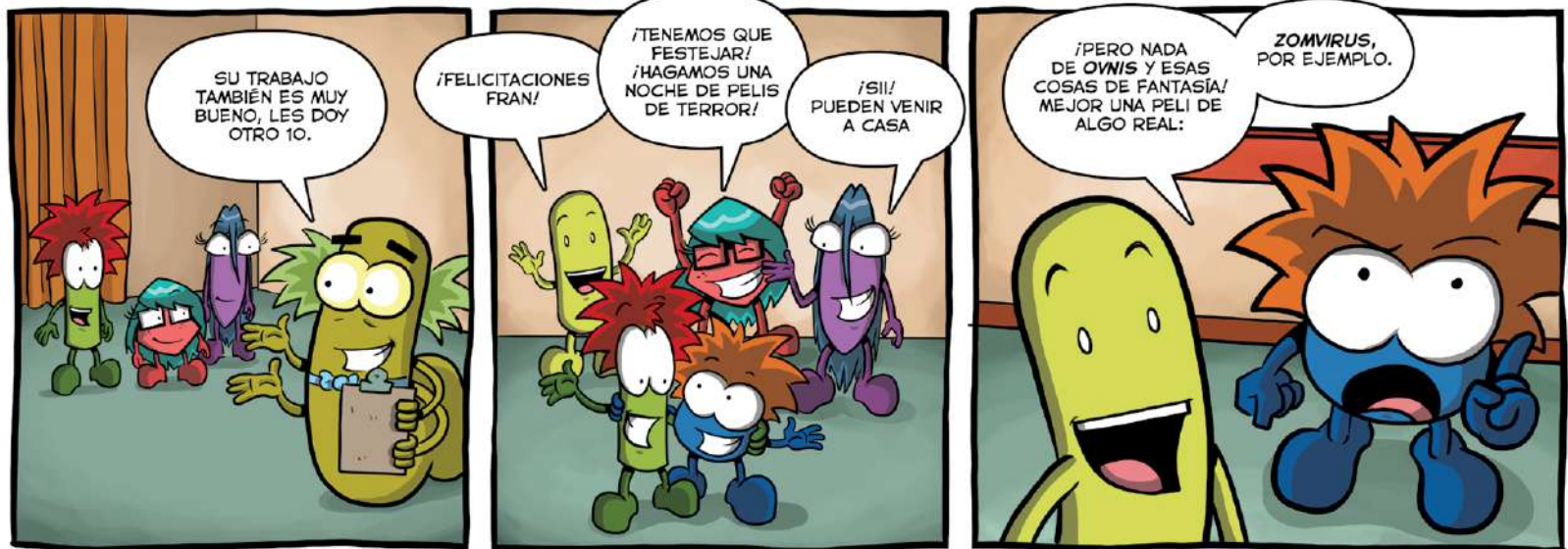
YO SOY FLAVOBACTERIUM Y SOY PARTE DE LA COMUNIDAD ENCARGADA DE ESTE COMPLEJO PROCESO.











GLOSARIO

Aquí encontrarás definiciones de las palabras que están **DESTACADAS** en la historieta.

Acidithiobacillus

ferrooxidans: Bacteria que vive en condiciones ácidas (pH ácido con valores muy bajos, incluso menores a 3), transformando metales **insolubles** en formas solubles. Es utilizada en la extracción de metales de interés comercial (biominería) a partir de minerales obtenidos en las minas y en la **biorremediación**.



ADN: el ADN (Ácido Desoxirribonucleico) es la molécula que contiene toda la información genética de un organismo. Un fragmento de ADN en particular puede tener las instrucciones que indican que una persona tendrá los ojos celestes, que una bacteria tendrá forma de coco o que será capaz de producir cierta proteína.

Anaerobio: significa “sin oxígeno”. Las bacterias anaerobias viven y se multiplican en ambientes que no tienen oxígeno; algunas incluso pueden no sobrevivir en presencia de oxígeno. Los podemos

encontrar en ambientes como fondos de lagos y también en nuestro intestino.

Bioplástico: Como la palabra lo indica, son plásticos de origen biológico (bio = vida). Son una alternativa sustentable a los plásticos tradicionales derivados del petróleo, ya que se producen a partir de recursos naturales renovables (que nunca se acaban). Muchos de los bioplásticos son **biodegradables**, y algunos ¡son producidos por bacterias! Uno de los bioplásticos bacterianos más conocidos y utilizados es el PHB (Poli-Hidroxibutirato), que es un tipo de PoliHidroxialcanoato, o **PHA**. En el dibujo vemos a la bacteria *Ralstonia eutropha*, y los lunares celestes en su interior son gránulos de **PHA**.

Biodegradable: Algo es biodegradable cuando puede ser descompuesto o degradado por bacterias u otros organismos vivos. Por ejemplo, si un envase fabricado con **bioplásticos** bacterianos (como PHB) termina en el suelo, será utilizado como fuente de alimento y energía por bacterias que viven en el suelo y entonces, lo degradarán.



Biorremediación: De bio = vida; remediación = restauración, rehabilitación o recuperación. Es una práctica o proceso que se basa en el uso de organismos vivos (normalmente microorganismos o plantas), o algo producido por ellos (enzimas, por ejemplo) para reducir o eliminar compuestos tóxicos y así recuperar sitios contaminados (aguas, suelos).

Candidatus: Cuando el nombre de una bacteria está precedido por la palabra ‘Candidatus’ es porque esa bacteria no se ha podido obtener aislada en cultivo puro en el laboratorio. Se sabe de su existencia y se la ha estudiado analizando su **ADN**. Es una bacteria candidata.

Chloroflexota: Es un grupo de microorganismos muy frecuente en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Su principal característica es que son filamentos muy largos. Éstos forman como una red que ayuda a que los microorganismos se agrupen dentro del agua. Para que los sistemas funcionen es fundamental que los microorganismos estén agrupados en flóculos o gránulos, lo que facilita separar el agua tratada (limpia) de los microorganismos.

Clostridium botulinum: es una bacteria **anaerobia** que produce la **toxina botulínica**, agente causal del botulismo (una enfermedad poco frecuente pero grave). Es móvil, tiene forma de bastón y produce **esporas** resistentes que le permiten persistir mucho tiempo en diversos ambientes. Cuando las condiciones pasan a ser favorables las esporas crecen.

Toxina botulínica (Botox®): Es un compuesto tóxico producido por la bacteria *Clostridium botulinum*. Su ingestión, generalmente a través de alimentos mal conservados, puede derivar en una enfermedad grave denominada botulismo. Se trata de la toxina más potente de origen biológico conocida, millones de veces más letal que el cianuro. En pequeñas dosis, la toxina botulínica tiene un uso cosmético y farmacéutico, conocido comercialmente como Botox®. Se utiliza para tratar arrugas de la piel y enfermedades neurológicas.

Contaminación: Hablamos de contaminación de un objeto o entorno cuando hay organismos o sustancias que normalmente no deberían estar allí, y que de algún modo lo afectan. Por ejemplo, los suelos están contaminados cuando se acumulan en ellos compuestos tóxicos, como los **metales pesados**, o el agua de un arroyo puede estar contaminada con virus o bacterias y no ser apta para bañarnos, como sucede en las playas, a veces, con las cianobacterias.

Escherichia coli: son bacterias que viven principalmente en el intestino de los animales de sangre caliente (mamíferos, por ejemplo), pero además se dice que son cosmopolitas porque pueden sobrevivir de forma natural en múltiples ambientes como suelo, agua y alimentos. Algunas pueden causar enterocolitis, infecciones urinarias, septicemia, meningitis o



mastitis, entre otras varias enfermedades, pero no todas son patógenas. *Escherichia coli* es uno de los microorganismos más estudiados de la historia, y se usa como modelo para investigaciones genéticas, de resistencia a antibióticos y para la producción de proteínas tanto a escala de laboratorio como industrial.

Espora: son estructuras producidas por los microorganismos como mecanismo de supervivencia en momentos de estrés ambiental. Algunas bacterias pueden producir endosporas o exosporas, según se formen dentro de la célula bacteriana, o por fuera, respectivamente.

Esterilizar: significa destruir o eliminar todas las formas de vida en algo (una superficie, un recipiente, un líquido, etc.) y de ese modo, se lo deja libre de bacterias o cualquier otro ser vivo.

Exopolisacáridos: De *exo* = por fuera, *poli* = muchos; *sacáridos* = azúcares. Son macromoléculas o **polímeros** producidos por microorganismos hacia el exterior de sus células. Pueden mantenerse unidos de forma fuerte o ligera a la superficie celular. Confiere resistencia y protección frente a factores de estrés.

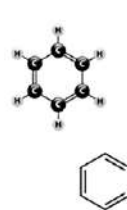
Fimbrias: son prolongaciones finas, semejantes a pelos, hechas de proteínas, que se encuentran en la superficie de bacterias. A veces se presentan en grandes números. Les sirven a las bacterias para adherirse o pegarse a los objetos y superficies.

Geobacter metallireducens: es una bacteria capaz de utilizar metales durante la respiración, generando electricidad. Al hacerlo, reduce la toxicidad de **metales pesados**, algunos radiactivos, como uranio y plutonio. También degrada **hidrocarburos aromáticos**. Por ello, es útil tanto en la **biorremediación** de ambientes contaminados como en la generación de bioelectricidad.

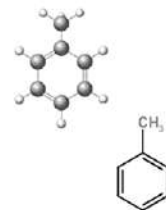


Hidrocarburos

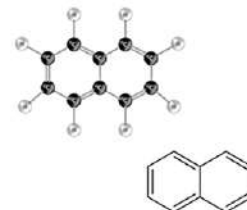
aromáticos: Los hidrocarburos son sustancias compuestas solamente por carbono e hidrógeno, y son aromáticos cuando forman anillos, llamados comúnmente anillos de benceno (ver imagen). Los hidrocarburos aromáticos son estables y a veces, difíciles de degradar. Pueden ser tóxicos y cancerígenos. Algunos ejemplos son el benceno, el tolueno y el naftaleno.



BENCENO



TOLUENO



NAFTALENO

Insoluble: una sustancia es insoluble cuando no se puede disolver o mezclar en otra sustancia específica, y entonces ambas se mantienen separadas. Ejemplos: el aceite es insoluble en agua (no se mezclan). Un ejemplo contrario es el azúcar que es soluble en agua (se disuelve, se mezclan).

Insulina: hormona de nuestro cuerpo que regula los niveles de glucosa (azúcar) en sangre. Actúa como una “llave” que permite que la glucosa entre en las células y sea almacenada o utilizada para producir energía. La incapacidad de nuestro cuerpo para producir o utilizar la insulina puede llevar a desarrollar una condición llamada diabetes, donde los niveles de azúcar en la sangre se vuelven difíciles de controlar. Gracias a la producción de insulina recombinante en bacterias, hoy podemos utilizarla para tratar pacientes con diabetes que la requieran.

Método científico: procedimiento que consta de etapas o pasos con los que podemos obtener conocimiento objetivo sobre un problema u observación real. Se utiliza para cualquier investigación seria y rigurosa, es flexible, y se adapta a cada situación. Consta de: observación, pregunta, hipótesis verificable, experimentación para probar la hipótesis, análisis de resultados, y conclusión.

Micrómetro: Medida de longitud que equivale a la millonésima parte del metro, es decir que, si en un metro hay un millón de micrómetros, en un milímetro hay mil micrómetros. El símbolo es μm , donde “ μ ” (letra griega “mu”), es el símbolo científico usado para abreviar la palabra “micro”. Los microorganismos, como las bacterias, son tan

pequeños que sus dimensiones generalmente se describen en μm .

Mitocondrias: Estructuras que se encuentran dentro de las células eucariotas (nuestras células, por ejemplo) y que se encargan de producir la mayor parte de la energía necesaria para la vida de esa célula. Las bacterias son células procariotas, no tienen mitocondrias.

Metales pesados: son elementos químicos que presentan una densidad alta. Se encuentran en el ambiente de forma natural, en minerales, por ejemplo. Su uso para producir compuestos químicos puede llevar a que se acumulen en grandes cantidades en el aire, suelo y agua causando serios problemas ambientales de **contaminación**. En general suelen ser tóxicos. Algunos ejemplos son el mercurio, el cadmio, el plomo y el cromo.

Nitrosomonas: Es un género de bacterias capaces de utilizar amonio (NH_4^+) como fuente de energía y transformarlo en nitrito (NO_2^-). Viven en varios ambientes, desde el suelo a los océanos. Junto a **Nitrobacter**, son muy importantes en el ciclo del nitrógeno.

Nitrobacter: Es un género de bacterias capaces de utilizar nitrito (NO_2^-) como fuente de energía y transformarlo en nitrato (NO_3^-). Generalmente viven cerca de microorganismos oxidadores de amonio, como las **Nitrosomonas**, para obtener fácilmente el nitrito. Son muy importantes: el nitrato, como el que producen, es una forma de nitrógeno muy apetecible para las plantas.

PHA: es una sigla que significa PoliHidroxiAlcanoatos. Son **polímeros biodegradables**, producidos por microorganismos como reserva de carbono y energía (forma de acumular alimento, como la grasa en humanos). Como el PHA se puede degradar en ambientes naturales de forma rápida, es una alternativa para producir plástico **biodegradable** (o **bioplástico**) que sustituya al plástico sintético que se produce a partir del petróleo.

Polímeros: De *poli* = muchas; *mero* = parte o porción. Son moléculas grandes (macromoléculas), que se forman por la unión de moléculas más pequeñas denominadas monómeros. Suelen tener diversas propiedades, desde flexibles a rígidos, de permeables a impermeables, y suelen ser fáciles de modificar para moldear piezas. Un ejemplo de polímeros son los plásticos.

Pseudomonas fluorescens: es una bacteria que se puede encontrar en suelos, agua, plantas, y animales.

Promueve el crecimiento vegetal mediante varios mecanismos. Produce un compuesto llamado ploverdina que cuando se expone a la luz ultravioleta produce una fluorescencia verde-amarilla, y de ahí surge el nombre de esta bacteria. Cuando hay poco hierro



en su entorno, la bacteria produce la pioverdina que le sirve para capturar el hierro necesario para el crecimiento. Estas bacterias pueden degradar tóxicos contaminantes, como algunos **hidrocarburos aromáticos**.

Pseudomonas putida: es una bacteria que puede degradar compuestos complejos como los **hidrocarburos aromáticos** y por eso se estudia mucho su aplicación industrial en **biorremediación**. Puede asociarse con las raíces de plantas y en algunos casos puede producir **bioplásticos**.

Quorum sensing: sistema de comunicación entre bacterias que funciona a través de señales químicas, es decir moléculas que se acumulan dependiendo de la cantidad de bacterias existente en una población. Solo cuando se alcanza un número de bacterias adecuado (*quorum*) en la población, las bacterias detectarán la señal y cambiarán su comportamiento.

Ralstonia eutropha: Es la bacteria que se ha usado tradicionalmente en la producción de **bioplásticos**, ya que puede acumular naturalmente grandes cantidades de **PHA**. Se la puede encontrar en el suelo y en el agua.

Ribosoma: son estructuras que se encuentran dentro de las células y que participan en la fabricación de las proteínas, indispensables para la vida de la célula. Las proteínas están compuestas por aminoácidos, que son moléculas que se combinan en un orden determinado gracias a la acción de los ribosomas y a la información genética.

Riboflavina: la riboflavina, o vitamina B2, es un nutriente clave para el desarrollo y el crecimiento saludable. Participa en muchos procesos, entre ellos el mantenimiento de la salud de la piel, la vista, y el sistema nervioso. Se encuentra presente en varios alimentos como lácteos, huevos, carnes magras, pescado, vegetales de hojas verdes y algunos cereales. Esta vitamina también es producida a escala industrial utilizando microorganismos, particularmente hongos y levaduras.

Sesgo de confirmación: ocurre cuando tendemos a buscar y aceptar información que respalde lo que ya creemos, a la vez que ignoramos o descartamos la información que contradice nuestras ideas.

Vitaminas: son nutrientes esenciales para el desarrollo y el crecimiento saludable. Las vitaminas regulan funciones celulares, permiten la absorción de nutrientes, participan en la formación de hormonas y glóbulos rojos, entre otras funciones esenciales.



APLICACIONES DE LAS BACTERIAS

Desde hace siglos las bacterias, al igual que otros microorganismos, son empleadas por el ser humano para llevar a cabo una gran variedad de procesos y para producir un montón de cosas. Muchos de nuestros alimentos y bebidas existen gracias a los microorganismos: el pan, los quesos, el yogurt, la cerveza, el vino, y muchísimos otros. Con el paso del tiempo y el avance de la ciencia, las aplicaciones de las bacterias se han diversificado enormemente, abarcando desde la producción de antibióticos y otros productos farmacéuticos, enzimas, alimentos, plásticos biodegradables, bioinsumos para el agro (como los inoculantes), energías alternativas, tratamiento de aguas residuales, descontaminación de sitios contaminados, entre muchos otros. A continuación, les contamos un poco más de las aplicaciones que tienen las bacterias, sobre todo, las aplicaciones que vimos en el cómic.

PRODUCCIÓN DE COMPUESTOS FARMACÉUTICOS Y MÉDICOS

Las bacterias son los organismos estrella para la producción de proteínas y compuestos de interés comercial ¿Por qué? Porque las bacterias son fáciles de cultivar y mantener vivas en el laboratorio y en plantas industriales. Además, se pueden conseguir grandes cantidades de células bacterianas en muy poco tiempo y en un volumen pequeño. Por

ejemplo, en el laboratorio es común obtener mil millones de células en tan solo 1 mL de líquido (llamado medio de cultivo, y que contiene todo el alimento necesario para el crecimiento de las bacterias), y ¡en tan sólo 16 horas! Esto se debe a que algunas bacterias se duplican muy rápidamente (las más rápidas lo hacen en 10 minutos), y entonces en un breve tiempo se puede obtener un montón de células idénticas (clones).

Además, la ciencia ha investigado cómo manipular genéticamente a algunas bacterias, y ya podemos modificar su genoma (ponerle o sacarle genes, por ejemplo). Esto se conoce como ingeniería genética. Todos estos factores hacen que las bacterias sean unas fábricas perfectas a las que podemos introducir información (genes) para que lleven adelante procesos que nos interesan, por ejemplo, producir insulina o antibióticos.

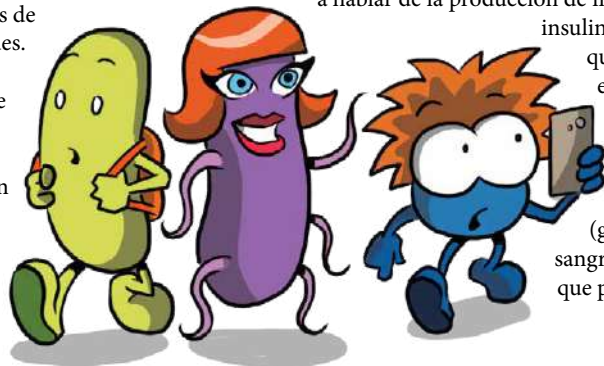
Entre todas las bacterias hay una que es la mejor del mundo mundial, que puede “programarse” mediante ingeniería genética, para que se transforme en una “fábrica viva”: *Escherichia coli*.

Existen muchas variantes (llamadas “cepas”) de *Escherichia coli* y algunas de ellas causan enfermedades. Sin embargo, las cepas de *Escherichia coli* que se usan en los laboratorios de investigación y en procesos industriales son variantes sumamente estudiadas y no patógenas (no causan enfermedad en

humanos y animales), y son fácilmente adaptables a distintos objetivos. Esta bacteria se utiliza para la expresión recombinante de muchas proteínas en la industria farmacéutica y alimentaria y se investiga mucho a nivel experimental, como en el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable, la Facultad de Agronomía o la Facultad de Ciencias, donde trabajamos quienes formamos parte de ComicBacterias.

¿Qué es la expresión recombinante? Es cuando manipulamos genéticamente a una bacteria para que produzca (exprese) una proteína (o un compuesto) que ella no puede producir por sí misma pero que a nosotros nos interesa ¿Cómo lo hacemos? Le introducimos información genética (ADN), que lleva las instrucciones para que la bacteria produzca ese compuesto o proteína, al que llamaremos proteína recombinante. Existen muchos microorganismos que actualmente se utilizan para la producción de proteínas recombinantes, pero *Escherichia coli* está en el “top” de la lista.

Como ejemplo de expresión recombinante vamos a hablar de la producción de insulina. La insulina es una hormona que se produce en el páncreas y se encarga de mantener los niveles correctos de azúcar (glucosa) en la sangre. En las personas que padecen diabetes,



el páncreas tiene problemas para producir insulina (produce muy poquita). Como hay poca insulina, se empieza a acumular la glucosa en la sangre, algo que no es saludable. Por suerte, hace varios años que existe un tratamiento para la diabetes en el que se inyecta insulina a los pacientes que no la producen de forma suficiente ¿De dónde sale esa insulina inyectada? Originalmente se obtenía del páncreas de los cerdos (porque el páncreas de cerdo, como el del humano, produce insulina). El problema es que como no era 100% idéntica a la insulina humana, algunos pacientes presentaban problemas de alergias ¿Cómo se solucionó esto?: produciendo la insulina humana en bacterias genéticamente modificadas. De esta manera, las bacterias producen insulina idéntica a la humana de forma industrial. Para su producción, las bacterias se colocan en grandes fermentadores (tanques de 20.000 a 200.000 litros), conteniendo medio de cultivo líquido, con condiciones de pH, temperatura, oxígeno y nutrientes controlados. Una vez que se produce la insulina, se debe extraer y purificar. Este proceso es muy importante, ya que permite salvar muchas vidas.

En el esquema de la página 23 se muestra la producción de insulina humana, que comienza con la introducción del gen de la insulina humana en un plásmido. Los plásmidos son fragmentos de ADN circulares, que nos permiten introducir material genético en bacterias. Con unas “tijeras moleculares” (enzimas de restricción) cortamos el plásmido, y le “pegamos” el gen de la insulina con una “cascola molecular” (enzima ligasa). Todo esto lo hacemos en un tubito, fuera de la célula bacteriana. Luego introducimos el plásmido

con el gen de la insulina en la bacteria de interés y esta bacteria se transforma en una bacteria recombinante. Una vez dentro de la bacteria, el plásmido le proveerá a la bacteria las instrucciones para que produzca la insulina. Entonces, manteniendo a la bacteria bien alimentada, vamos a obtener la insulina.

Además de la producción de insulina, las bacterias se utilizan para producir otros productos farmacéuticos y médicos como antibióticos, vacunas, factores de crecimiento, anticuerpos, interferones y vitaminas, entre muchos otros.

Otra bacteria bastante famosa, y que es parte de este cómic, es *Clostridium botulinum*. Esta bacteria produce la toxina botulínica, la cual se considera el compuesto natural más tóxico que existe. Esta toxina causa botulismo, sobre todo cuando se ingiere con alimentos contaminados. A pesar de ser tóxica, la toxina botulínica tiene aplicaciones médicas cuando se utiliza en dosis adecuadas. Es famoso su uso en la industria cosmética: es el tan popular Botox®, pero también se utiliza para tratar enfermedades neurológicas.



PRODUCCIÓN Y DEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES (BIOPLÁSTICOS)

Los plásticos son materiales de diversos orígenes, pero los más abundantes son los plásticos sintéticos, que se producen generalmente a partir de derivados químicos del petróleo.

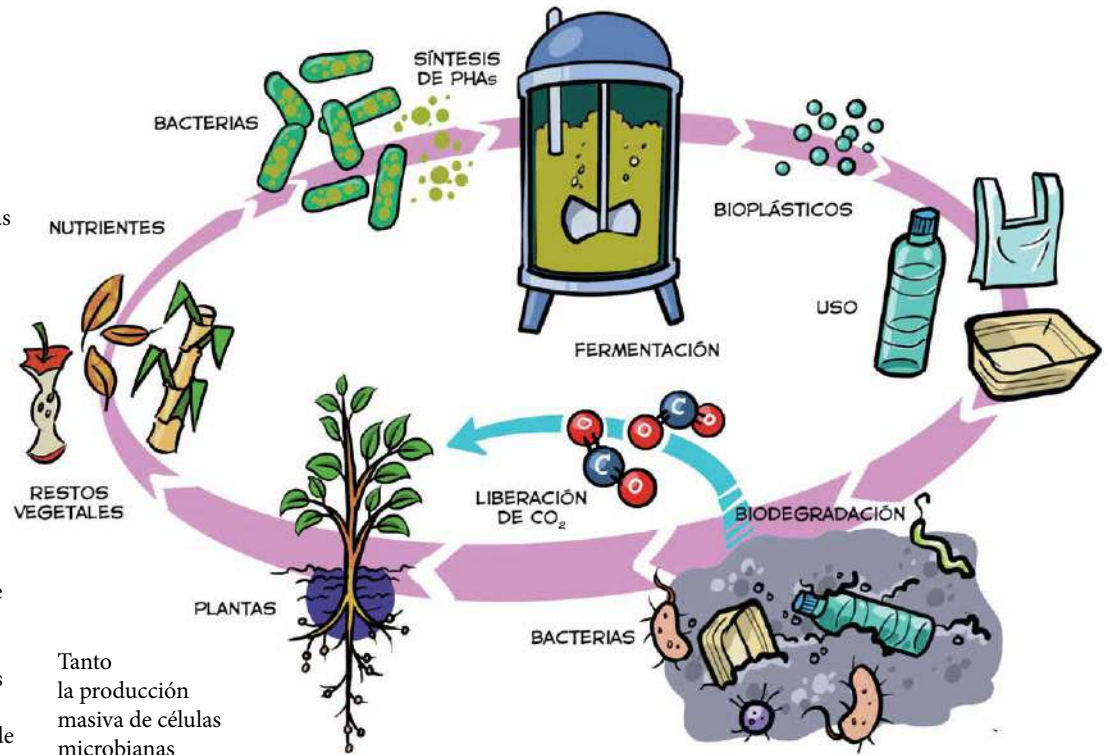
La gran mayoría de los plásticos usados hoy en día (en bolsas, botellas de refrescos, frascos de champú, pots de helados, etc) provienen de derivados del petróleo, y son extremadamente resistentes a la degradación. Si bien existen algunos microorganismos que pueden digerir plásticos sintéticos, la gran limitante es que esta degradación suele requerir condiciones especiales que se pueden lograr en el laboratorio, pero no a gran escala o en ambientes naturales. Por eso se acumulan en el ambiente y son los principales contaminantes del suelo y el agua. El uso de microorganismos para degradar plásticos sintéticos no es aún una opción viable para reducir la cantidad de plástico acumulado, aunque sí es un área de intensa investigación, que requiere apoyo.

Existe una alternativa sustentable para la producción de plástico, y son los bioplásticos, muchos de ellos producidos por bacterias. Los bioplásticos pueden emplearse para usos similares a los plásticos sintéticos, esos derivados del petróleo, pero son mucho mejores para la naturaleza. ¿Por

qué? Porque desaparecen rápido: la gran ventaja de los bioplásticos es que pueden ser fácilmente degradados por microorganismos presentes en el ambiente.

El punto o la razón esencial de esto es que los bioplásticos producidos por bacterias son plásticos para los humanos, pero para las bacterias que lo producen son una mera acumulación de material de reserva. Así como los animales acumulamos grasa como material de reserva, algunas bacterias acumulan polímeros como el PHB (polihidroxibutirato) y otros polihidroxialcanoatos (PHAs). En humanos la principal reserva de energía del organismo son los lípidos, que “quemamos” o utilizamos cuando nuestro metabolismo se acelera. De forma similar, en bacterias productoras de PHAs, estas reservas se utilizan cuando hay escasez de fuente de energía. Por lo tanto, es un material energético que será rico y digerible para la mayoría de los microorganismos con los que se tope en el camino. Si un pote de champú fabricado con PHAs termina en el suelo, entonces la enorme cantidad de microorganismos de ese suelo encontrará en ese material una fuente rica de energía y lo degradará por completo. ¡Fascinante para el ambiente!

Los PHAs pueden ser extraídos de las células microbianas en la que se acumularon y, como presentan propiedades físicas similares a los plásticos derivados del petróleo, los humanos podemos utilizarlos de igual manera, para fabricar productos de plástico. ¡Divino! Pero aún no todo es tan maravilloso y queda camino por recorrer.



Tanto la producción masiva de células microbianas acumuladoras de bioplástico (PHAs), como la extracción de esos compuestos y su moldeado para que tome las características que deseamos, requiere altos costos. Producir plásticos sintéticos, derivados del petróleo, sigue siendo más económico y más rápido.

Así y todo, ya existen materiales producidos con bioplásticos para empaquetamiento y

artículos descartables (artículos de un solo uso) en países como China, EEUU, Japón y también en la Unión Europea. Sin embargo, en Uruguay no se comercializan aún, por lo mencionado anteriormente: producir bioplásticos es más costoso que producir plásticos de origen petroquímico (mucho mucho mucho más costoso). Por eso, existe una gran área de investigación que apunta

a abaratar los costos de producción bacteriana del bioplástico, por ejemplo, con el uso de residuos de otros procesos industriales como materia prima. Un paso limitante además, es el proceso que se requiere para darle al material bacteriano las características plásticas deseadas: maleabilidad, elasticidad, plasticidad.

BIORREMEDIACIÓN

Es un proceso que se basa en el uso de seres vivos para reducir o eliminar compuestos tóxicos de sitios contaminados.

Básicamente, la biorremediación consiste en limpiar agua y suelo contaminado usando microorganismos, plantas o enzimas (proteínas que aceleran la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en los seres vivos). A la biorremediación que utiliza plantas (o algas) se le conoce como fitorremediación. En la biorremediación que utiliza microorganismos se aprovecha la capacidad de algunos microorganismos para absorber, degradar o transformar a los contaminantes.

El tipo de biorremediación a utilizar depende del sitio (agua o tierra) y de la contaminación (por ejemplo, del tipo de contaminante).

Cuando los contaminantes son orgánicos (compuestos que tienen como principal elemento el carbono), lo que se busca con la biorremediación es degradarlos, y así, eliminar o disminuir el problema contaminante.

Lo que sucede es que los microorganismos ingieren los contaminantes orgánicos, a los que utilizan

como fuente de carbono y otros nutrientes, para su crecimiento. Eso lleva a la degradación del compuesto en forma parcial (produciendo compuestos más simples y menos tóxicos) o, en el mejor caso, de forma total, eliminando por completo al contaminante.

Un ejemplo de contaminantes orgánicos son algunos hidrocarburos aromáticos, compuestos abundantes en la naturaleza. No todos son tóxicos, las plantas, por ejemplo, producen muchísimos hidrocarburos aromáticos, pero varios principalmente de origen sintético (industrial, derivados del petróleo), son tóxicos, complejos y estables y constituyen un serio problema ambiental cuando se acumulan sin parar.

Entre los hidrocarburos aromáticos industriales destaca el tolueno, un compuesto nocivo que se utiliza en combustibles y colorantes y para producir el explosivo TNT (TriNitroTolueno). Otro es el naftaleno (la conocida naftalina que aleja a las polillas de la ropa con su fuerte olor). El naftaleno es un compuesto inflamable, evaporable, y tóxico para los seres vivos, sobre todo para los acuáticos.

Los microorganismos son grandes consumidores de hidrocarburos aromáticos, tanto naturales como sintéticos. *Geobacter metallireducens* y *Pseudomonas fluorescens* por ejemplo, son

capaces de degradar varios hidrocarburos aromáticos.

Algunas cepas de *Pseudomonas fluorescens* y *putida* son capaces

de degradar el naftaleno. Y hay muchas más bacterias que degradan hidrocarburos aromáticos: *Stenotrophomonas*, *Klebsiella*, *Chromobacterium*, *Flavimonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*... varias podrían utilizarse en biorremediación. Sin embargo, para algunos compuestos de origen sintético aún es difícil encontrar microorganismos capaces de degradarlos de forma eficiente. Es el caso de los plásticos derivados del petróleo o plásticos sintéticos, como se mencionó antes.

El proceso de biorremediación es distinto cuando hablamos de contaminantes inorgánicos (compuestos que no tienen enlaces carbono-hidrógeno en su composición). Un ejemplo muy conocido de contaminantes inorgánicos son los metales pesados, como el plomo o el arsénico. Lo importante de los contaminantes inorgánicos es que no son degradables. Lo que se busca con la biorremediación es transformarlos y, aunque no desaparecen de la naturaleza, se puede lograr disminuir su toxicidad e incluso retirarlos del sitio contaminado.

Un ejemplo de biorremediación de aguas y efluentes contaminados con tóxicos inorgánicos es la inmovilización de los contaminantes de forma tal de retenerlos y finalmente retirarlos del lugar. La retención se puede dar por la concentración de los contaminantes sobre o dentro de las células microbianas que luego se separan del líquido; o por el uso de microorganismos capaces de precipitar (o aglomerar, incluso sedimentar) a los contaminantes presentes en el líquido, lo que los deja fácilmente extraíbles. Como ejemplos, algunas bacterias, como *Geobacter metallireducens*, generan compuestos



insolubles con metales pesados, y precipitados de uranio, plutonio y otros, fáciles de extraer luego desde el líquido. Otras bacterias como algunas *Stenotrophomonas* pueden retener metales pesados dentro de su propia biomasa o en exopolisacáridos, limitando así su disponibilidad (y la “chance de hacer daño” a otros seres vivos).

Un ejemplo de biorremediación para metales, contrario al anterior, es la recuperación de metales a partir de los minerales que los contienen, mediante procesos microbiológicos. Al proceso se le llama movilización y se utiliza en la biominería. Por ejemplo, bacterias como *Acidithiobacillus ferrooxidans*, son capaces de oxidar hierro y azufre en minerales, solubilizando metales que pueden extraerse luego desde el líquido lixiviado.

Otro ejemplo de biorremediación para el caso de contaminantes inorgánicos es su transformación a compuestos menos tóxicos o no tóxicos. Por ejemplo, algunas bacterias de los géneros *Delftia*, *Pseudomonas* y *Bacillus* son capaces de transformar con enzimas el cromo hexavalente (un metal pesado sumamente tóxico y cancerígeno), a cromo trivalente (forma del Cromo que es considerada no tóxica).

Pros y contras al uso de microorganismos en biorremediación

Es una tecnología de bajo costo (comparado con otros métodos no biológicos de limpieza y detoxificación de sitios). Es eco-amigable.

Es muy lenta, puede llevar años lograr la recuperación del área contaminada

Los casos reales de aplicación de bacterias (y plantas y enzimas) en biorremediación son escasos, pero es un área de intensa investigación. Su uso cuenta con la ventaja y el interés de ser sustentable y ambientalmente amigable.

TRATAMIENTO DE EFLUENTES

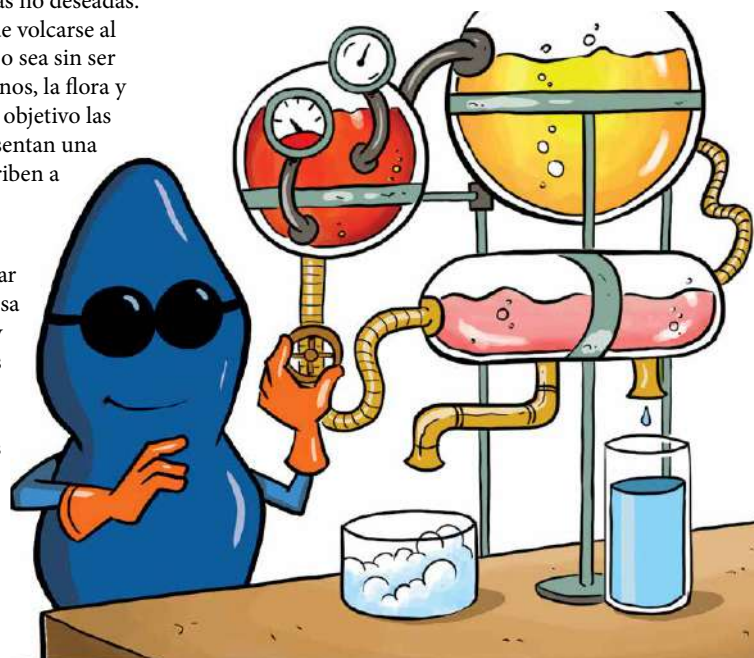
Los efluentes deben ser tratados con el fin de reducir o eliminar la contaminación o determinadas características no deseadas. De esta forma el agua puede volcarse al ambiente de forma segura, o sea sin ser nociva para los seres humanos, la flora y la fauna. Para alcanzar este objetivo las plantas de tratamiento presentan una serie de etapas que se describen a continuación:

Pre-tratamiento: en este primer paso se busca regular el caudal de agua que ingresa a la planta de tratamiento y extraer los sólidos flotantes grandes. Para ello, se utilizan rejillas, tamices, trituradores, desgrasadores y desarenadores.

Tratamiento primario: aquí se busca eliminar los sólidos en suspensión (los flotantes y los sedimentables) a partir de

procesos fisicoquímicos. Los pasos de este proceso incluyen la sedimentación, flotación, floculación y filtración. En esta etapa se logran eliminar el 60 % de los sólidos en suspensión y también un 35 % de materia orgánica.

Tratamiento secundario: en esta etapa se busca eliminar la materia orgánica presente en el efluente para lo cual se agregan microorganismos. Este proceso se puede realizar en presencia o ausencia de oxígeno dependiendo de la tecnología del tratamiento.



En los tratamientos aeróbicos (con presencia de oxígeno) se utilizan grandes piletas abiertas que pueden tener inyecciones de aire para incorporar más oxígeno al sistema. En éstas se degrada la materia orgánica y luego se utiliza su energía para producir más microorganismos (nuevas células), así como en funciones metabólicas. El exceso de células, también conocidos como lodos, se utilizan para producir fertilizantes o para producir energía mediante un tratamiento anaerobio. En este caso, el proceso se realiza en reactores dentro de los cuales ocurre la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. Esta degradación es realizada por una serie de microorganismos en forma ordenada y consecutiva. Como producto de la degradación se producen gases (metano, hidrógeno, CO_2) que pueden ser recuperados y utilizados para producir energía.

En ambos procesos los microorganismos no están sueltos sino están agrupados, lo que permite luego separarlos del agua tratada en el sedimentador y obtener agua limpia. Para que los microorganismos se agrupen es fundamental la presencia de una red formada por *Chloroflexota*.

Tratamiento terciario: en esta última etapa se busca eliminar compuestos con amonio y fósforo. Es muy importante eliminarlos porque pueden causar grandes problemas si son desechados en los cursos de agua. Para eliminarlos se utilizan procesos fisicoquímicos o biológicos. Ejemplos de los biológicos son los procesos de nitrificación y desnitrificación y la remoción biológica de fósforo. En los procesos de nitrificación, el amonio es transformado a nitrito y nitrato (esto lo hacen *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*). Este nitrato es utilizado en otro proceso por otros

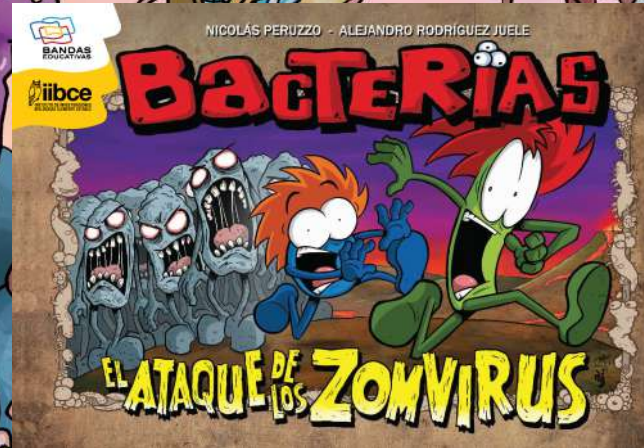
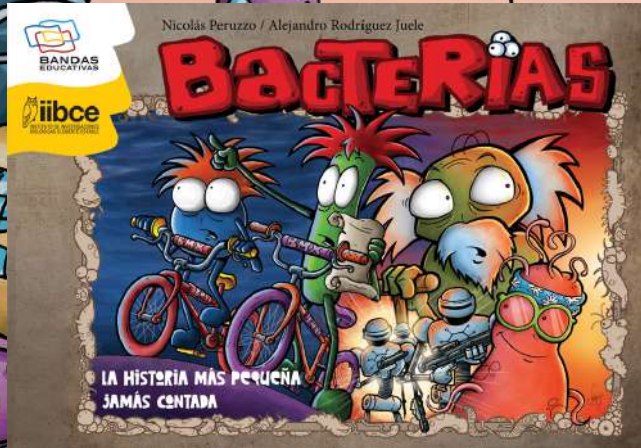
microorganismos que lo reducen a nitrógeno gas volviendo a la atmósfera y cerrando el ciclo del nitrógeno.

En la remoción biológica de fósforo los *Candidatus Accumulibacter* son capaces de tomar el fosfato disuelto en el agua y retenerlo dentro de las células. Posteriormente este fosfato se puede extraer y utilizar como fertilizante.



COMIC BACTERIAS

WWW.COMICBACTERIAS.COM

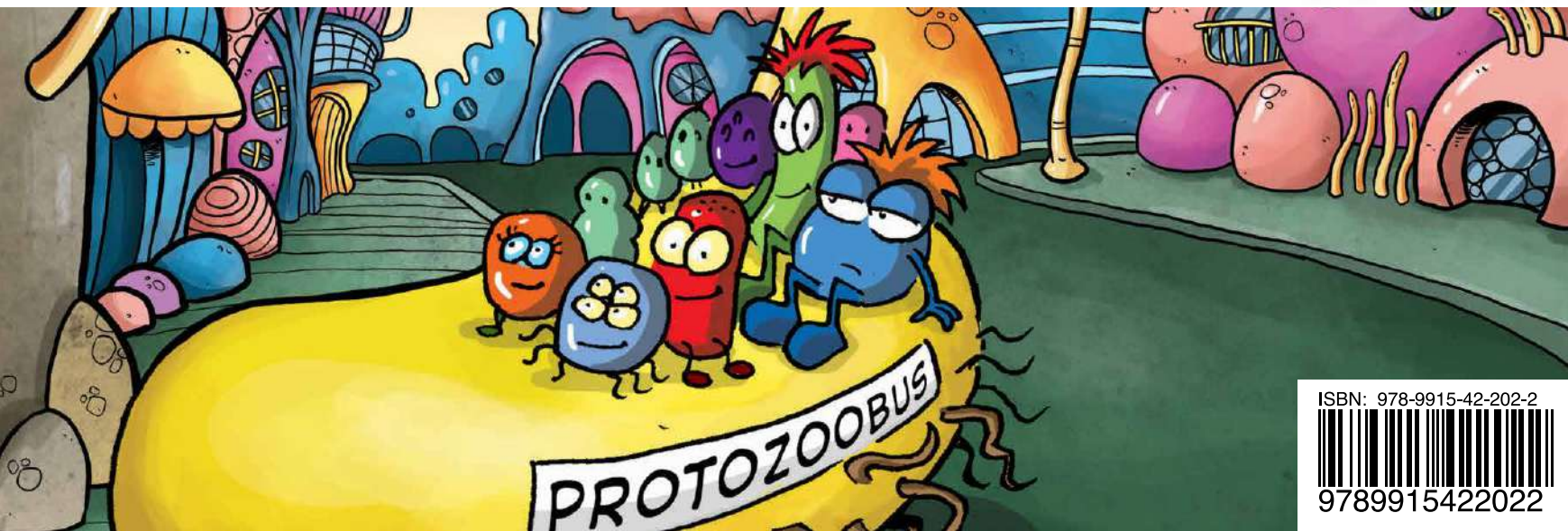


COMIC BACTERIAS

UNA NUEVA AVENTURA DE COCO, FRAN, CARSI & RUDDII

LUCES EN EL BACTERI-CIELO

Están pasando cosas extrañas en Ciudad Bacteria. Nuestros microscópicos amigos deciden aprovechar la tarea de ciencias del Profesor Aceto para investigar las misteriosas luces que aparecen en la noche. Coco, Fran, Carsi y Ruddii, junto a su nuevo amigo Flúo, descubrirán algo que no se imaginaban, más allá del bacteri-cielo.



ISBN: 978-9915-42-202-2



9789915422022