

Biopelículas bacterianas, una forma muy compleja de supervivencia y colaboración

Víctor M. Chávez-Jacobo

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM
Contacto: victor_mch@hotmail.com

Resumen. Las bacterias han desarrollado formas bastante complejas de organización para garantizar su supervivencia ante la amenaza de agentes externos. Un fenómeno sumamente exitoso es la formación de biopelículas, que básicamente serían un conjunto de bacterias adheridas a una superficie y entre ellas, donde cambian radicalmente su comportamiento, dejan de ser bacterias solitarias en la búsqueda de nutrientes para convertirse en parte esencial de una comunidad organizada que trabaja por el bien común, no obstante, si las condiciones dejan de ser favorables, las bacterias pueden migrar y buscar un nuevo sitio donde asentarse. En este pequeño artículo discutiremos brevemente como son las fases de formación de las biopelículas y como se establecen mecanismos eficaces de comunicación para garantizar la convivencia y la colaboración, además, mencionaremos algunos usos prácticos de las biopelículas.

Palabras clave: Biopelícula, resistencia, asociación bacteriana

Introducción

Las bacterias y en general todos los microorganismos son vistos como criaturas simples, sin embargo, el estudio intensivo de las bacterias ha revelado que poseen una gran capacidad de diferenciación y comportamientos sumamente complejos, siendo la formación de comunidades embebidas dentro de una matriz, conocida como biopelícula, un claro ejemplo de organización compleja para la comunicación y la supervivencia de comunidades bacterianas, que, además, nosotros hemos sabido aprovechar para el desarrollo biotecnológico.

Las biopelículas pueden ser definidas simplemente como comunidades de bacterias que se encuentran unidas a una superficie encerradas en una matriz compuesta por sustancias poliméricas extracelulares (SPE). La formación de biopelículas representa un estadio de crecimiento que permite a las bacterias sobrevivir en condiciones hostiles y

dispersarse después como células individuales para colonizar nuevos nichos una vez que las condiciones se vuelvan favorables (Gudynaite et al., 2022). En este artículo exploraremos como se forman las biopelículas, los sistemas de comunicación dentro de las mismas y mencionaremos algunos usos biotecnológicos de las biopelículas.

Formación de biopelículas

Las biopelículas pueden formarse en una variedad inimaginable de superficies tanto en ambientes naturales como industriales (Muhammad et al., 2020). Pueden estar formados por una sola especie bacteriana o por mezclas de especies, siendo estos últimos los que predominan en la naturaleza. Los primeros se han encontrado en algunas infecciones o contaminando diversas superficies, siendo *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Vibrio cholerae* las especies más estudiadas en este campo (Muhammad et al., 2020) (Tabla 1).

Para mantener unidas a las biopelículas es necesario una mezcla de sustancias poliméricas específicas (SPE) constituidas por polisacáridos, DNA extracelular y proteínas, que funcionan como un pegamento fuerte y a la vez fluido. Esta matriz funciona como un elemento estructural y de conexión célula-célula y desempeña un papel esencial en una serie de procesos que incluyen la unión celular y la comunicación. El cambio de estilo de vida desde ser una célula bacteriana en solitario denominada planctónica, hasta formar una comunidad compleja embebida en una biopelícula involucra muchos cambios en la fisiología bacteriana en respuesta a señales ambientales, como podría ser, la escasez de nutrientes (Jiang et al., 2021). A pesar de que las biopelículas han sido documentadas científicamente desde hace alrededor de cien años, apenas hemos comenzado a entenderlas a nivel molecular y se reconoce un ciclo de formación donde se incluye: (i) unión inicial de las bacterias a una superficie o entre ellas; (ii) formación de microcolonias; (iii) maduración de las biopelículas; y (iv) dispersión de la biopelícula (Armbruster y Parsek, 2018) (Figura 1).

Para entender el desarrollo de las biopelículas podemos decir que se trata de una comunidad sumamente compleja y multicultural, casi como nuestra propia ciudad, donde para poder vivir de la forma más cómoda y segura posible hay muchas cosas que son necesarias optimizar. Lo primero en lo que debemos de pensar para poder mudarnos es en elegir la ciudad adecuada, después debemos elegir el vecindario que más se adapte a nuestras necesidades y, finalmente, debemos establecer nuestra casa junto a las casas de muchas otras personas. También sabemos que, si en algún momento nuestras necesidades cambian, puede ser necesario dejar la ciudad y comenzar de nuevo con la búsqueda de un nuevo sitio. De forma análoga estos mismos pasos suceden con la formación de biopelículas bacterianas. Primero, las bacterias se aproximan a una superficie y reducen su motilidad para poder establecer una asociación con la superficie o con otras bacterias que ya se encuentren ahí. Esta asociación sería temporal y exploratoria en la búsqueda de condiciones apropiadas para

Tabla 1. Bacterias que podemos encontrar en alimentos formando biopelículas.

Bacterias	Sitios donde se han aislado	Alimentos contaminados
<i>Listeria monocytogenes</i>	Aguas contaminadas	Productos lácteos, melones y carne
<i>Pseudomonas spp.</i>	Pisos y desagües	Productos lácteos, carne roja y aves de corral
<i>Bacillus cereus</i>	Aceros inoxidable y plástico	Semillas, jugos de frutas, verduras y lácteos
<i>Salmonella</i>	Concreto y vidrio	Aves, cerdos y productos lácteos
<i>Escherichia coli</i>	Superficies de alimentos	Productos lácteos, peces y vegetales
<i>Clostridium</i>	Biopelículas multiespecies	Productos lácteos, vegetales y carne roja
<i>Cronobacter spp.</i>	Talco y evaporadores	Verduras, granos, embutidos y carne
<i>Staphylococcus</i>	Aceros inoxidable, plástico y vidrio	Pescados, mariscos y productos cárnicos

Modificada de Muhammad et al., 2020.

asentarse. Una vez que se encuentren las condiciones apropiadas, es decir, se elige el vecindario correcto, comienza una fase de asociación mucho más estable con la formación de microcolonias. Finalmente se comienza con la construcción o maduración de la biopelícula. Adicionalmente, de forma ocasional algunas de las bacterias asociadas a la biopelícula pueden desprenderse y migrar en la búsqueda de mejores condiciones y, a esta fase se le conoce como dispersión (Armbruster y Parsek, 2018) (Figura 1).

Comunicación dentro de la biopelícula

Algo fundamental es que los pobladores de una ciudad establezcan reglas para la convivencia a través de la comunicación. La comunicación bacteriana se lleva a cabo a través de mensajeros químicos, moléculas con la capacidad de migrar de una célula a otra y activar una respuesta metabólica (Emerenini et al., 2015). Este escenario sería prácticamente imposible en un ambiente acuático con las células bacterianas nadando en la corriente, ya que las señales químicas también serían arrastradas y no alcanzarían a las células blanco. Este sistema de comunicación química se conoce como percepción de quorum y los mensajeros químicos más estudiados son las acil-homoserina lactonas (AHLs). En *P. aeruginosa* se ha demostrado que las AHLs definen el espacio que existe entre las células que se encuentran formando la biopelícula, cuando se estudió una especie que no produce AHLs se encontró que las células se encuentran demasiado juntas unas con otras y se dispersan fácilmente cuando se adiciona un detergente, mientras que, cuando las AHLs están presentes las células se encuentran más separadas y la presencia de una mayor concentración de SPE hace que la biopelícula sea mucho más resistente (Jiang et al., 2021) (Figura 2).

Ventajas y aplicaciones de las biopelículas

Existen muchas ventajas de vivir en una gran ciudad, las personas viven juntas debido a que se comparten bienes y servicios. De la misma forma, las bacterias asociadas a una biopelícula son mucho más resistentes a sustancias tóxicas, como los antibióticos o los detergentes. Se cree que la resistencia a estas sustancias puede deberse a la baja permeabilidad que poseen las

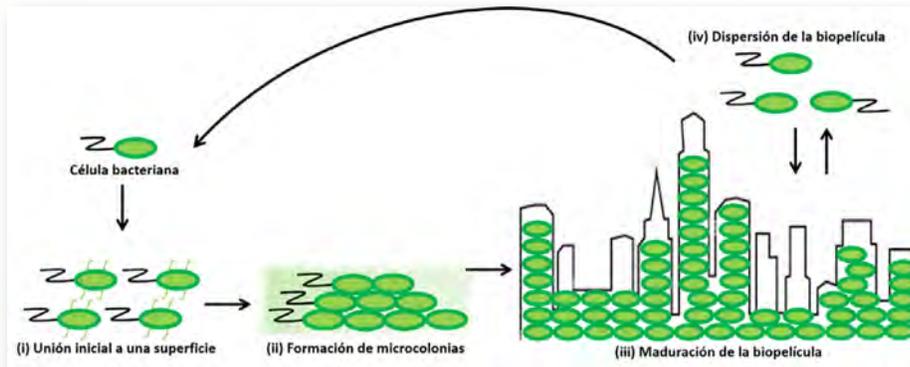


Figura 1. Modelo del desarrollo de las biopelículas. Bacterias individuales pueden formar uniones con distintas superficies y con otras células para dar origen a microcolonias. La maduración de la biopelícula se asemeja en organización y complejidad con una gran ciudad densamente poblada donde sus habitantes pueden abandonar la ciudad cuando las condiciones se vuelvan adversas mediante la dispersión de la biopelícula (Modificado de O'Toole y col., 2000).

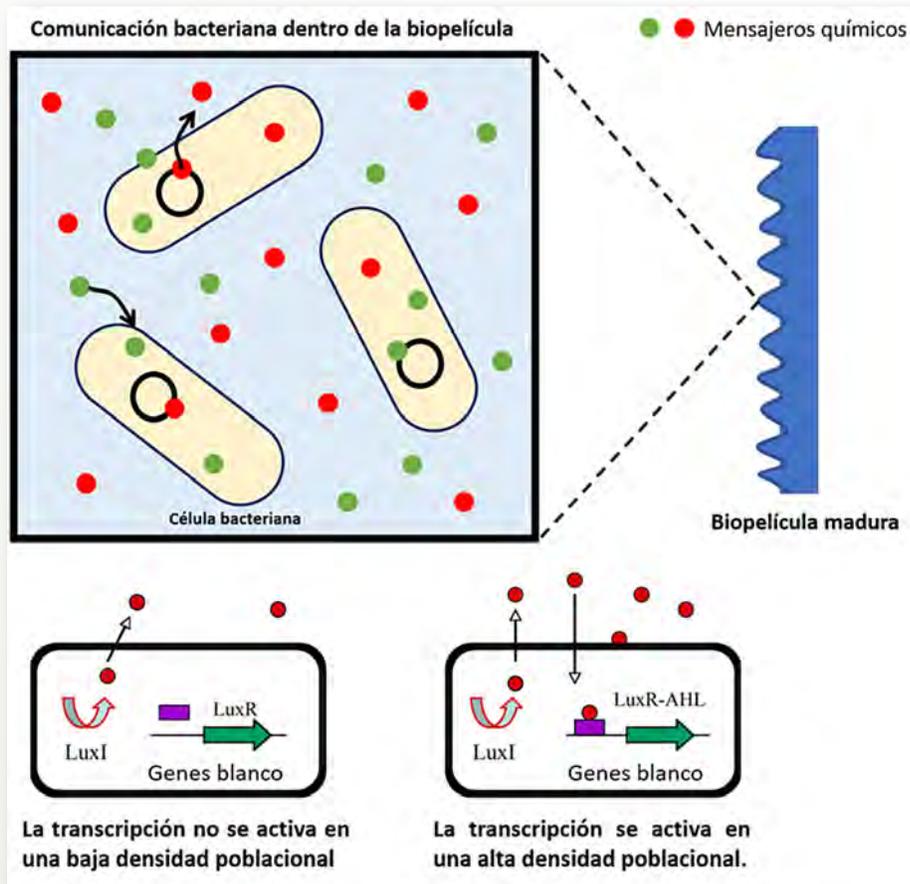


Figura 2. Comunicación dentro de la biopelícula. La comunicación dentro de la biopelícula se lleva a cabo gracias a la presencia de mensajeros químicos. Uno de los mecanismos de comunicación más estudiado es el sistema Lux, donde en altas densidades poblacionales se activa la síntesis de acil-homoserina lactonas que a su vez modulan la densidad de la biopelícula.

biopelículas, la baja tasa de crecimiento y las propiedades que tienen las SPE pueden ser la razón de la resistencia, por lo que las biopelículas son multifuncionales (Santos et al., 2018).

Finalmente, se están desarrollando estrategias biotecnológicas para aprovechar la capacidad de las bacterias de formar biopelículas. Nuestro grupo en

particular, estudia la bacteria *Sinorhizobium meliloti* y su capacidad para promover el crecimiento de las plantas de alfalfa. Para poder llevar a cabo la interacción con las plantas, la bacteria sintetiza biopelículas que le permiten colonizar las raíces para posteriormente formar nódulos, los cuales le proporcionan a la bacteria protección y nutrientes y a la planta le proporcionan el

Tabla 2. Ejemplos de aplicaciones benéficas de las biopelículas.

Aplicaciones	Propósitos
Biofertilizantes/Biocontrol	Promover el crecimiento y proteger contra patógenos
Biorremediación	Transformar contaminantes peligrosos
Tratamiento de agua	Remover contaminantes del agua
Celdas de combustible	Generar electricidad
Anticorrosión	Inhibir la corrosión de los metales
Biolixiviación	Extracción de metales de minas
Reactor de biopelículas	Producción de productos fermentados
Microbioma humano	Producción de vitaminas, degradación de toxinas, degradación de azúcares complejos

Modificada de Muhammad et al., 2020.

nitrógeno necesario para crecer (Chávez-Jacobo et al., 2022). Así mismo, otros grupos están desarrollando biotecnología aprovechando las biopelículas (Tabla 2), como, por ejemplo, la generación de energía eléctrica y la producción de vitaminas en el microbioma humano (Muhammad et al., 2020).

Conclusión

No cabe duda de que en el futuro nos espera el desarrollo de nuevos procesos donde podamos utilizar las propiedades de las bacterias de forma benéfica para el

ser humano, pero antes será necesaria mucha investigación para terminar de entender las complejas interacciones a nivel molecular que se llevan a cabo en las comunidades bacterianas formadas dentro de una biopelícula.

Referencias

Armbruster, C. R. & Parsek M. R. (2018). New insight into the early stages of biofilm formation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 115 (17): 4317–4319. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804084115>.
Chávez-Jacobo, V.M., Becerra-Rivera, V.A., Guerrero,

G. & Dunn, M.F. (2022) The *Sinorhizobium Meliloti* NspS-MbaA System affects Biofilm Formation, Exopolysaccharide Production and Motility in Response to Specific Polyamines. *Preprints*, 2022070204. <https://doi.org/10.20944/preprints202207.0204.v1>.

Emerenini, B. O., Hense, B. A., Kuttler, C. & Eberl, H. J. (2015). A Mathematical Model of Quorum Sensing Induced Biofilm Detachment. *PLoS one*, 10 (7): e0132385. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132385>.

Gudynaite, D., Arnaouteli, S., Bamford, N.C., Kalamara, M. & Stanley-Wall N. R. (2022) Bacterial Biofilms: Did You Know They Can Help Us? *Front Young Minds* 10: 626305. <https://doi.org/10.3389/frym.2022.626305>.

Jiang, Z., Nero, T., Mukherjee, S., Olson, R., & Yan, J. (2021). Searching for the Secret of Stickiness: How Biofilms Adhere to Surfaces. *Front Microbiol*, 12: 686793. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.686793>.

Muhammad, M. H., Idris, A. L., Fan, X., Guo, Y., Yu, Y., Jin, X., Qiu, J., Guan, X., & Huang, T. (2020). Beyond Risk: Bacterial Biofilms and Their Regulating. *Approach. Front Microbiol*, 11: 928. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00928>.

Santos, A., Galdino, A., Mello, T. P., Ramos, L. S., Branquinho, M. H., Bolognese, A. M., Columbano, N. J., & Roudbary, M. (2018). What are the advantages of living in a community? A microbial biofilm perspective. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 113 (9): e180212. <https://doi.org/10.1590/0074-02760180212>.

O'Toole, G., Kaplan, H. B., & Kolter R. (2000). Biofilm formation as microbial development. *Annu Rev Microbiol*, 54: 49–79. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.54.1.49>.