

el complejo lenguaje de las bacterias

Se espera que en el futuro próximo se conozcan los detalles finos de la comunicación no sólo dentro y entre las especies bacterianas, sino también del diálogo establecido entre éstas y los organismos superiores.

Agustino Martínez Antonio y Gloria Soberón-Chávez

INTRODUCCIÓN

La comunicación ha sido un recurso fundamental para conocer la forma en que se comportan las poblaciones de gran número de organismos. En los humanos ha sido muy importante conocer, mediante registro o censo, el estado de las comunidades, pues esa información permite establecer estrategias adecuadas para el crecimiento ordenado y armónico. El desarrollo de formas de comunicación y sobre todo de un lenguaje común es fundamental para mantener informada a toda una población sobre aspectos que son de interés general, como, por ejemplo, las emergencias ambientales.

Sin embargo, es difícil imaginar que en el mundo de las bacterias exista una forma de comunicación eficiente, por medio de

la cual éstas sean capaces de transmitir a sus congéneres información sobre las condiciones físicas y químicas del ambiente y sobre la disponibilidad de elementos nutritivos en su vecindad, circunstancias determinantes en la vida de las bacterias, al grado de que han forzado la evolución bacteriana hacia el desarrollo de una diversi-

dad de mecanismos que le han permitido adaptarse a nuevos nichos ecológicos, así como contrarrestar los cambios bruscos en las condiciones de su ambiente.

Puesto que las bacterias están entre los organismos más antiguos de la Tierra, es claro que se han adaptado para responder a las condiciones ambientales. Pero, ¿es posible que se comporten como una población organizada? Es decir, ¿será posible que una comunidad bacteriana tenga un lenguaje común y que cada bacteria conozca el estado de la población, y más aún, que esto conduzca a un comportamiento concertado para toda una población bacteriana?

Desde hace 30 años se han realizado investigaciones que han permitido descifrar parcialmente el complejo lenguaje bacteriano. En el presente artículo abordaremos en forma general algunos de estos aspectos.

EL INICIO

En 1970, K. H. Nealson y J. W. Hastings, en la Universidad de Harvard, Massachussets, al tratar de aislar una enzima llamada lu-

ciferasa —que permite la producción de luz en varios organismos luminiscentes— a partir de cultivos de la bacteria *Vibrio fischeri*, notaron que dichos cultivos producían luz sólo en un punto dado a lo largo de su crecimiento. Esto es, la luz se producía sólo cuando había una alta densidad de células en el cultivo, y no al inicio de éste. La producción de luz disminuía en cultivos envejecidos. Nealson y Hastings postularon que la producción de la enzima debía de estar controlada por algún mecanismo molecular cuya señal era producida por las mismas bacterias. Llamaron “autoinducción” a

este fenómeno, y a la molécula que servía de señal, “autoinductor”. Aunque al principio esta teoría fue recibida con escepticismo, con el tiempo se describieron los componentes moleculares que hacen posible este tipo de regulación.

La bacteria marina *V. fischeri*, aunque puede vivir libremente, se ha adaptado para habitar dentro de un órgano especializado del calamar *Euprymna scolopes*, que aparentemente evolucionó expresamente para ello. En edad temprana, este calamar acepta un solo tipo de bacteria (*V. fischeri*) dentro de su órgano especializado. Gracias a la disponibilidad de nutrientes proporcionados por el calamar en ese sitio, las bacterias se multiplican hasta alcanzar una alta densidad, y en ese momento la población bacteriana comienza a producir luz.

Esta relación simbiótica rinde beneficios tanto para la bacteria como para el huésped: este último, un organismo multicelular eucarionte, brinda a las bacterias protección y nutrientes, mientras que las bacterias producen luz en la parte inferior del calamar, que es donde se localiza el órgano de simbiosis, y como el calamar es un animal nocturno, le permite no proyectar sombra, o bien asemejar la apariencia de la luna y de esta manera pasar inadvertido para sus depredadores o para sus presas. Se cree que el mismo mecanismo de señalización que controla la producción de luz de *V. fischeri* también les sirve a estas bacterias para distinguir si se encuentran en vida libre o dentro del órgano de luz. En la Figura 1 se esquematiza la producción de la señal autoinductora a lo largo de la curva de crecimiento de una bacteria típica.

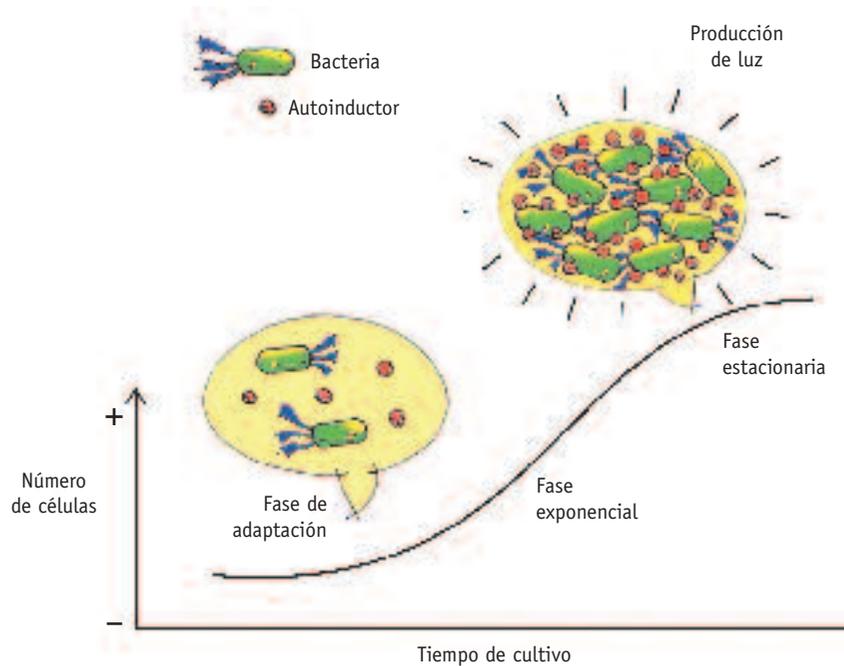


Figura 1. Producción de autoinductores durante la curva de crecimiento en un cultivo bacteriano típico. El autoinductor se sintetiza de manera constante y alcanza alta concentración cuando hay alta densidad de células en el cultivo.

LOS COMPONENTES MOLECULARES DE LA AUTOINDUCCIÓN

El fenómeno de respuesta colectiva en bacterias ha sido denominado “detección de quórum” (*quorum sensing*), y está controlado básicamente por dos genes que son regulados por separado. Un gen codifica para la enzima que sintetiza el autoinductor, y el otro para una proteína reguladora. En *V. fischeri* el gen de la enzima ha sido denominado *luxI*, y el de la proteína reguladora, *luxR*. La enzima LuxI, producto del gen *luxI*, sintetiza un compuesto llamado N-3-(oxohexanoil)-homoserina lactona. Esta lactona fue marcada con isótopos radiactivos y se encontró que es capaz de difundirse libremente a través de las membranas bacterianas, por lo cual se halla por igual y en la misma concentración tanto dentro de la célula como fuera de ella. Por

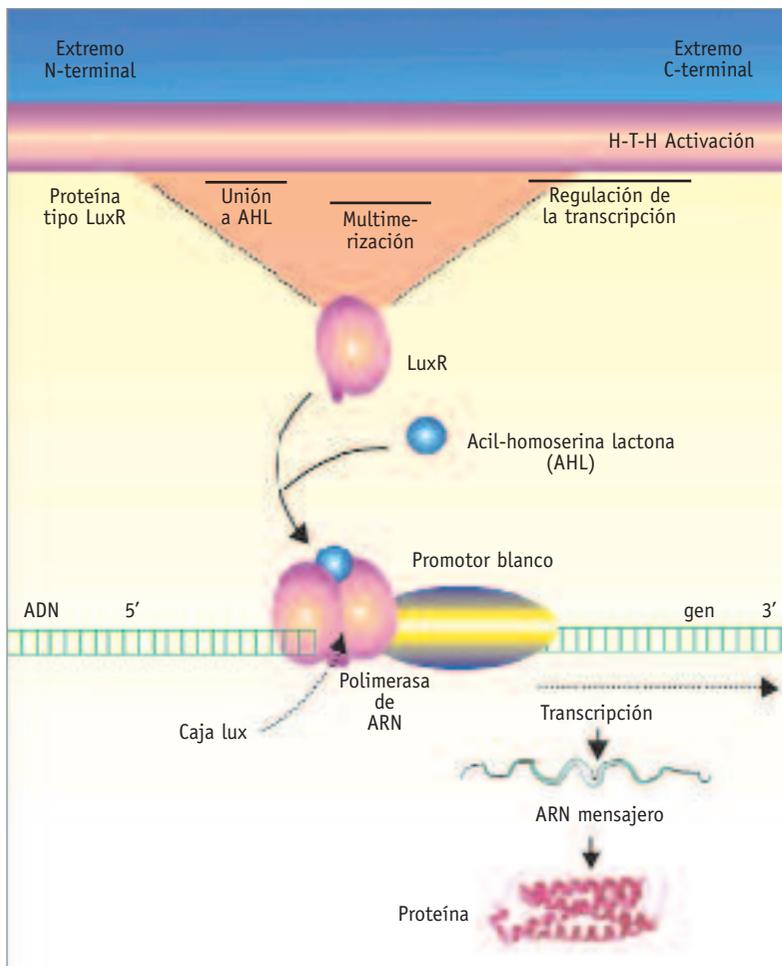


Figura 2. Actividad reguladora de las proteínas tipo LuxR. Dos proteínas se unen a una molécula de autoinductor y de esta manera se activa la expresión de los genes respectivos.

otra parte, la proteína reguladora, LuxR, está constituida por dos dominios o módulos funcionales; un dominio contiene el sitio al que se une la lactona autoinductora, y el otro un sitio que se encarga de regular la expresión del gen, pues sirve para unirse al ADN. El punto en el ADN donde se une la proteína LuxR ha sido localizado mediante experimentos *in vitro* e *in vivo*, y ha sido denominado genéricamente como “caja lux” (Figura 2).

EL MECANISMO DE LA AUTOINDUCCIÓN

Las bacterias sintetizan una cantidad pequeña pero constante del autoinductor. De este modo, cuando hay baja densidad de células en el medio, el autoinductor se encuentra en poca concentración, pero conforme aumenta la densidad celular, aumenta mucho la concentración del autoinductor. Este compuesto se acumula en el medio extracelular hasta alcanzar una concentración umbral que hace posible su unión a la proteína LuxR. Este punto crítico en la concentración del autoinductor coincide con el final de la fase de crecimiento exponencial de las bacterias (Figura 1). La unión del autoinductor a la proteína LuxR provoca en ésta un cambio en su estructura que posibilita su unión a otra molécula de proteína LuxR, para formar un dímero. Este complejo (dos moléculas de LuxR y una del autoinductor) se une al ADN en la caja *lux*. El complejo, unido al ADN, estabiliza la enzima polimerasa de ARN y hace posible la transcripción de los genes respectivos. Uno de los genes transcritos es *luxI*, que codifica para la enzima que sintetiza el autoinductor, por lo

que a su vez se produce más de este último, en un circuito de retroalimentación positiva muy eficiente que logra una rápida respuesta de toda la población a un pequeño estímulo inicial y en un periodo muy corto (Figura 3). En el caso de *V. fischeri*, uno de los genes activados por este sistema codifica para la enzima luciferasa, responsable de la producción de luz.

DISTRIBUCIÓN DE ESTE TIPO DE COMUNICACIÓN ENTRE BACTERIAS GRAM NEGATIVAS

En los inicios de 1990, varios grupos de investigación en el mundo realizaron descubrimientos clave que indicaron que la comunicación colectiva por detección de quórum es un mecanismo ampliamente distribuido en muchas especies de bacterias. También se ha venido incrementando la evidencia de que este tipo de comunicación es utilizado por las bacterias en su relación con organismos superiores en procesos simbióticos o patogénicos.

Adicionalmente, se descubrió que las bacterias no se limitan a poseer un solo sistema de comunicación, sino que en ocasiones

son capaces de poseer dos sistemas de detección de quórum. Estos sistemas utilizan distintas moléculas autoinducoras (acil-homoserina lactonas; Figura 4a). Un ejemplo de esta comunicación se presenta en la bacteria *Pseudomona aeruginosa*, modelo de estudio usado en nuestro grupo de investigación en el Instituto de Biotecnología de la UNAM. *P. aeruginosa*, una bacteria ampliamente distribuida en la naturaleza, ha sido muy estudiada por ser un patógeno oportunista en individuos con deterioro del sistema inmunitario o que han sufrido quemaduras graves; además es la principal causa de muerte en pacientes con fibrosis quística. Esta bacteria produce moléculas llamadas “factores de virulencia”, como enzimas, polisacáridos y glicolípidos, que son regulados de manera colectiva por detección de quórum, pues la población bacteriana, una vez que se encuentra en alta concentración, produce de manera concertada los factores patogénicos que le permiten una rápida y eficaz colonización del huésped. Los dos sistemas de respuesta de detección de quórum en *P. aeruginosa* se encuentran en orden jerárquico; el sistema llamado LasR/LasI regula al sistema RhlR/RhlI, y ambos —en algunas ocasiones de manera entrecruzada— regulan la producción de los factores de virulencia, el aparato para la secreción de enzimas extracelulares, los diferentes mecanismos de movilidad, la formación de biopelículas y la expresión de genes necesarios para la supervivencia de las bacterias en la fase estacionaria del cultivo. Los detalles de la regulación son complejos y bien modulados. En nuestro grupo se estudia principalmente la genética molecular de la producción de un compuesto llamado “ramnolípido” (un agente tensoactivo, es decir, que disminuye la tensión superficial del agua, de manera similar a como lo hacen los detergentes), y hemos encontrado que su producción depende no sólo del control por detección de quórum, sino también de factores nutricionales (Maier y Soberón-Chávez, 2000; Rhaim y cols., 2001). Además estudiamos los factores genéticos y ambientales que modulan la expresión del regulador RhlR, y analizamos un posible tercer regulador de la detección de quórum en *P. aeruginosa*, denominado PhzR.

Otro ejemplo son las bacterias del género *Rhizobium*, que habitan en el suelo y son capaces de establecerse en nódulos de raíces de plantas leguminosas, entablando una relación simbiótica. En estos nódulos, con poca concentración de oxígeno, las bacterias se vuelven capaces de realizar una reacción que es básica para los procesos biológicos: la fijación de nitrógeno. Cuando comienza a interactuar con la

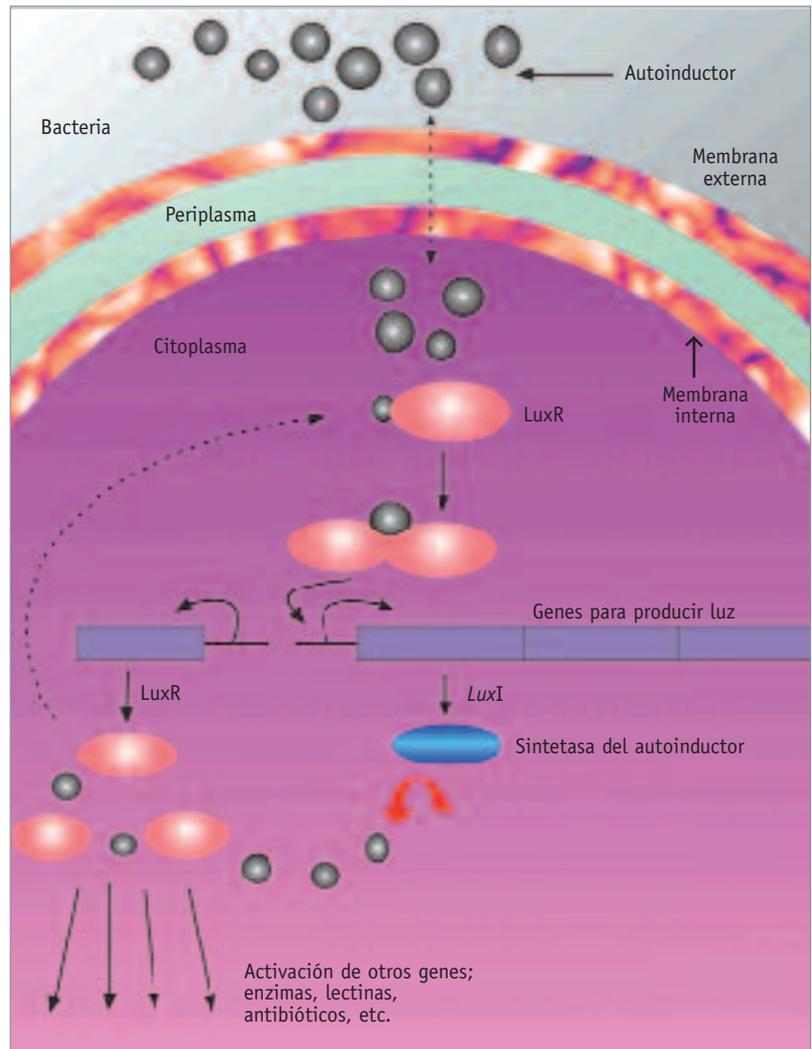


Figura 3. Esquema de regulación por medio de moléculas autoinducoras y por proteínas reguladoras tipo LuxR. El autoinductor se difunde a través de las membranas celulares y puede así activar la expresión de los genes necesarios en todas las bacterias de una población.

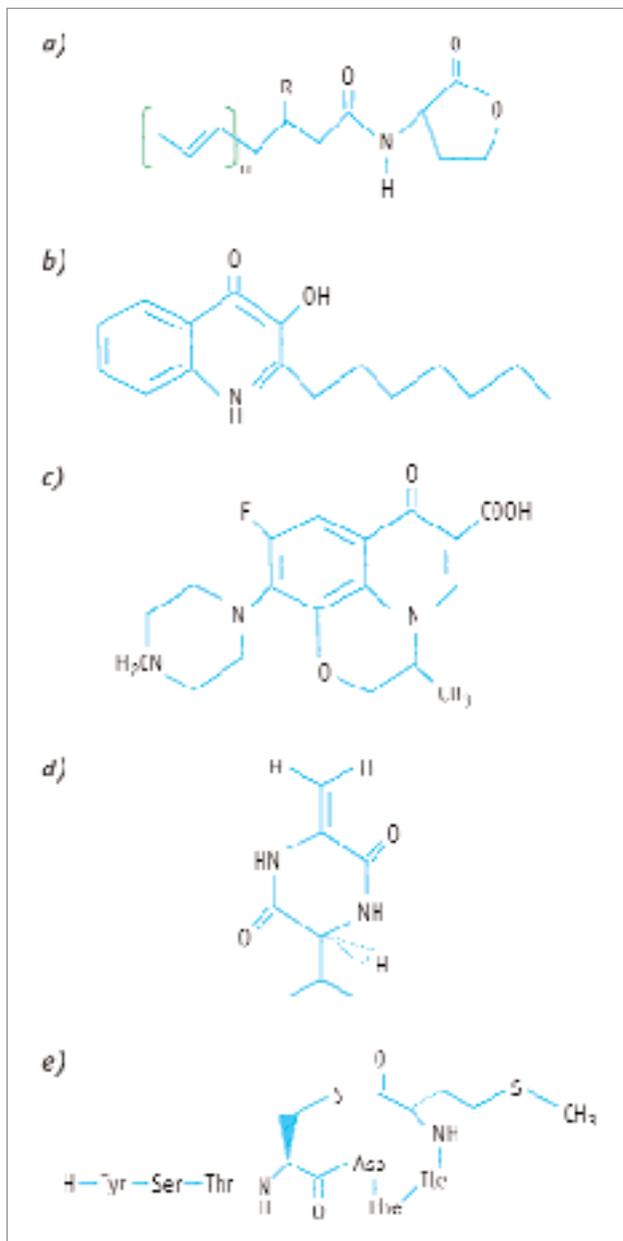


Figura 4. Principales moléculas conocidas utilizadas en los sistemas de comunicación bacteriana: **a)** N-acil-homoserina lactona; **b)** 2-heptil-3-hidroxi-4-quinolona; **c)** ofloxacina; **d)** péptido cíclico ciclo (Δ -Ala-L-Val); y **e)** péptido cíclico tiolactona de *Staphylococcus aureus* grupo I.

planta, esta bacteria utiliza un sistema que requiere N-acil-homoserina lactonas. Otra bacteria, *Agrobacterium tumefaciens*, emplea un sistema similar para transferir el plásmido Ti (por *tumor induction*, inducción de tumores) a ciertas plantas: de esta manera, la bacteria induce la formación de un tumor en la planta, y ésta a su vez, como consecuencia de la tumora-ción, secreta compuestos denominados “opinas”, que son utilizados por la bacteria como fuente de carbono. En el caso de *Erwinia carotovora* y otras bacterias que causan enfermedades en las plantas, se utiliza un sistema parecido para liberar enzimas destructivas y también, en algunos casos, para liberar antibióticos que evitan la competencia de otras bacterias durante el proceso de colonización.

Existe evidencia de que *Burkholderia cepacia*, bacteria oportunista que coloniza los pulmones de pacientes con fibrosis quística, puede detectar y responder a las señales de densidad producidas por *P. aeruginosa*, que también coloniza los pulmones de estos pacientes. En el ambiente, las bacterias generalmente habitan en estructuras complejas denominadas biopelículas (“biofilms”), que están formadas por exopolisacáridos y se encuentran adheridas a superficies fijas. Estas estructuras poseen en su interior canales que facilitan el flujo de nutrientes y evitan la desecación. Las biopelículas, en sus diferentes microrregiones, son habitadas por una o más especies bacterianas que mantienen comunicación constante, que se diferencian y que expresan diferentes genes, dependiendo de las condiciones externas y de la disponibilidad de nutrientes. Las bacterias en estas biopelículas presentan muy alta resistencia a la acción de antibióticos. Las poblaciones bacterianas en estas comunidades aumentan su probabilidad de supervivencia mediante un constante intercambio de señales que les permite responder al ambiente. Ahora se sabe que cuando hay mutaciones en algunos sistemas de detección de quórum, se presentan deficiencias en la formación de estas biopelículas.

Pseudomona aureofaciens, una bacteria asociada a plantas, utiliza un mecanismo de señalización como los anteriormente descritos para regular la producción del antibiótico fenazina. Pero esta bacteria es también capaz de reconocer lactonas producidas por otras es-

pecies de bacterias establecidas en el mismo nicho ecológico. De esta manera, *P. aureofaciens* responde a situaciones de intensa competencia activando la biosíntesis de su antibiótico.

OTROS SISTEMAS DE RESPUESTA POR DETECCIÓN DE QUÓRUM

Se han descrito otros sistemas de detección de quórum que no incluyen acil-homoserina lactonas, ni proteínas tipo LuxR/LuxI. Así, en especies de *Streptomyces*, moléculas llamadas γ -butirolactonas son las encargadas de regular la producción de antibióticos durante la transición a la fase estacionaria. *Mixococcus xanthus* es una bacteria sorprendente que vive en el suelo, generalmente como células individuales, pero cuando hay limitación de agua o nutrientes, miles de células se movilizan y se agrupan para constituir estructuras multicelulares denominadas “cuerpos fructíferos”, que producen miles de esporas resistentes. Este complejo proceso requiere una molécula denominada factor A (relacionada con las γ -butirolactonas), que dirige el comportamiento de toda la población durante este proceso.

COMUNICACIÓN EN BACTERIAS GRAM POSITIVAS

En bacterias del tipo gram positivas, al igual que en las gram negativas, existe una modulación del comportamiento poblacional mediado por moléculas. En este caso se trata de pequeños péptidos (moléculas formadas por 5 a 30 aminoácidos, Figura 4e). Los primeros estudios en este sentido se realizaron en *Bacillus subtilis*, una bacteria que produce esporas y en la que se ha estudiado ampliamente la capacidad para absorber ADN del medio externo. Estas dos propiedades en *Bacillus* son dadas generalmente cuando existe limitación de algún nutriente, y en el laboratorio corresponde con la transición del cultivo a la fase estacionaria (Figura 1). En 1988, Grossman y Losick demostraron que la formación de esporas no podía comenzar cuando la densidad de células en el medio era baja, aun en presencia de inductores de este proceso; el proceso se iniciaba solamente a altas densidades y dependía no sólo de la limitación de nutrientes, sino también de la presencia de un factor en el medio de cultivo. Se encontró que si se tomaban cultivos de *Bacillus* con alta densidad celular y se obtenía el medio de cultivo sin células, y éste se añadía a cultivos con baja densidad celular, era posible inducir la formación de esporas. Por otro lado, se encontró que una mutación en una enzima que hace pasar ciertos péptidos a través de la membrana celular afecta la formación de esporas y la capacidad de absorber ADN exter-

En nuestro grupo se estudia principalmente la genética molecular de la producción de un compuesto llamado “ramnolípido”

no. Puesto que los péptidos de señalización no pueden pasar libremente al interior de la célula, son reconocidos por un sistema de transducción de señales formado por dos componentes: una proteína de membrana que interactúa con el péptido de señalización y envía un mensaje a una segunda proteína reguladora de la respuesta, que es la encargada de activar la expresión de los genes necesarios. Así se concluyó que estos péptidos actúan como sensores de la población, permitiendo que sus miembros sepan con cuántas células deben compartir los nutrimentos o si deben prepararse para recibir ADN externo. Los péptidos liberados por las células constituyen la señal para conocer el estado poblacional de la especie. Este proceso de comunicación poblacional incluye la expresión de factores de virulencia, la transferencia de genes y la producción de antibióticos en especies de bacterias como *Streptococcus*, *Neumococcus*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*, *Lactobacillus* y *Carnobacterium*.

SISTEMAS HÍBRIDOS DE COMUNICACIÓN

La bacteria marina luminosa de vida libre *Vibrio harveyi* posee dos sistemas de auto-inducción que actúan de manera paralela para regular, dependiendo de la densidad celular, la expresión del conjunto de genes que controlan la enzima luciferasa. Este complejo circuito de comunicación por

detección de quórum se denomina híbrido porque tiene características que corresponden a bacterias gram negativas y también a gram positivas: la bacteria produce y responde a una acil-homoserina lactona, pero también a una segunda molécula de naturaleza aún no identificada, aunque las evidencias indican que no es una homoserina lactona. El reconocimiento y la respuesta a los dos autoinductores se logra por medio de un sistema de transducción de señales de dos componentes, como sucede en bacterias gram positivas. Es interesante que no existan proteínas homólogas a LuxR y LuxI, como en *V. fischeri*. En bacterias tanto gram negativas como gram positivas han sido encontradas proteínas homólogas a LuxS, que sintetizan la segunda molécula aún no identificada en *V. harveyi*. Se ha comprobado que en la mayoría de las especies que los poseen, estos genes presentan un autoinductor no identificado (denominado AI-2). Se han obtenido mutantes del gen *luxS* en las bacterias *E. coli*, *S. typhimurium*, *V. cholerae* y *H. pylori*, y en cada caso, la mutación elimina la producción del autoinductor. En estas últimas bacterias la evidencia indica que estos autoinductores intervienen en su capacidad para causar enfermedades. *V. harveyi* activa la expresión de los genes *lux* en presencia de los dos tipos de autoinductores que produce, pero también es capaz de responder a la señal AI-2 producida por muchas otras bacterias gram negativas y positivas. Este resultado sugiere que la respuesta vía AI-2 es un sistema de comunicación bastante común entre especies bacterianas. De esta manera *V. harveyi* no sólo es capaz de detectar la densidad poblacional de su propia especie, sino también de otras bacterias en una población mezclada, de modo que tiene la habilidad de expresar distintos genes dependiendo de si está o no en un cultivo

puro. Este sistema de señalización es la base de lo que parece ser un lenguaje universal entre bacterias.

OTRAS MOLÉCULAS DE SEÑALIZACIÓN

Recientemente se han descubierto nuevas moléculas de señalización presentes en cultivos bacterianos. La presencia de moléculas de señalización tipo acil-homoserina lactona en muchas bacterias se ha logrado gracias a la disponibilidad de “biosensores”, que son construcciones moleculares que incluyen una proteína reguladora tipo LuxR y una enzima regulada por proteínas tipo LuxR (como la luciferasa). Con el auxilio de los biosensores es posible detectar la presencia de autoinductores en cultivos bacterianos, ya que al existir el autoinductor, la proteína reguladora activa la expresión de la luciferasa, con la consecuente producción de luz. En bacterias de la especie *P. aeruginosa*, en las que se han introducido mutaciones en los genes que codifican las enzimas LasI y RhII (que se encargan de la producción de los autoinductores), se han identificado moléculas del tipo de las quinolonas (Figura 4b), que son capaces de activar a los biosensores. Estas moléculas están dentro de la jerarquía reguladora por detección de quórum, ya que su producción es controlada por la proteína LasR, en tanto que su actividad biológica depende de la proteína RhIR; ambas proteínas son las reguladoras en los dos sistemas de comunicación por quórum conocidos en *P. aeruginosa*. De la misma manera como se detectaron estas quinolonas, también se han detectado moléculas conocidas como dicetopiperazinas (Figura 4d); estos dipéptidos cíclicos son conocidos en plantas y animales superiores por presentar actividades biológicas y farmacológicas, por lo que se ha especulado que aunque estas moléculas no intervengan en la intercomunicación bacteriana, sí podrían ser empleadas para modular las interacciones entre procariontes y eucariontes (por ejemplo, entre bacterias y plantas).

Xanthomonas campestris, una bacteria que causa enfermedades en plantas, utiliza moléculas pequeñas, que pueden pasar a través de la membrana celular y que no están relacionadas con las acil-homoserina lactonas, para regular la producción de factores virulentos. *Ralstonia solanacearum* utiliza el éster metílico del ácido 3-hidroxi palmítico, en forma conjunta con una acil-homoserina lactona para modular su patogenicidad hacia las plantas. En las interacciones procarionte-eucarionte existe producción de compuestos parecidos a las moléculas de señalización que interfieren en la recepción del autoinductor. Un caso especial sucede con el alga marina *Delisea pulchra*, que produce una serie de sustancias llamadas furanonas, que interfieren en la lactona producida por

Serratia liquefaciens, e inhiben en esta bacteria un tipo especial de movimiento denominado *swarming*. En estudios recientes se ha demostrado que estas furanonas se unen directamente al sitio de unión para la lactona autoinductora específica en la proteína LuxR y evitan así su unión. La inhibición de la detección de quórum fue proporcional a la capacidad de la furanona para interferir en la unión del autoinductor (lactona) y la proteína reguladora.

Se piensa que, como existe más de un sistema de comunicación por detección de quórum, quizá éstos funcionen en diferentes condiciones de cultivo, aunque, como se ha mencionado, algunas veces funcionan de manera entrecruzada. También se tienen evidencias de que el circuito regulador, una vez encendido, puede apagarse mediante determinado exceso de autoinductor. De esta manera, la respuesta por detección de quórum se da en lapso corto pero efectivo.

COMENTARIOS FINALES

En los años más recientes ha habido un espectacular avance en el conocimiento de cómo se comunican las bacterias, y se ha descrito gran variedad de funciones que son reguladas por detección de quórum. Estos mecanismos modulan el comportamiento de toda una población en respuesta a la densidad celular. En razón de que muchas bacterias que causan enfermedades controlan la producción de factores dañinos por medio de estos mecanismos, se tiene interés en conocer los detalles moleculares de dichos sistemas para controlar por fin los daños que causan estas bacterias, ya sea con mutaciones específicas o por medio del empleo de moléculas inhibitoras. Por ahora está claro que por medio de tales sistemas las poblaciones bacterianas regulan su comportamiento no sólo en los cultivos de laboratorio, sino también en la naturaleza. Asimismo, es claro que la comunicación no sólo es posible entre especies bacterianas, sino también con organismos superiores. Se espera que en el futuro próximo se conozcan los detalles finos de la comunicación no sólo dentro y entre las especies bacterianas, sino también del diálogo establecido entre éstas y los organismos superiores.

PARA SABER MÁS

- Bassler, B. L. (1999), "How bacteria talk to each other: Regulation of gene expression by quorum sensing", *Curr. Opin. Microbiol.*, 2:582-587.
- Dunny, G., y B. A. Leonard (1997), "Cell-cell communication in gram-positive bacteria", *Ann. Rev. Microbiol.*, 51:527-564.
- Fuqua, C., S. Winans y E. P. Greenberg (1996), "Census and consensus in bacterial ecosystems: The LuxR-LuxI Family of quorum-sensing transcriptional regulators", *Ann. Rev. Microbiol.*, 50:727-751.

Greenberg, E. P. (1997), "Quorum sensing in gram-negative bacteria", *ASM News*, 63:371-377.

Lazizzera, B. (2000), "Quorum sensing and starvation: Signals for entry to stationary phase", *Curr. Opin. Microbiol.*, 3:177-182.

Losick, R., y D. Kaiser (1997), "Why and how bacteria communicate", *Scientific American*, febrero, pp. 68-73.

Pesci, E. C. (2000), "New signal molecules on the quorum sensing block", *Trends in Microbiol.*, 8; 3:103-104.

Salmond, G., B. Bycroft, G. Stewart y P. Williams (1995), "The bacterial enigma: Cracking the code cell-cell communication", *Mol. Microbiol.*, 16:615-624.

Referencias específicas

Rhaim, R., U. Oschner, C. Olvera, M. Granger, P. Messner, J. Lam y G. Soberón-Chávez (2001), "Cloning and functional characterization of the *Pseudomonas aeruginosa* *rhlC* gene that encodes a rhamnolipid transferase 2, an enzyme responsible for di-rhamnolipid biosynthesis", *Mol. Microbiol.*, 40(3):708-718.

Maier, R. M., y G. Soberón-Chávez (2000), "*Pseudomonas aeruginosa* rhamnolipids: Biosynthesis and potential applications", *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 54:625-633.

Agustino Martínez Antonio es químico biólogo por la Universidad Autónoma "Benito Juárez", de Oaxaca. Actualmente está por concluir sus estudios de doctorado en ciencias bioquímicas en el Instituto de Biotecnología de la UNAM.

Gloria Soberón-Chávez obtuvo el doctorado por la UNAM, en el Proyecto Académico de Investigación Biomédica Básica. Se incorporó como investigadora en el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, UNAM, en 1983. Recibió el Premio Weizmann de la Academia de la Investigación Científica en 1987. Actualmente es investigadora en el Departamento de Bioingeniería en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, cuya área de interés es la microbiología industrial y molecular.