Colegio de
San Francisco de Paula

Biotecnología y bioinformática

Opción B

B3. Protección ambiental

International Baccalaureate

Tema 9 de Biología NS

Diploma BI

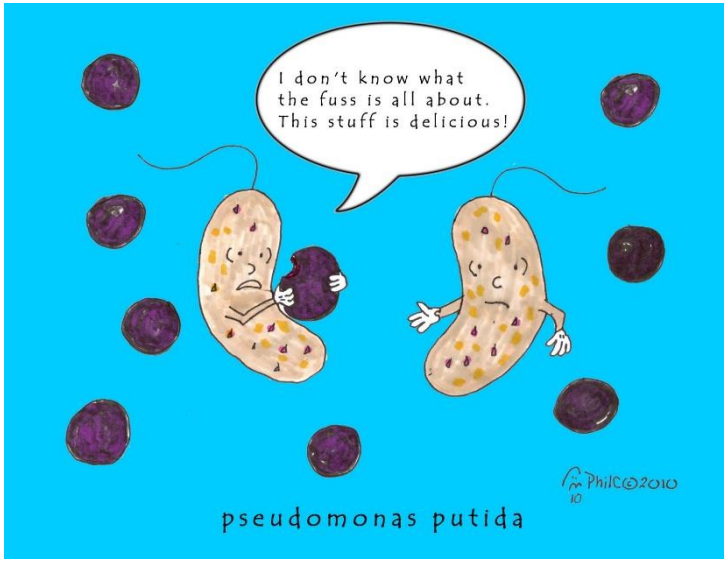


IMAGEN: shivang Trivedi

Idea Fundamental: Se puede usar la biotecnología para prevenir y mitigar la contaminación de residuos industriales, agrícolas y urbanos.

Relaciones entre los microorganismos y la especie humana

- Al clasificar las relaciones que los microorganismos establecen con la especie humana en concreto, podemos encontrar tres posibilidades:

  - **Inocuas**: Podemos encontrar muchas especies de microroganismos que directamente no se relacionan con la humana, por lo que no le causan ni beneficio ni perjuicio. Sin embargo, como componentes importantísimos de todos los ecosistemas, siempre hay relaciones, aunque indirectas o más difícles de de delimitar. Un ejemplo de ello son los ciclos biogeoquímicos, como el del nitrógeno.

  - **Beneficiosas**: El hombre obtiene gran cantidad de beneficios de muchos microorganismos, utilizándolos para la depuración de aguas residuales, producción de combustibles, técnicas biotecnológicas o producción de alimentos, entre otros.

  - **Perjudiciales**: Hay muchos microorganismos causantes de enfermedades infecciosas y reciben el nombre de patógenos.

Contaminación ambiental

- Cuando se liberan compuestos químicos al medio ambiente como consecuencia de accidentes o del uso irresponsable, las consecuencias ecológicas pueden ser gravísimas.
- La **biorremediación implica el uso de microorganismos para la eliminación de contaminantes ambientales del agua o el suelo**.
- No todos los incidentes ambientales pueden someterse a biorremediación.
- Así, la contaminación por metales pesados implica el uso de plantas (fitorremediación) en lugar de microorganismos, dado que el objetivo es retirarlos del suelo.
- Las plantas acumulan los metales pesados en su biomasa, que puede ser posteriormente calcinada para recuperar los metales.

Video1

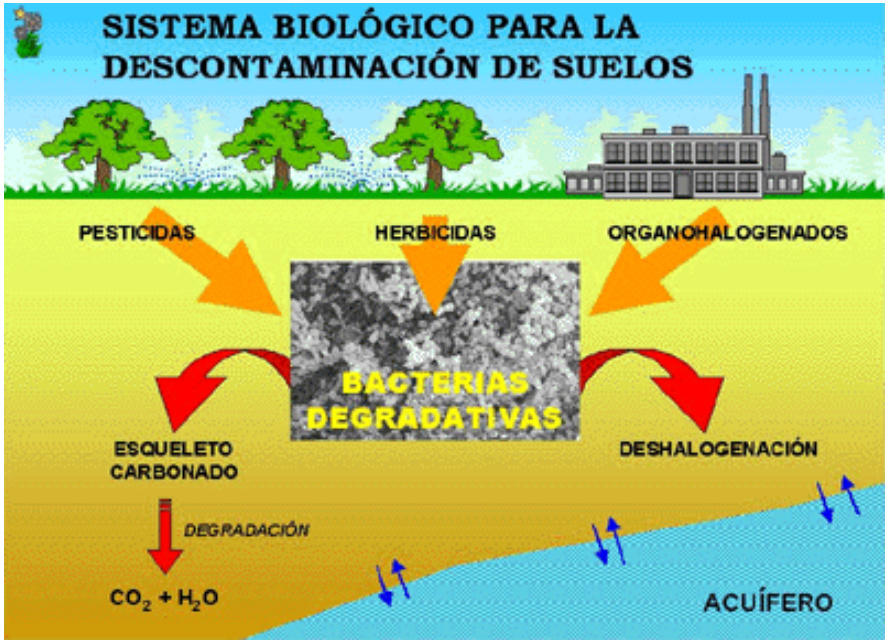


IMAGEN: https://despertandoconcienciaplanetaria.wikispaces.com

Contaminación ambiental

- **Las respuestas a los incidentes de contaminación implican técnicas de biorremediación combinados con procedimientos físicos y químicos**.
- Entre los muchos procedimientos tanto físicos como químicos, se encuentran:
- Los métodos físicos para los vertidos de petróleo incluyen el uso de detergentes, dispersantes y estropajos.
- Los contaminantes químicos pueden ser extraídos del suelo e incinerados para la degradación de compuestos orgánicos volátiles.

IMAGEN: es.wikipedia.org

- Agentes oxidantes como el ozono o el peróxido de hidrógeno son inyectados a los suelos contaminados para que aceleren la destrucción de compuestos orgánicos tóxicos.

Uso de microorganismos en biorremediación

- Como se ha comentado, **la biorremediación implica el uso de microorganismos**, fundamentalmente bacterias y arqueobacterias, dado que poseen una gran variedad de metabolismos diferentes y se reproducen rápidamente mediante fisión binaria.
- Existirá siempre una especie de procariota que pueda llevar a cabo una determinada reacción química necesaria en un determinado proceso de biorremediación.

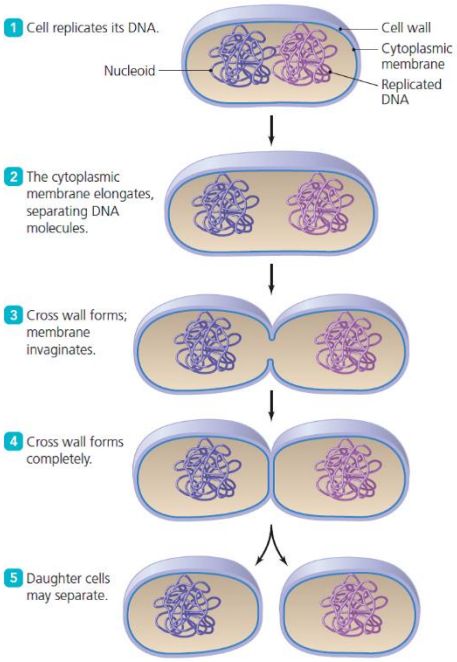


IMAGEN: cienciasdejoseleg.blogspot.com

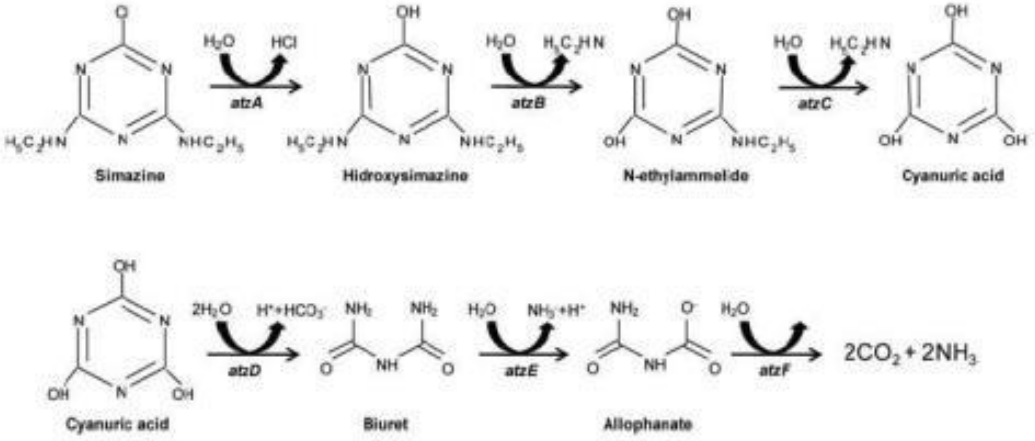


Figure 1. Degradation of *s*-triazines by bacteria. The upper *s*-triazine catabolic pathway converts simazine into cyanuric acid. The lower *s*-triazine catabolic pathway mineralizes cyanuric acid. The catabolic *atz* gene encoding the respective enzyme is indicated at each catabolic step.

IMAGEN: scielo.cl

Uso de microroganismos en biorremediación

- **Los microorganismos se usan en biorremediación porque pueden metabolizar algunos contaminantes**, usándolos como fuente de energía, carbono o electrones en sus reacciones metabólicas.
- Así por ejemplo, la bacteria *Dehalococcoides ethenogenes*, ha sido usada para la eliminación de disolventes clorados en el suelo, dado que usa los compuestos con cloruro como aceptores de electrones en la respiración celular.

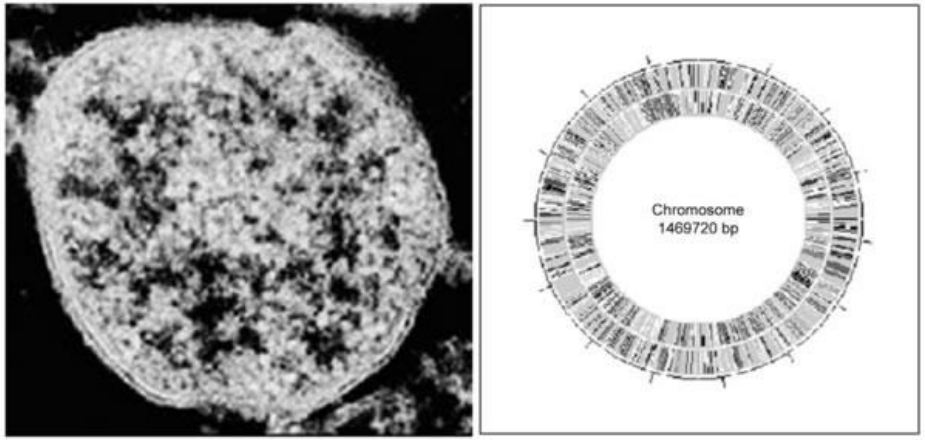


Fig. 2. *Dehalococcoides ethenogenes* strain 195. Mechanism and genes in a schematic genome (See *Science* 7 Jan. 2005, p. 107.)

Web1

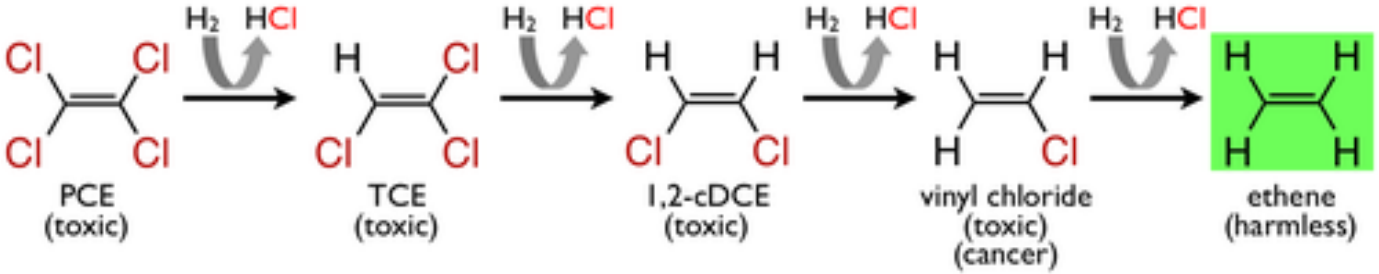


IMAGEN: http://cibertareas.info

Uso de microroganismos en biorremediación

- Por otro lado, la bacteria *Geobacter sulfurreducens* usa el uranio soluble como aceptor de electrones, convirtiéndolo en insoluble, de manera que pueda ser retirado del suelo contaminado.
- Otro ejemplo lo tenemos en la bacteria *Acidovorax sp.,* que puede precipitar el arsénico y el hierro del suelo.

IMAGEN: http://bacmap.wishartlab.com

Video2

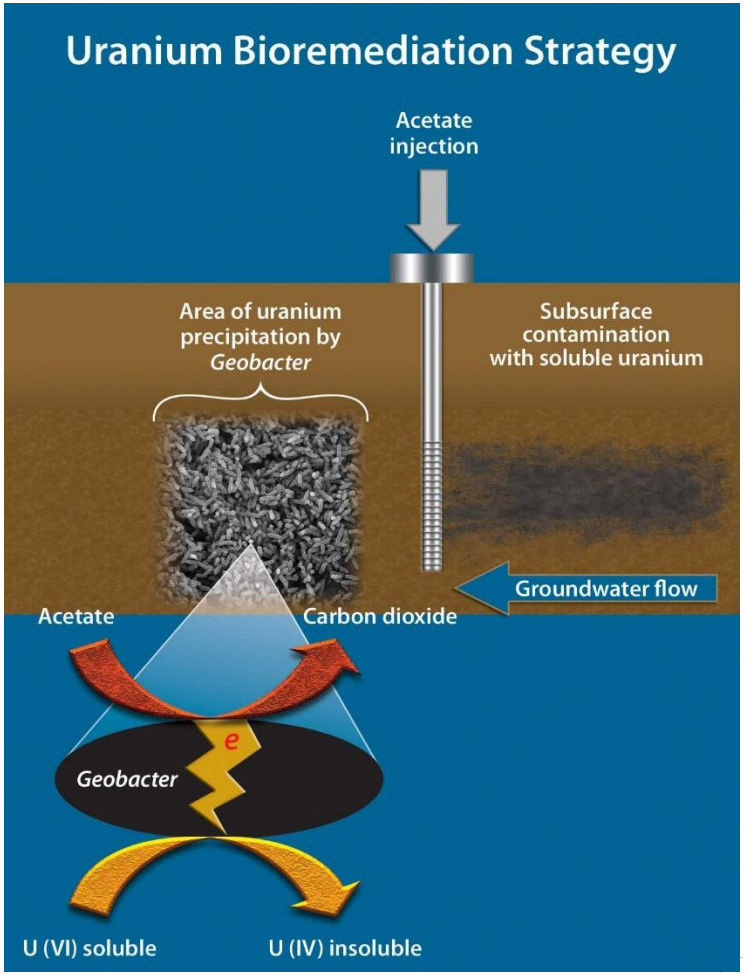


IMAGEN: public.ornl.gov

APLICACIÓN: Degradación del benceno mediante halófilas

- La producción de crudo (petróleo) en ambientes marinos, genera grandes volúmenes de agua residual salada, que se combina con algunos hidrocarburos, como el benceno y el tolueno.
- El benceno es particularmente preocupante, dado que es soluble en agua, persiste durante mucho tiempo y es un carcinógeno.

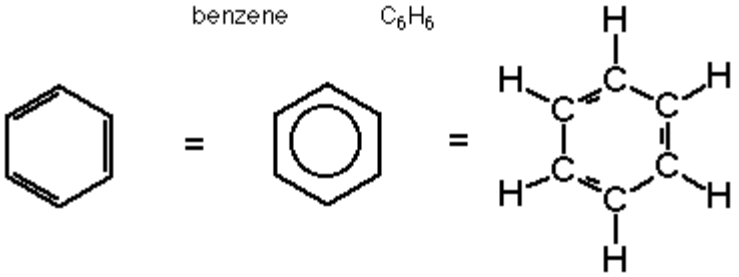


IMAGEN: http://chemistry2.csudh.edu/

IMAGEN: todonoticia.com

- La biorremediación del benceno es muy complicada, dado que la alta concentración salina del agua residual puede ser tan alta que no permita el crecimiento bacteriano debido a diferencias de presión ósmótica.

APLICACIÓN: Degradación del benceno mediante halófilas

- Las arqueobacterias se denominan bacterias extremófilas, dado que viven en condiciones extremas, como un pH muy ácido, altas temperaturas o una alta concentración salina.
- Las **halófilas** son un grupo de arqueobacterias adaptadas a vivir en ambientes con una alta concentración salina.
- Esta adaptación ha sido útil en la biorremediación del agua residual marina, habiéndose demostrado que una especie de halófila, *Marinobacter hydrocarbonoclasticus*, es capaz de degrader completamente el benceno.

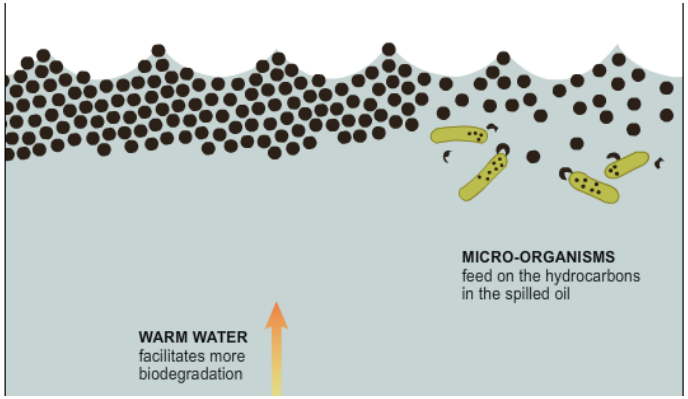


IMAGEN: https://microbewiki.kenyon.edu

Web2

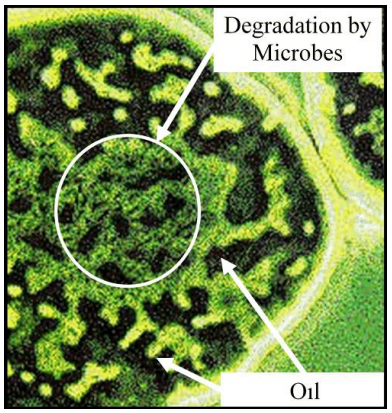
IMAGEN: http://image.slidesharecdn.com

APLICACIÓN: Degradación de petróleo mediante bacterias *Pseudomonas*

- En algunos ambientes naturales, el petróleo se filtra a través de grietas y conductos en el suelo oceánico.
- Las bacterias del género ***Pseudomonas*** crecen muy bien en este ambiente dado que pueden usar el crudo como fuente de carbono y energía.

Video3

IMAGE: www.ebsinfo.com



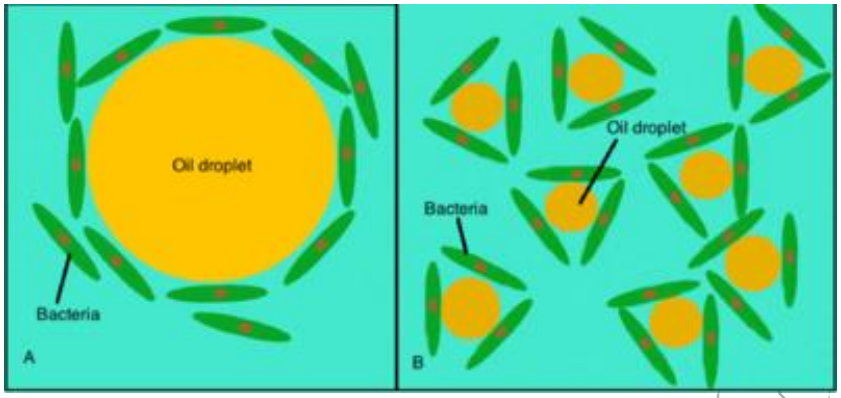


IMAGEN: https://microbewiki.kenyon.edu/

- Esto ha hecho que los vertidos de petróleo sean tratados frecuentemente con estas bacterias.
- *Pseudomonas* también require otros nutrientes para metabolizar el petróleo a una mayor tasa, como el potasio y la urea, que son esparcidos frecuentemente junto con la bacteria.

APLICACIÓN: Conversión del metilmercurio en mercurio elemental

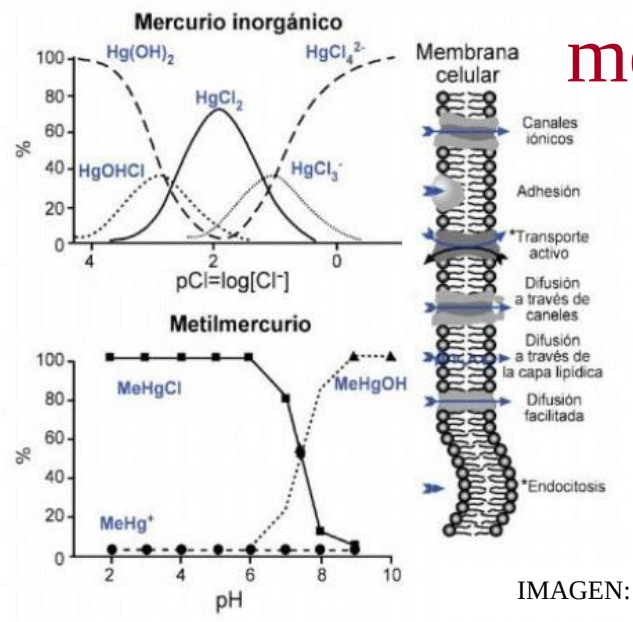


IMAGEN: revistasbolivianas.org

Figura 4. Diagramas de especiación química y asimilación del mercurio inorgánico y orgánico en disolución a través de la bicapa fosfolipídica
Modificado de: Boudou y Ribeyre 1997 y Newman y Unger 2003

- El mercurio elemental que forma parte de algunas pinturas así como de algunas bombillas, acaba en vertederos donde es tranformado por las bacterias *Desulfovibrio desulfuricans* en un compuesto orgánico áltamente tóxico denominado metilmercurio.

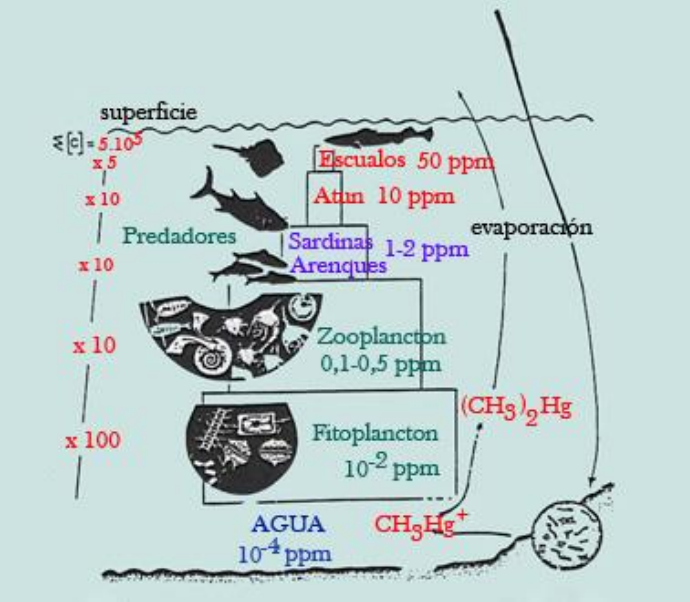
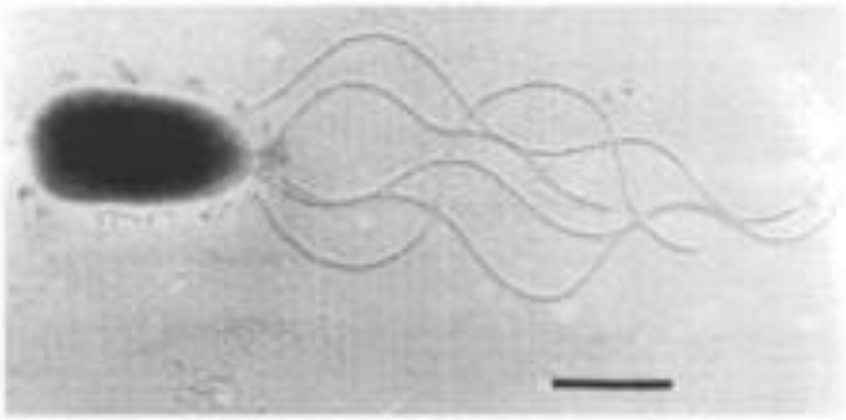


IMAGEN: https://microbewiki.kenyon.edu/

- El metilmercurio se adhiere fácilmente a las membranas celulares, por lo que pasa a formar parte de la biomasa y por tanto, puede biomagnificarse a través de las cadena trófica.

APLICACIÓN: Conversión del metilmercurio en mercurio elemental

- La bacteria *Pseudomonas putida* puede convertir en metilmercurio en metano e ión mercurio soluble.
- A su vez, otras bacterias usan los iones mercurios como aceptores de electrones en su metabolismo, resultando en la regeneración del mercurio elemental insoluble.
- Así, en un biorreactor se puede separar este mercurio insoluble precipitado del agua residual, debido a su densidad.



Pseudomonas putida Bar = 1 µm
Harwood et al. 1989. J. Bacteriol. 171:4063-4066.

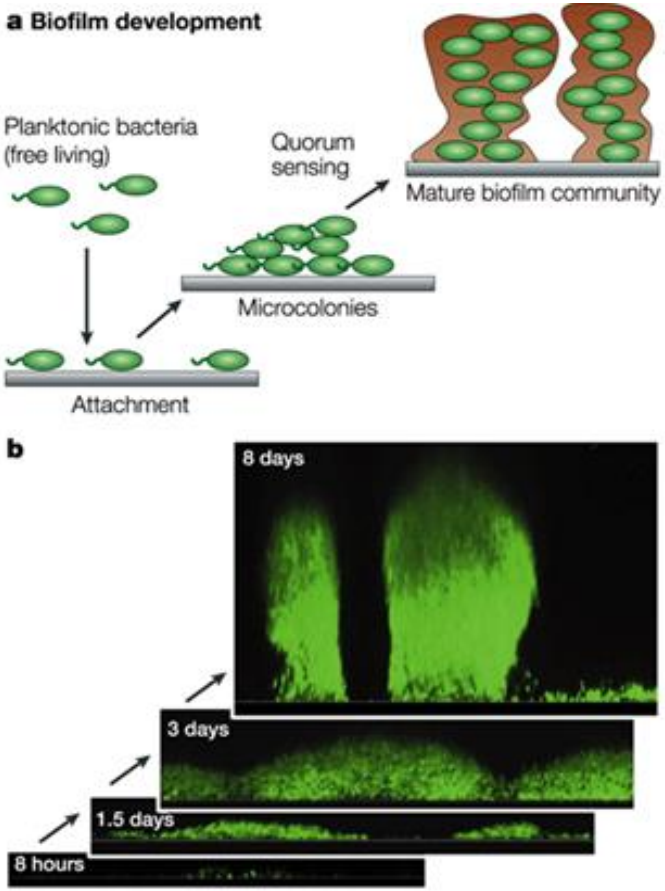
IMAGEN: https://genome.jgi.doe.gov/psepu/psepu.home.html

Agregados de bacterias

- Algunas bacterias forman agregados que muestran características no vistas en bacterias individuales.
- **Los agregados cooperativos de microorganismos pueden formar películas biológicas**.
- Una **película biológica** es una colonia bacteriana que cubre una superficie como consecuencia de la cooperación entre las células individuales.
- Los miembros de la biopelícula:

  - secretan moléculas señalizadoras que reclutan nuevas células hacia la colonia.

  - secretan moléculas que facilitan que las células se peguen unas a otras y que el agregado se pegue a la superficie.



Nature Reviews | Molecular Cell Biology

Biopelículas

- Las **películas biológicas** pueden formarse tanto sobre una superficie sólida como sobre la superficie de fluidos.
- Algunas veces, están compuestos de microorganismos de diferente origen (bacterias, arqueobacterias, algas, protozoos y hongos). Un ejemplo de ello se encuentra en la **placa dental**, que es una biopelícula formada por más de 500 taxones de microorganismos, o la biopelícula presente en los pulmones de los pacientes afectados de **fibrosis quística**, compuesta únicamente de la bacteria *Psudomonas aeruginosa*.

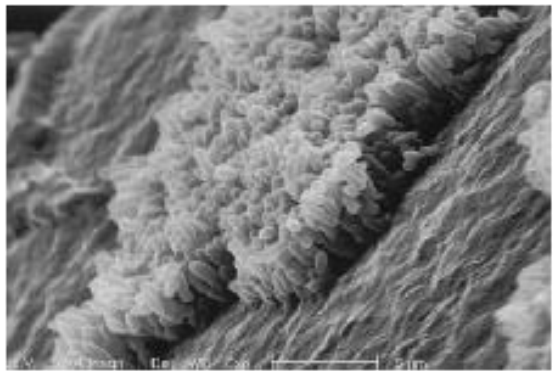


Figure 1. A biofilm on a urinary catheter (Adapted from Stickler and Morgan, J Med Microbiol 55 (2006), 489-494)

Biopelículas

- Se conocen como **propiedades emergentes** a aquellas que emergen de la interacción entre los miembros de un colectivo y que no están presentes en las células individuales.
- La habilidad de las células que forman una biopelícula, para autoorganizarse en una estructura compleja, es una propiedad emergente.
- Los miembros de la colonia segregan un **exopolisacárido** que forma una matriz externa que los mantiene unido y protegidos.
- Esta matriz consituye la propiedad emergente, así como la protección a antibióticos, el aumento de la virulencia, la señalización entre células y o la formación de canales para el flujo del agua en el interior de la matriz.

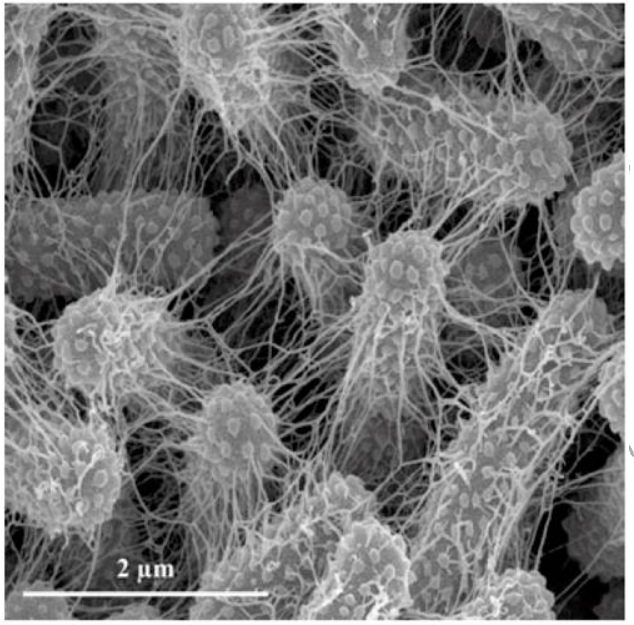
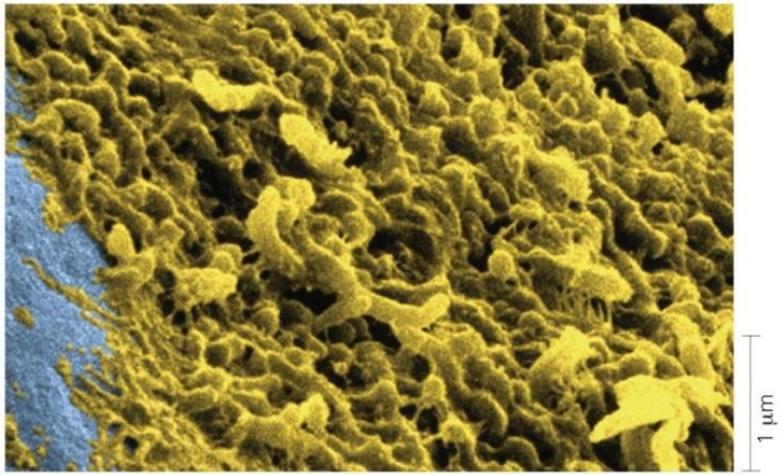


Fig. 6. Thin threads emerged from bacterial body surface. Scanning electron microscopy of sessile *K. pneumoniae* LM21 performed in mature biofilm formed on Thermanox® slides in microfermentor system after 48 h of development at X20,000 magnification.

IMAGE: www.pasteur.fr

Biopelículas

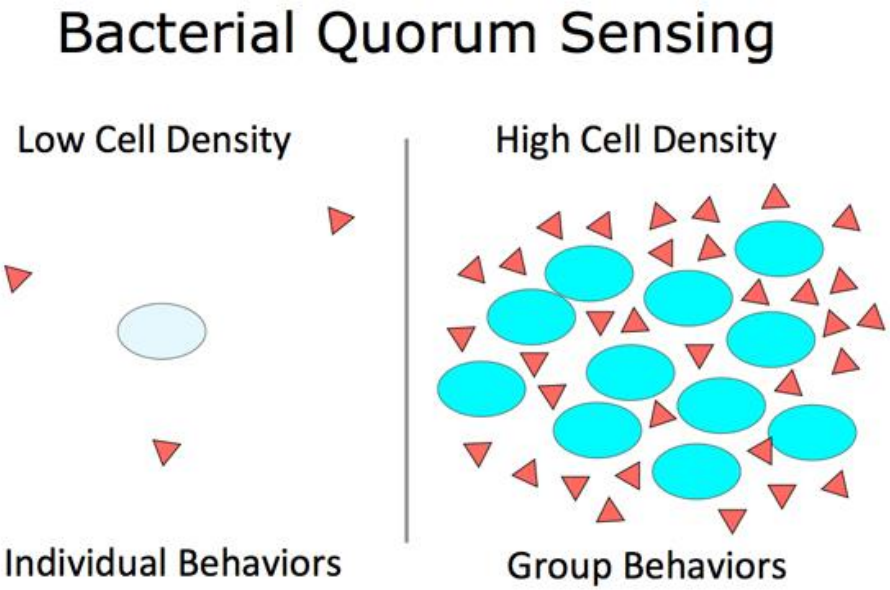
- Se ha demostrado que los **biofilms** están implicados en una amplia variedad de infecciones microbianas, como infecciones del tracto urinario, del oído medio, o infecciones de catéteres en los hospitales.
- De hecho, un 60% de las infecciones hospitalarias están causadas por películas biológicas. Esto es debido a que **los microorganismos que crecen en una biopelicula son altamente resistentes a los agentes antimicrobianos**.
- Dado que los biofilms presentan una mayor resistencia a los antibióticos, es importante su control.
- Parte de esta resistencia se debe a la propia matriz de exopilisacárido, que constituye una barrera física a la entrada del antibiótico a la colonia. También, el agregado limita el aporte de nutrientes, lo que reduce la tasa de división y disminuye el efecto de los antibióticos.



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Biopelículas

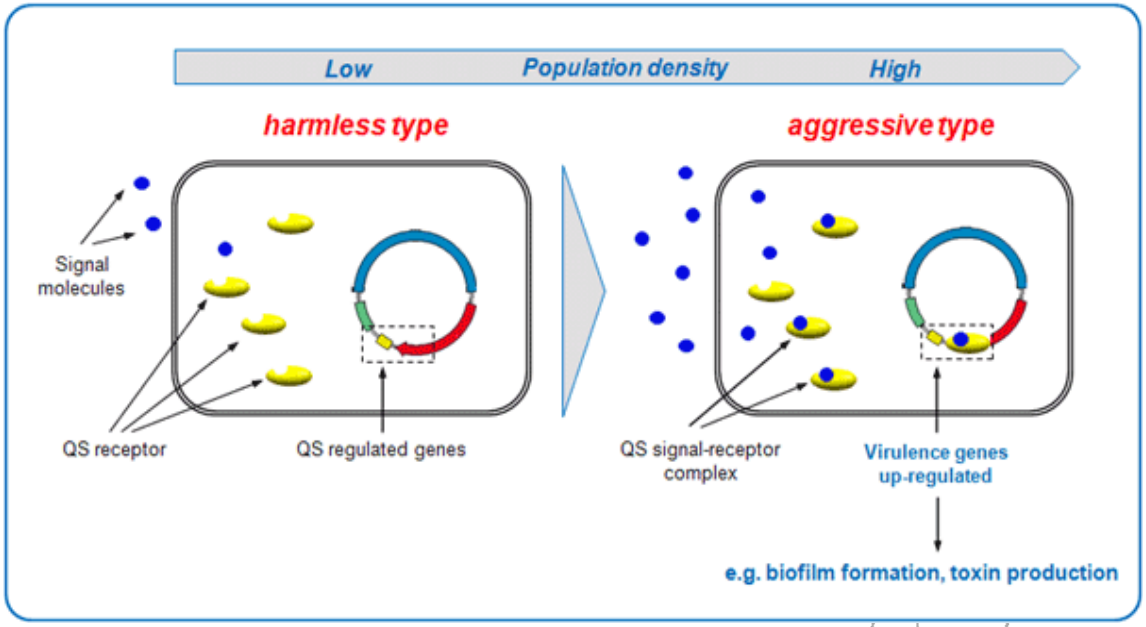
- La **detección de quórum** (en inglés, *quorum sensing*) es un mecanismo de regulación de la expresión génica en respuesta a la densidad celular, responsable de que un conjunto de células independientes, bajo la generación de señales extracelulares, desarrolle comportamientos sociales coordinados.
- **Los microorganismos presentes en las biopelículas cooperan mediante la detección de quorum**.
- Las bacterias en la biopelícula liberaran unas moléculas señalizadoras que se unen a receptores en otras, activando la expresión de genes implicados en el desarrollo de la biopelícula.



- Las bacterias usan los circuitos de comunicación de la detección de quórum **para regular una gran variedad de actividades fisiológicas**, como procesos de simbiosis, virulencia, conjugación, formación de esporas o la formación de biopelículas.

Biopelículas

- Las células involucradas producen y excretan sustancias, llamadas **autoinductores**, que sirven de señal química para inducir la expresión génica colectiva. Es una forma de comunicación celular.
- Los autoinductores son detectados por receptores en la membrana celular, activando o reprimiendo la transcripción de genes diana.
- A medida que la población crece, la concentración del inductor alcanza una cierta **concentración umbral**, lo que provoca la expresión génica y que se sintetice más inductor, llegando a presentar un comportamiento coordinado.



Video4

NATURALEZA CIENCIAS: La mejora de equipos y aparatos conllevan avances científicos

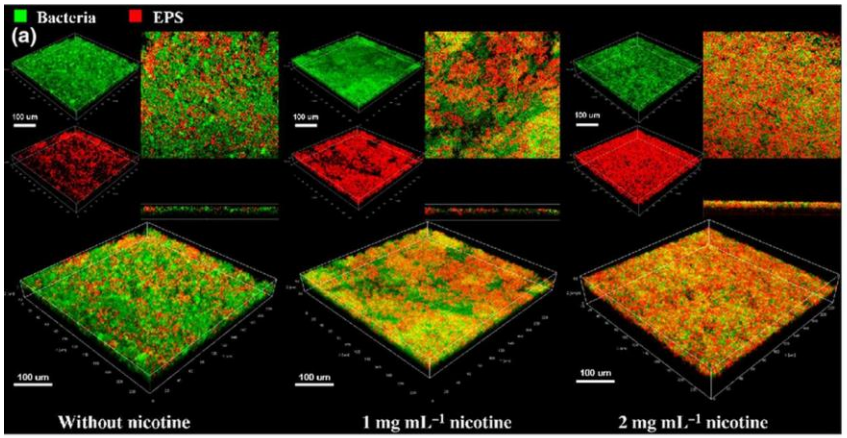
- Las biopelículas tienen una estructura compleja. Así, la posición de cada célula individual en función de las demás, así como en la matriz de polisacárido, influye en las diferentes funciones que llevan a cabo.

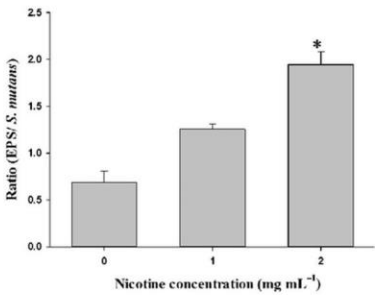
- **El uso de herramientas tales como el microscopio de exploración láser, ha conducido a los investigadores a comprender más profundamente la estructura de las biopelículas**.

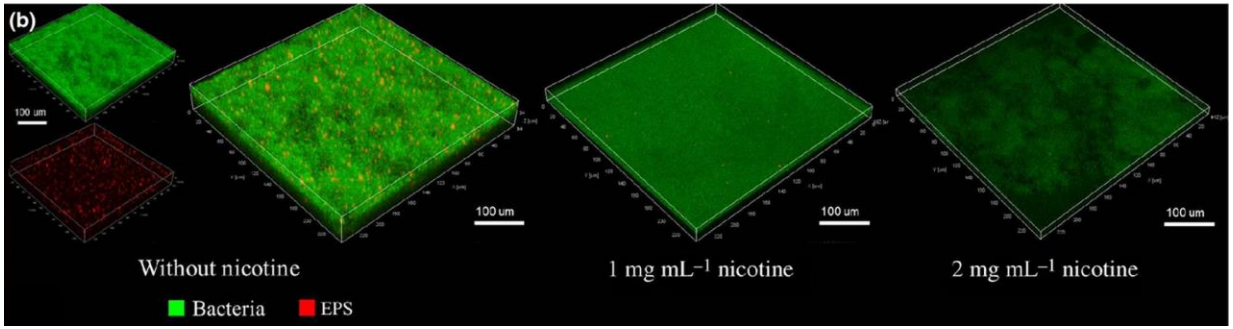
IMAGEN: http://www2.warwick.ac.uk/

NATURALEZA CIENCIAS: La mejora de equipos y aparatos conllevan avances científicos

- Dicho microscopio ha permitido la observación tridimensional de las células vivas llevando a cabo las diferentes funciones en la biopelícula, dado que permite la observación directa de la misma sin alterar su estructura.







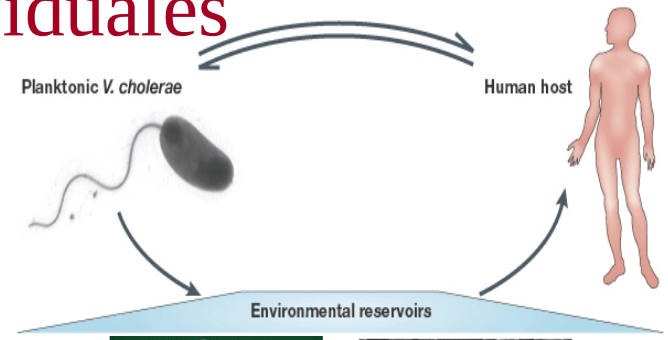
- La imagen adjunta muestra el efecto de la nicotina sobre las bacterias (puntos verdes) y el exopolisacárido (puntos rojos) en biopelículas de *Streptococcus* en la placa bacteriana.

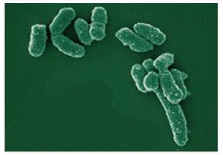
Web3

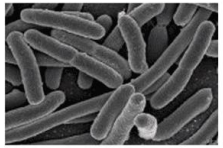
IMAGEN: http://femsle.oxfordjournals.org

APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales

- La liberación de **aguas residuales sin depurar** a los ríos era una práctica habitual hasta que a mediados del siglo XIX se demostró que el cólera era transmitido en el agua con contaminación fecal.
  - La **principal consecuencia** de liberar aguas residuales no depuradas es la **presencia de patógenos** en el agua de baño o de consumo.







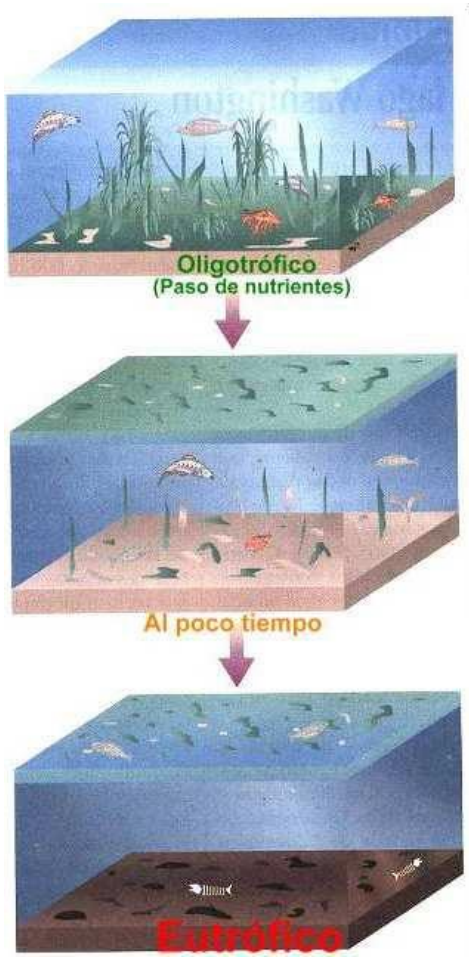
COLIFORMES FECALES

APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales

- Por otro lado, el **agua procedente de los cultivos** tampoco puede liberarse directamente a un río o acuífero, debido a su **alta concentración en fertilizantes nitrogenados (nitratos)**, los cuales provocan:
  - Un enriquecimiento anormal en nutrientes que provoca la proliferación de algas.
  - La superficie cubierta de algas no deja pasar la luz, por lo que mueren las que se encuentran debajo.
  - Las algas muertas son descompuestas por bacterias aerobias, provocando un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
  - El aumento de la DBO reduce los niveles de oxígeno en el ecosistema acuático y los peces mueren.
  - Todo este proceso en conjunto se conoce como **Eutrofización**.

- Pero el agua con nitratos no solo afecta a los ecosistemas acuáticos, sino también a los humanos, al ser tóxicos a altas concentraciones.

APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales



Video5

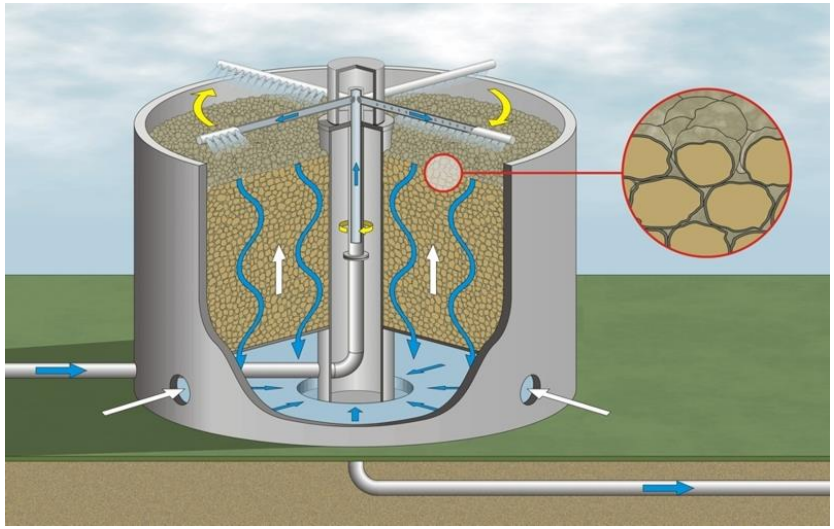
APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales

- El tratamiento de las aguas residuales es imprescindible para el mantenimiento de la salud y consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.

- En un primer paso, se elimina toda la materia inorgánica contenida en el agua residual.
- En segundo lugar, un 90% de la materia orgánica es eliminada mediante la utilización de bacterias saprofitas, que obtienen la energía de dicha materia.
- Un tipo de sistema usado en la actualidad es el **lechos con filtro de goteo**.

APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales

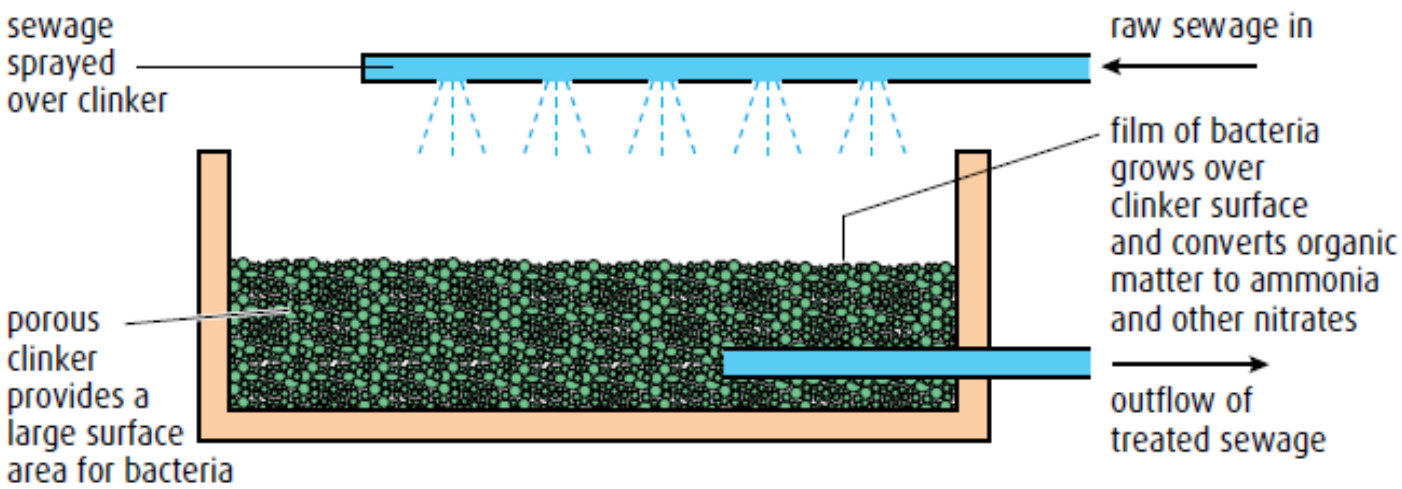
- Dicho filtro consiste en un lecho de 1-2 m de ancho relleno de piedras que tienen las bacterias saprófitas aerobias adheridas en su superficie formando una biopelícula.
- Estas bacterias descomponen la materia orgánica presente en el agua residual.



- El agua residual entra por arriba y es recogida debajo, ya libre de materia orgánica.

APLICACIÓN: Uso de biopelículas en el tratamiento aguas residuales

- La biopelícula mantiene adheridas a millones de bacterias a las superficies sólidas del lecho con filtro, impidiendo que las bacterias sean arrastradas por el agua.
- La biopelícula es delgada, por lo que el oxígeno difunde a través de ella, pero a medida que aumenta el grosor de la biopelícula, en la capa más próxima al lecho se establecen condiciones anaeróbicas.
- Posteriormente, las bacterias son eliminadas (desinfección) del agua recogida en otro tanque.



Uso de bacteriófagos en la eliminación de bacterias

- Cuando las bacterias producen una biopelícula, pueden llegar a ser difíciles de erradicar. Es por tanto esencial controlar la aparición de biofilms en sistemas acuosos.
- Entre los daños que una biopelícula puede provocar, se encuentran:
  - Corrosión de tuberías debidas a bacterias anaerobias que producen ácido sulfúrico.
  - Obstrucción de tuberías.
  - Contaminación de superficies en la producción de alimentos.

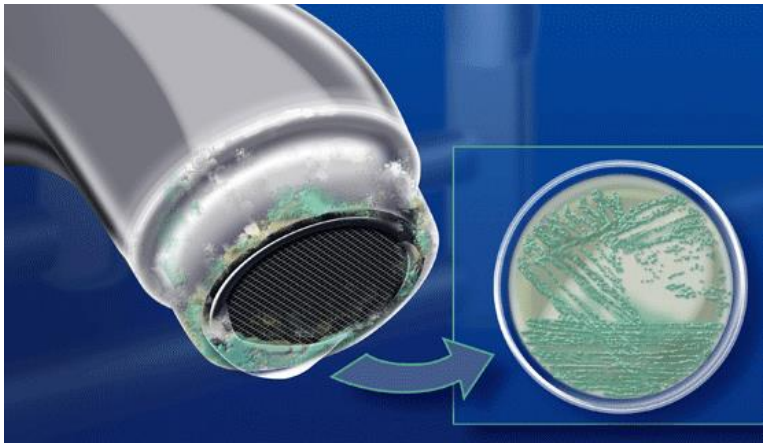


IMAGEN: http://gilleceplumbing.com

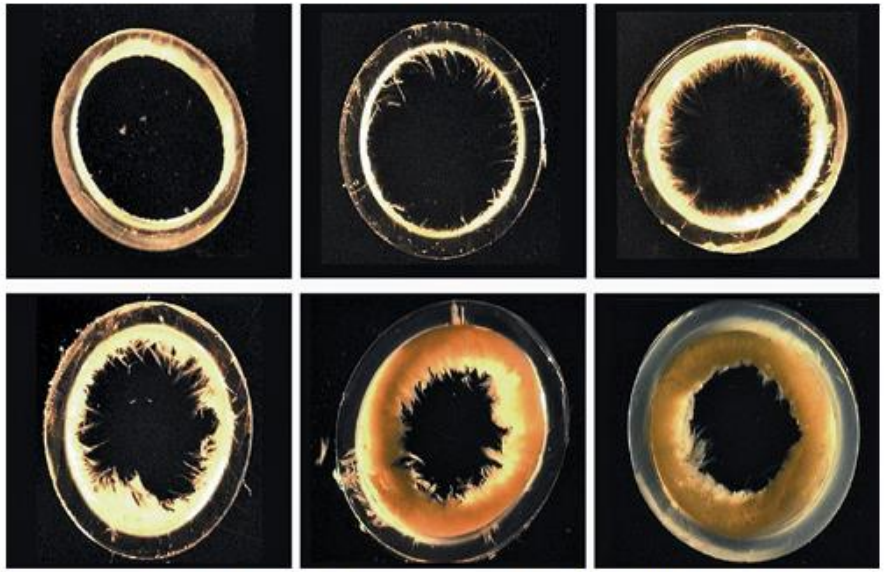


Figure 2: Biofilm formation in pipes. (FIGURE 2: ADAPTED WITH PERMISSION FROM MONTANA STATE U. CENTER FOR BIOFILM ENGINEERING)

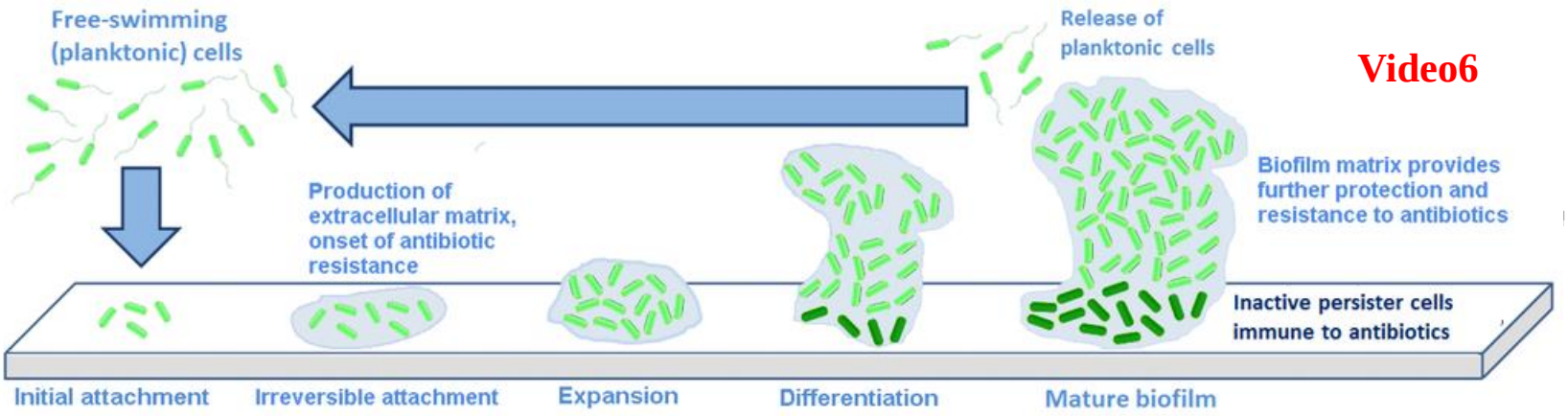
IMAGEN: http://images.alfresco.advanstar.com

Uso de bacteriófagos en la eliminación de bacterias

- Las biopelículas pueden llegar a ser difíciles de erradicar, dado que si bien la parte más externa puede ser eliminada con desinfectantes, no ocurre lo mismo con la parte más interna.
- Este problema puede solucionarse mediante el uso de bacteriófagos, los cuáles pueden distribuirse a lo largo de todo el biofilm, eliminando a bacterias específicas, como el fago T4 a *E. coli*.

Figure 1. The life cycle of bacteria in biofilms.

IMAGEN: mdpi.com



Video6

- Un estudio ha mostrado que un tratamiento con cloruro y bacteriófagos elimina en 5 días un 97% de la biopelícula, mientras que el cloruro solo, elimina un 40% de la misma en dicho tiempo.

HABILIDAD: Evaluación datos sobre problemas medioambientales causados por biopelículas

- Las biopelículas aparecen frecuentemente en los medios de comunicación, presentándose como solución a determinados problemas, como biorremediación de compuestos orgánicos persistentes o de metales pesados.
- Al mismo tiempo, también se les ha atribuido la causa de varios problemas medioambientales, como la **salmonelosis**.
- La formación de una biopelícula hace que la bacteria Salmonella resista a tratamiento por calor o con lejía, así como al proceso de digestión.

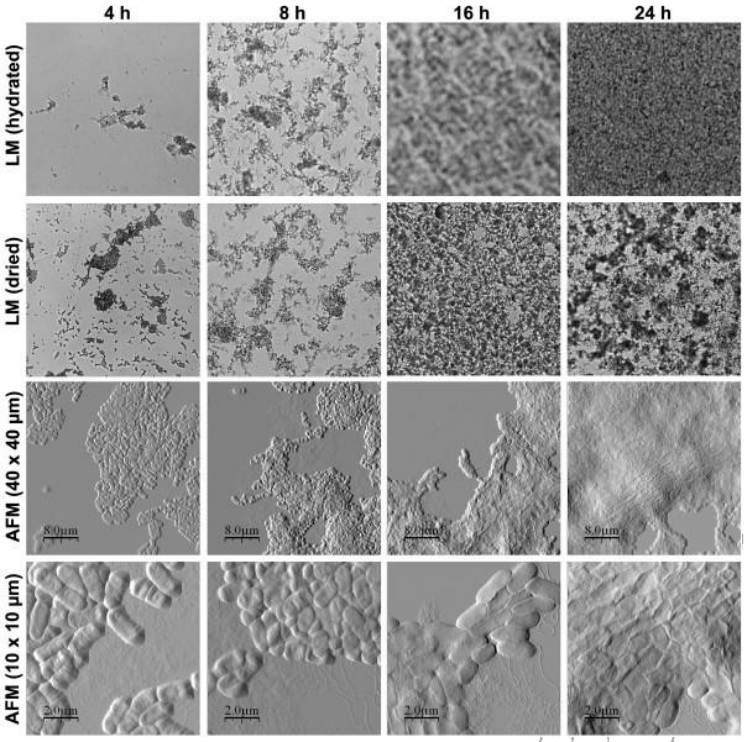


IMAGEN: elprogreso.galiciae.com/

- También se ha reportado casos de resistencia a ambientes secos gracias a dicha biopelícula, apareciendo en frutos secos, cereales o leche en polvo.

HABILIDAD: Evaluación datos sobre problemas medioambientales causados por biopelículas

- Otro ejemplo se encuentra en la **legionelosis**, enfermedad respiratoria grave causada por *Legionella pneumophila* y que presenta una tasa de mortalidad del 5 % - 80 %.
- *L. pneumophila* es ubicua en los sistemas de agua naturales y antropogénicos. Esta bacteria se transmite por inhalación de aerosoles contaminados, y persistencia se debe a que se replica dentro de los protozoos presentes en el medio y también por la formación de biopelículas.
- En la actualidad existen evidencias de que algunos brotes de legionelosis se correlacionan con la presencia de biopelículas. Por lo tanto, la prevención de la formación de biofilms aparece como una de las estrategias para reducir la contaminación del sistema de agua.

Web4

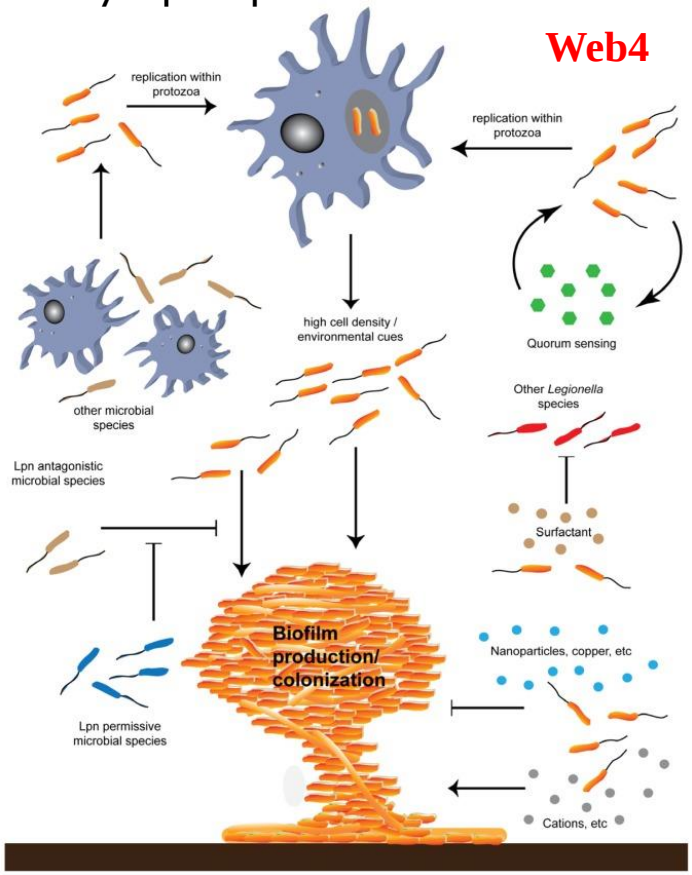


IMAGEN: http://www.ncbi.nlm.nih.gov

TdC: Enfoque reduccionista *vs* holístico

- El análisis de un sistema se puede abordar desde dos posibles enfoques:

Holístico o sintético: considera que los procesos complejos sólo pueden comprenderse cuando se consideran globalmente, pues la totalidad del conjunto es mayor que la suma de las partes que lo componen.

El enfoque holístico trata de conocer las relaciones entre los componentes de aquello que se quiere estudiar, aunque no se conozcan con detalle cada uno de ellos. Pone de manifiesto las **propiedades emergentes de los sistemas, resultantes de la interacción entre los elementos de un sistema.**

IMAGEN: http://wbdg.org

TdC: Enfoque reduccionista *vs* holístico

Enfoque reduccionista o analítico: intenta descomponer el objeto de estudio en sus componentes y estudiar cada uno por separado. Considera que únicamente se puede comprender un proceso cuando se conocen con exactitud todos los elementos que participan en el mismo.

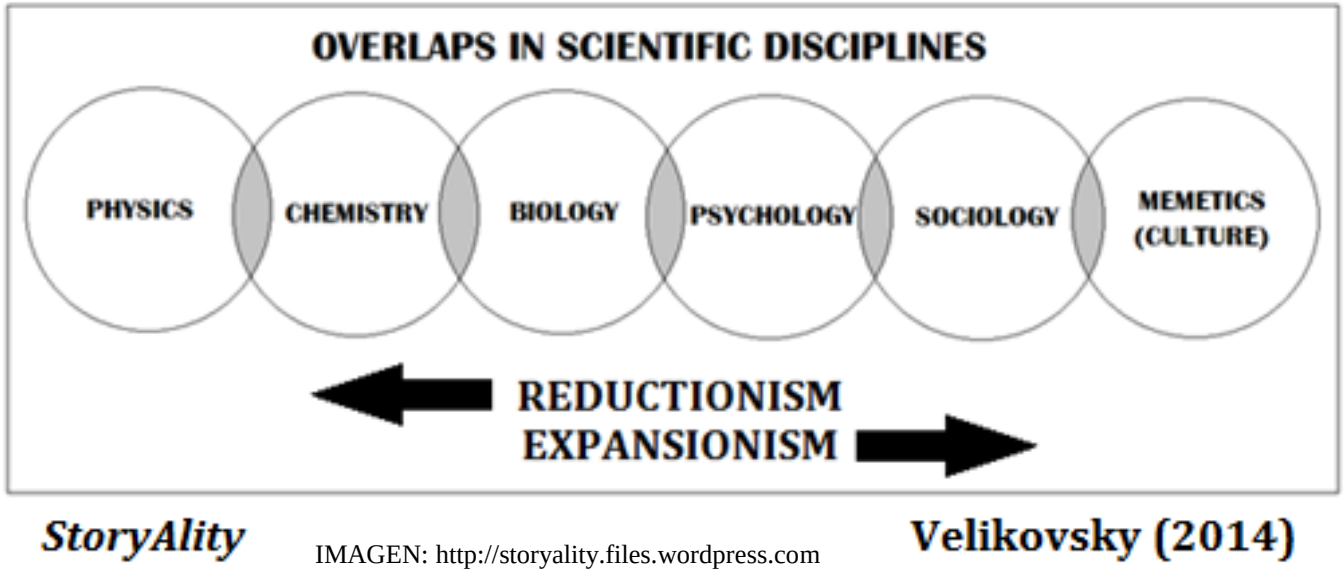


IMAGEN: http://storyality.files.wordpress.com

- **¿En qué contexto resulta productivo para la ciencia un enfoque reduccionista y en que contexto resulta problemático dicho enfoque?**