

Colisiones en etapas tempranas de la formación de biofilms: la influencia de la frontera

Álvaro Rodríguez-Rivas¹, Marta Pulido-Sánchez², Alessandro Patti^{3,4}, Fernando Govantes^{2,5}, and Alejandro Cuetos¹

¹Department of Physical, Chemical and Natural Systems, Pablo de Olavide University, 41013, Sevilla, Spain

²Centro Andaluz de Biología del Desarrollo

(Universidad Pablo de Olavide, Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Junta de Andalucía)

³Department of Chemical Engineering, The University of Manchester, Manchester, M13 9PL, UK

⁴Department of Applied Physics, University of Granada, Fuente Nueva s/n, Granada, 18071, Spain

⁵Departamento de Biología Molecular e Ingeniería Bioquímica, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, Spain

Las colonias bacterianas o biofilms abundan en superficies vivas e inertes y se sabe que median en una amplia gama de procesos en ecología, procesos metabólicos, medicina e industria. Aunque se ha investigado ampliamente un rango de escala que va desde las células individuales hasta escalas demográficas, un emergente interés ha surgido en la obtención de una imagen biomecánica completa que destaque la dinámica célula-colonia[1]. En situaciones cotidianas, esta dinámica se ve profundamente modificada cuando nos encontramos diferentes biofilms bacterianos colisionando conforme crecen, y sus efectos en el desarrollo colectivo es de gran interés. Un ejemplo muy cercano y de gran interés lo encontramos en la microbiota intestinal.

En este trabajo realizamos un estudio exhaustivo de la evolución temporal de estas colisiones, sus propiedades estructurales y correlaciones, así como la influencia de la frontera sobre dichas propiedades y su alcance. Para ello, hacemos uso de simulaciones por ordenador con base en células individuales mediante la técnica de Dynamic Monte Carlo, y también el análisis de imágenes de microscopía durante la formación temprana de biofilms bidimensionales generadas por la bacteria Gram-negativa *Pseudomonas putida*[2, 3].

Partiendo inicialmente de dos bacterias generadoras para los dos biofilms que colisionan, hemos conseguido clasificar y caracterizar los distintos tipos de frontera generados. Para ello, hemos dispuesto las bacterias iniciales a distancias y orientaciones mutuas diferentes, así como distintos valores en los tiempos de difusión y crecimiento individuales, englobados estos dos últimos valores en un único parámetro Γ , que nos permite fijar la dinámica evolutiva de ambos biofilms bacterianos[2].

Hemos utilizado diversas mediciones, como la tortuosidad de la frontera, los perfiles de densidad, los perfiles del parámetro de orden nemático S_2 y los perfiles de los biotipos bacterianos con respecto a sus primeros vecinos, para poder cuantificar dos aspectos importantes de los biofilms bacterianos. Por un lado, hemos podido determinar que estos biofilms mantienen una alta integridad. Por otro lado, también hemos observado que la influencia de la frontera tiene efectos internos en las configuraciones estructurales de

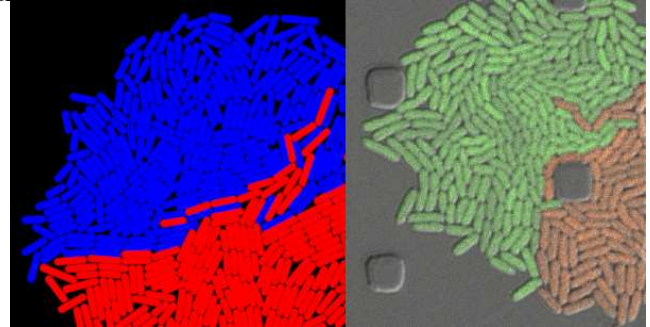


Fig. 1. Se presentan dos ejemplos de fronteras generadas en colisiones de biofilms. En la imagen de la izquierda, se muestra la configuración final de una simulación DMC. A la derecha, se muestra una imagen de microscopía donde se observa la zona de colisión entre dos biofilms que presentan diferentes colores de fluorescencia para la bacteria *Pseudomonas putida*. Podemos apreciar la similitud entre ambas fronteras y cómo estas afectan las orientaciones individuales de las bacterias cercanas en sus respectivas zonas de influencia.

los biofilms. De hecho, se observa un claro efecto sobre las orientaciones individuales de las bacterias, con disposiciones paralelas a la frontera y a lo largo de ésta. Esta correlación angular se extiende internamente por los biofilms en la zona de influencia de la frontera, lo que dificulta o impide el desarrollo normal de microdominios bacterianos que típicamente observados en los biofilms individuales[1] (ver Fig.1).

-
- [1] Z. You, D.J.G. Pearce, A. Sengupta, and L. Giomi, *Geometry and Mechanics of Microdomains in Growing Bacterial Colonies*, Phys. Rev. X **8**, 31065 (2018).
 - [2] R.D. Acemel, F. Govantes, and A. Cuetos, *Computer simulation study of early bacterial biofilm development*, Sci. Rep. **8**, 5340 (2018).
 - [3] A. Delgado-Campos and A. Cuetos, *Influence of homeostatic mechanisms of bacterial growth and division on structural properties of microcolonies: A computer simulation study*, Phys. Rev. E **106**, 034402 (2022)