

ENCUENTROS CON LA CIENCIA II

Del macrocosmos al microcosmos

Coordinadores: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano

Premio
Divulgación Científica
Ateneo-Universidad de Málaga
2010



Coordinan: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano
Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga

Produce: Ciencia Digital, S.L.
Diseño de portada: Patricia Vicente López

ISBN: 978-84-9747-337-8 (Versión digital)



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons:
Reconocimiento - No comercial - SinObraDerivada (cc-by-nc-nd):
[Http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es)
Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.
No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta obra se encuentra depositada en el repositorio institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA), en <http://hdl.handle.net/10630/4255> y puede consultarse también en www.encuentrosconlaciencia.es.

Índice

Prólogo	7
Introducción	9
Mundo RNA y origen de la vida. Carlos Briones Llorente	11
Una aproximación experimental a la evolución viral: desentrañando los papeles de la mutación, la selección y el azar. Santiago F. Elena	27
Simbiosis: aprendiendo a vivir juntos. Amparo Latorre Castillo	39
Bacterias Guerreras, Guardianas y Suicidas. Cayo Ramos Rodríguez	51
De la Biología Molecular a la Biomedicina. Margarita Salas	65
Fármacos Biológicos: ¿Una nueva medicina?. Beatriz Gil Torregrosa	75
La revolución biotecnológica: ¿amenaza u oportunidad para el desarrollo de la humanidad? Luis Ángel Fernández Herrero	87
Biología molecular y Bioinformática: dos ciencias destinadas a entenderse. Francisca Sánchez Jiménez	99
Genética forense: De la escena del crimen al laboratorio. José Antonio Lorente Acosta	115
Genómica Neandertal. Carles Lalueza-Fox	127
Expedición científica a la caldera de Lubá. Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). Ignacio Martín/Pablo Cobos	137
Insectos en ámbar: atrapados en el tiempo. Antonio Arillo Aranda	151
¿Qué dice la ciencia sobre la Sábana Santa? José-Manuel Fernández-Fígares	163
Sobre minerales, metales y gemas. El legado minero de la provincia de Málaga. Juan C. Romero Silva	179
Sonidos de la ciencia: consumo y contrapublicidad. Bartolo Luque Serrano	211
Ciencia a la cazuela. Carmen Cambón Cabezas, Marisol Martín de Frutos y Eduardo Rodríguez Martín	221
Determinismo y azar en el comportamiento humano. Marcos Ruiz Soler	241

ENCUENTROS CON LA
CIENCIA II
Del macrocosmos al microcosmos

Málaga, 2010

Bacterias Guerreras, Guardianas y Suicidas

Cayo Ramos Rodríguez. Profesor Titular de Genética. Universidad de Málaga

"Es perfectamente posible imaginar un universo más bien aburrido, sin sexo, sin hormonas y sin sistema nervioso, poblado únicamente por el resultado de la reproducción ad infinitum de células individuales. Este universo existe realmente: el formado por un cultivo de bacterias".

Francois Jacob, 1973.

Mientras que para la mayoría de los animales y plantas el sexo es una parte necesaria para la reproducción, en el mundo bacteriano, la fisión binaria o bipartición es la forma de reproducción. Es decir, la reproducción es asexual, cada célula bacteriana se divide en dos células hijas idénticas, que a su vez, se dividirán en otras cuatro, y así sucesivamente, aumentando en número de forma exponencial (*ad infinitum*) hasta agotar los nutrientes disponibles. Se podría decir, por tanto, que a diferencia de los seres humanos, las bacterias llevan a cabo un control de la natalidad dependiente de la disponibilidad de alimentos. Desde este punto de vista, la separación de la reproducción y el sexo resulta, sin duda, ventajosa para la supervivencia de la comunidad bacteriana. Hoy día sabemos que la vida bacteriana es de hecho mucho menos "aburrida" de lo que podría pensarse. Habiendo separado sexo y reproducción, la sexualidad bacteriana, entendida como el movimiento de material genético entre dos bacterias diferentes, es inmensamente rica, tanto por su frecuencia y variabilidad de espacios en los que se practica (acuáticos, terrestres, en el tracto digestivo de animales y en las raíces y las hojas de plantas), como por las múltiples formas que adopta y la versatilidad de sus individuos. Además, la captación de nuevos genes, fenómeno conocido como transferencia horizontal de información genética, también tiene lugar frecuentemente entre individuos de distintas especies e implican, en ocasiones, a otro tipo de entidades biológicas, como por ejemplo los virus. Para una revisión de este tema se recomienda la lectura del artículo "Tráfico de genes y sexo en bacterias", publicado en el primer libro de la colección "Encuentros con la Ciencia. Del macrocosmos al microcosmos" (2007). Como veremos a

continuación, algunas formas de sexo entre bacterias, como la transferencia horizontal de genes mediante un proceso denominado conjugación, requieren el establecimiento de sistemas de comunicación entre las bacterias donadoras del material genético (Figura 1).

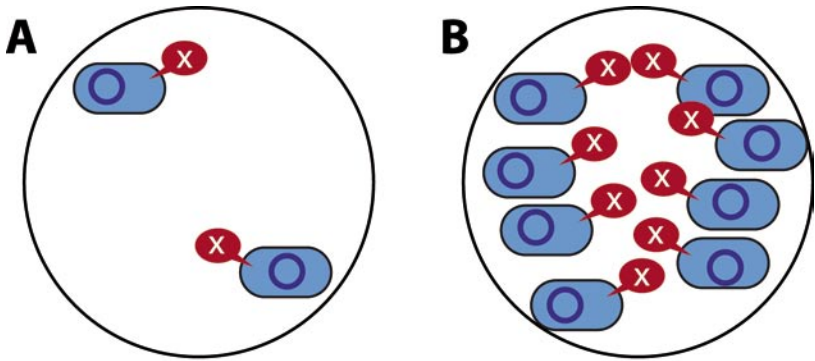
Hablando se entienden las bacterias. Comunicación Bacteriana

“Pienso que muchas bacterias juntas son más fuertes que unas cuantas y, por tanto, la unión hace la fuerza para superar obstáculos que, de otro modo, serían insuperables para unas pocas”.

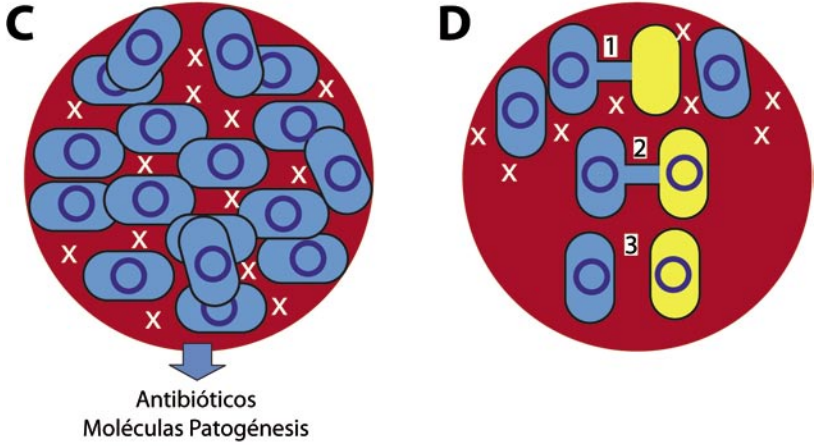
Erwin Frink Smith, 1905.

Aunque también es cierto que la vida en el mundo bacteriano carece de hormonas en sentido estricto (sustancias químicas que actúan dentro del organismo que las produce), las bacterias se comunican entre sí mediante la síntesis y secreción al medio de moléculas que facilitan la comunicación entre individuos. En este sentido, y por su capacidad de actuación sobre otros individuos de la misma o diferente especie, este tipo de moléculas se ha comparado con las feromonas, también llamadas hormonas sociales.

Resulta fácil imaginar situaciones en las cuales la comunicación dirigida a la cooperación entre células bacterianas, el reconocimiento entre iguales y la capacidad de identificar a otras bacterias u organismos diferentes resultaría ventajosa. Por ejemplo, la actuación conjunta durante la invasión de organismos superiores llevada a cabo por bacterias infecciosas de animales y plantas, aquí llamadas “bacterias guerreras”, o la producción simultánea de antibióticos que eviten la proliferación de otros organismos que compiten por el mismo espacio, llevada a cabo por bacterias a las que aquí se denominan “bacterias guardianas”. Este tipo de comunicación bacteriana, que tiene lugar cuando el número de células es suficientemente elevado, recibe el nombre de *quorum sensing*. En los contextos anteriormente mencionados, la actuación conjunta de “bacterias guerreras” dirigida a la invasión de un hospedador, o la puesta en marcha de los sistemas de protección de un nicho, se produce exclusivamente cuando existe quórum, es decir, cuando el número de bacterias es el suficiente para garantizar el éxito de la actuación, o minimizar el riesgo de fracaso.



Cada bacteria produce una pequeña cantidad de una molécula señal (X). **(A)** Cuando hay pocas bacterias (sin quórum) la concentración de X es baja. **(B)** Al aumentar el número de bacterias, la concentración de X también aumenta.



(C) Cuando el número de bacterias es muy elevado, la concentración de X rebasa un umbral, las bacterias perciben que han alcanzado quórum y actúan conjuntamente, produciendo antibióticos, moléculas implicadas en el ataque a un hospedador, etc. **(D)** Si en la cercanía de una bacteria que alcanzó quórum (color azul claro) se encuentra otra (color amarillo) capaz de recibir material genético (círculo azul oscuro), se establece un canal de unión entre ambas (1) a través del cual se transfiere el material genético (2). Posteriormente, las bacterias se separan (3). Este fenómeno de transferencia de genes se denomina **conjugación**.

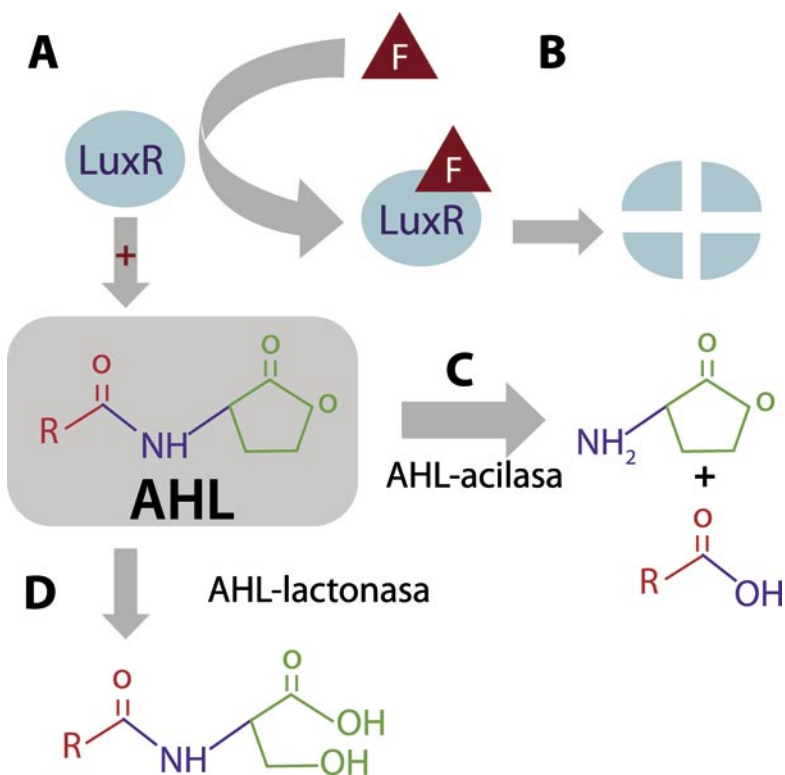
Figura 1. **Comunicación bacteriana dependiente de densidad celular (*quorum sensing*)**

La comunicación bacteriana dependiente de quórum funciona como se describe a continuación. Cada bacteria produce continuamente y expulsa al medio una pequeña cantidad de una molécula señal, de este modo, la concentración de estas moléculas en el medio donde la comunidad bacteriana se encuentra, dependerá del número de bacterias allí presentes. Cuando el número de bacterias aumenta, la cantidad de moléculas señal en el medio también aumenta y, tras alcanzarse un umbral de concentración, las bacterias perciben que han alcanzado quórum y, sólo entonces, inician la acción conjunta (Figura 1), por ejemplo, el ataque a un hospedador en el caso de bacterias infecciosas. En bacterias Gram-negativas, como la bacteria patógena *Salmonella*, las moléculas señal implicadas en *quorum sensing* son compuestos llamados Acil Homoserinas Lactonas (AHLs) (Figura 2). Por el contrario, las bacterias Gram-positivas, cuya envuelta celular es muy diferente a la de las anteriores, se comunican sintetizando pequeños péptidos de entre 5 y 34 aminoácidos. Resulta curioso el hecho de que algunas bacterias son multilingües, es decir, sintetizan más de un tipo de molécula señal, lo que facilita la comunicación con otras bacterias de la misma especie o entre especies diferentes.

Sin pretender describir exhaustivamente los distintos tipos de relaciones que las bacterias establecen con organismos superiores, a continuación se describen algunos ejemplos que ilustran cómo la aplicación en el laboratorio del conocimiento adquirido sobre la comunicación y sexualidad bacteriana, facilita la investigación básica sobre las interacciones planta-bacteria y la modificación de estas interacciones dirigida al control de enfermedades vegetales causadas por bacterias.

Interrupción de la comunicación a las bacterias guerreras

Tradicionalmente, las pérdidas de cosechas debidas a enfermedades vegetales, incluidas aquellas causadas por bacterias patógenas de plantas (bacterias fitopatógenas), se han intentado paliar utilizando productos químicos de origen sintético, de fácil aplicación y un coste relativamente bajo. La utilización masiva de estos compuestos, como por ejemplo los productos derivados del cobre (en el control de bacterias fitopatógenas), ha originado la aparición de bacterias resistentes a estos compuestos y, en consecuencia, se ha producido un descenso de su eficacia. De otro lado,



Las acil homoserinas lactonas (**AHL**) están compuestas por una cadena acilo (**rojo**) de 4 a 14 átomos de carbono (**R** simboliza el número variable de carbonos) unidas por un enlace amida (**azul**) a una homoserina lactona (**verde**). **A**) En algunas bacterias Gram-negativas, la síntesis de AHLs requiere de la proteína reguladora LuxR. **B**) Las furanonas (F) sintetizadas por el alga *Delisea pulchra* interaccionan con LuxR y, tras la unión, LuxR es degradado rápidamente, inhibiéndose la síntesis de AHLs y, por tanto, impidiendo la comunicación bacteriana. **C**) y **D**) Las AHL-acylasas y AHL-lactonasas sintetizadas por algunos microorganismos actúan sobre la molécula de AHL, rompiendo el anillo lactónico de la homoserina lactona o eliminando el grupo acilo, respectivamente. En consecuencia, la comunicación bacteriana también queda interrumpida.

Figura 2. **Interrupción de la comunicación bacteriana dependiente de densidad celular (quorum sensing).** Se esquematizan varios modos de eliminación de las AHLs, moléculas responsables de la comunicación en algunas bacterias.

algunos de los agentes químicos utilizados en la desinfección de cultivos, suelos e invernaderos son tóxicos, es decir, tienen efectos negativos para la salud y el medio ambiente. Debido a ello, la utilización de algunos de estos productos se ha prohibido recientemente en muchos países o se encuentra en proceso de reducción hasta su total prohibición, como es el caso del fumigante bromuro de metilo, utilizado comúnmente para el control de hongos, nematodos e insectos del suelo.

La creciente sensibilización por el medio ambiente que vivimos hoy en día, está empujando al sector agrícola al diseño de nuevos métodos de control de enfermedades y plagas respetuosos con la salud y el medio ambiente. En este sentido, la utilización de agentes de control biológico (ver más adelante el apartado relacionado con bacterias guardianas) y de compuestos que interfieren con la comunicación bacteriana, conocidos como *quorum quenchers* (inhibidores de la comunicación mediada por *quorum sensing*), ganan cada vez más terreno en el ámbito europeo y mundial como alternativa para el control de enfermedades vegetales causadas por bacterias. Como se mencionó anteriormente, la invasión de un hospedador por una bacteria patógena es dependiente del número de bacterias, y la percepción de la existencia de quórum requiere comunicación entre ellas (producción de AHLs en el caso de bacterias Gram-negativas). En otras palabras, los *quorum quenchers* "enmudecen" a las bacterias patógenas que se comunican mediante AHLs, impidiendo de este modo el ataque a su hospedador. Hasta la fecha, se han identificado varias sustancias químicas y enzimas capaces de interrumpir la comunicación bacteriana y que, por tanto, reducen la virulencia de las bacterias patógenas. Entre las moléculas identificadas destacan las furanonas halogenadas, producidas por el alga *Delisea pulchra*, cuyo modo de acción se describe en detalle en la Figura 2.

Otro compuesto cuyo papel en la inhibición de la comunicación bacteriana se ha demostrado es la L-canavanina, un aminoácido que se acumula en las semillas de ciertas plantas leguminosas, como por ejemplo la alfalfa. Se ha demostrado que el tratamiento de una bacteria beneficiosa para las plantas con este compuesto, tiene como consecuencia que la bacteria no coopere con la planta y prefiera llevar una vida libre. Podría pensarse, por tanto, que la L-canavanina, podría también tener un papel barrera frente al ataque de bacterias patógenas, impidiéndoles la comunicación. Además de este aminoácido, en la actualidad se conocen más de

20 compuestos de origen vegetal capaces de interferir la comunicación bacteriana. El estudio del modo de acción de los mismos sobre bacterias patógenas, constituye actualmente una línea de investigación prioritaria para el desarrollo de nuevos métodos de control de enfermedades animales y vegetales de origen bacteriano.

Ciertas bacterias son capaces de impedir la comunicación de otra bacteria que utilice un lenguaje diferente al suyo, evitando así la ocupación de un nicho por una bacteria competidora. Por ejemplo, algunas bacterias Gram-positivas, como *Bacillus*, utilizan el lenguaje de los péptidos y, además, sintetizan enzimas que eliminan AHLs, lenguaje utilizado por bacterias Gram-negativas. Estas enzimas se han utilizado para enmudecer a dos bacterias Gram-negativas patógenas de plantas, causantes de podredumbres y marchiteces en una amplia gama de plantas huésped: *Erwinia carotovora* y *Ralstonia*. Sordomudas, *Erwinia* y *Ralstonia* no perciben el quórum y no atacan a las plantas. El modo de acción de estas enzimas se muestra en la Figura 2.

Bacterias guardianas de la salud vegetal

Se denomina control biológico o biocontrol al uso de un organismo vivo para regular el tamaño de la población de un organismo patógeno. En general, el control biológico de enfermedades vegetales causadas por bacterias u hongos patógenos se lleva a cabo introduciendo en la zona donde se cultiva la planta a proteger un "enemigo natural" del patógeno. Los organismos controladores más comúnmente utilizados son hongos o bacterias (bacterias guardianas) cuyo hábitat natural coincide con el del organismo patógeno y además, son capaces de eliminarlo o reducir su población. Entre los microorganismos más importantes utilizados actualmente como agentes de biocontrol se encuentran aislados bacterianos pertenecientes a los géneros *Agrobacterium*, *Pseudomonas* y *Bacillus*, así como los hongos *Trichoderma* y *Gliocladium*.

A diferencia del control biológico de insectos plaga, el control biológico de enfermedades de plantas es relativamente nuevo. El primer ejemplo práctico de lucha preventiva de una enfermedad vegetal se basó en la utilización de una bacteria guardiana, *Agrobacterium* sp. K84, para controlar

a otra bacteria patógena de su misma especie causante de tumores en el cuello y raíces de plantas, *Agrobacterium tumefaciens*. La bacteria K84, registrada como producto comercial en los Estados Unidos en 1979, sintetiza una toxina, llamada agrocina 84, que no afecta al organismo productor, pero inhibe el crecimiento de la bacteria patógena. A pesar de que el número de patentes relacionadas con el control biológico de enfermedades y plagas vegetales ha aumentado considerablemente durante los últimos años, los organismos registrados en la Unión Europea (UE) son escasos. En el año 2002, tan sólo nueve agentes de biocontrol habían solicitado su registro, hoy día, se ha aceptado la comercialización de unos 27 microorganismos. Por el contrario, en Estados Unidos, donde el proceso de registro suele tardar cinco años menos que en la Unión Europea, se han registrado hasta la fecha unos 20 hongos, más de 60 bacterias y tres virus capaces de controlar diferentes enfermedades y plagas vegetales.

El control biológico de patógenos se basa en la utilización de las estrategias antagonistas desarrolladas por los microorganismos para la defensa de su hábitat frente a otros microorganismos competidores. En este sentido, la protección de cultivos con agentes de control biológico tiene en cuenta los mecanismos microbiológicos que tienen lugar en raíces, hojas y tallos de las plantas a proteger. Además, la capacidad de llevar a cabo varias estrategias de ataque al patógeno es una característica importante para la selección de agentes de control biológico. La existencia de varios mecanismos antagonistas en un agente de biocontrol reduce además los riesgos de aparición de resistencias en el patógeno, garantizando un mayor éxito en su utilización como agentes de biocontrol. En la Tabla 1 se incluyen las estrategias más relevantes desarrolladas por bacterias guardianas que se han utilizado para el control de patógenos de plantas.

La producción de antibióticos, enzimas líticas y subproductos del metabolismo como el CO_2 , el amonio y el ácido cianhídrico, son las estrategias directas bacterianas que se han utilizado más frecuentemente en control biológico. La producción y liberación al medio de estos metabolitos o enzimas por el agente de biocontrol, que en la mayoría de los casos es dependiente de la existencia de quórum, tiene como consecuencia la inhibición del crecimiento o del metabolismo del patógeno, impidiéndose así el ataque a la planta hospedadora. La producción de agrocina 84 por *Agrobacterium* K84, anteriormente mencionada, es un claro ejemplo de esta estrategia.

Estrategia	Mecanismo	Algunos ejemplos
DIRECTA	Producción de antibióticos : afectan la supervivencia del patógeno.	Agrocina 84 Fenacinas Bacilomicina
	Producción de enzimas líticas : alteran la pared celular del patógeno.	Quitinasas Glucanasas Proteasas
	Producción de subproductos : afectan la viabilidad del patógeno.	Amonio Anhídrido carbónico Ácido cianhídrido
	Interferencias físico-químicas afectan la diseminación del patógeno.	Bloqueo de la porosidad del suelo Interferencia con <i>quorum sensing</i>
INDIRECTA	Competencia por nutrientes o espacio.	Consumo de exudados radiculares o hierro Ocupación de nicho
	Inducción de resistencia sistémica en plantas .	Contacto directo con planta Mediada por fitohormonas

Mecanismos de antagonismo implicados en control biológico de enfermedades vegetales. Adaptado de Pal y Gardener (2006).

Durante los últimos años, la selección de agentes bacterianos para el control biológico de plantas, se está centrando mayoritariamente en la utilización de mecanismos antagonistas indirectos, como son la competencia por nicho y nutrientes, así como la inducción de resistencia sistémica inducida en la planta a proteger. Estas estrategias, tienen la ventaja sobre las anteriores que no se basan en la producción de metabolitos o enzimas que, además de afectar al patógeno, podrían acumularse en el medio ambiente afectando también a la supervivencia de otros organismos naturales. La competencia por nutrientes puede definirse como la utilización desigual

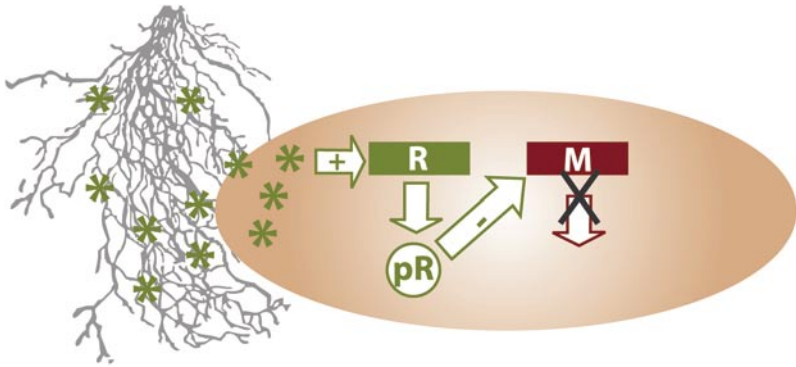
de un mismo requerimiento esencial para la vida por dos organismos (la bacteria guardiana y el patógeno), reduciéndose la cantidad disponible para aquél que lo utiliza más lentamente. Un claro ejemplo de competencia por un elemento es el ión hierro, implicado en rutas esenciales del crecimiento microbiano. Además de la competencia por nutrientes, es conocida la competencia que por el espacio puede darse entre un agente de biocontrol y un patógeno, siendo las raíces de las plantas los nichos vegetales mejor estudiados en este sentido. El establecimiento rápido de un agente de biocontrol en la raíz, así como el aprovechamiento de los nutrientes liberados en los exudados de la misma, ha demostrado su eficiencia en el control de la entrada de patógenos.

Bacterias suicidas "a la carta"

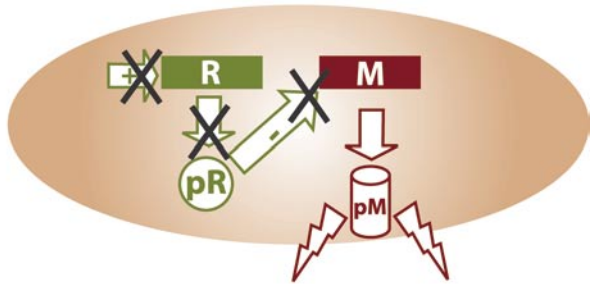
Durante los años 80 del pasado siglo XX, laboratorios de todo el mundo disponían de una amplia colección de microorganismos, mayoritariamente bacterias, mejorados genéticamente en sus capacidades para controlar enfermedades vegetales, aportar nutrientes a las plantas o degradar compuestos recalcitrantes de origen sintético acumulados en aguas y suelos contaminados. A pesar de los beneficios que la utilización con fines agrícolas de estos microorganismos modificados podía suponer, el comportamiento impredecible de los mismos en el medio ambiente generó serias preocupaciones en la comunidad científica, la opinión pública y en los entes reguladores de la política científica. Mientras que la supervivencia y multiplicación de los microorganismos puede controlarse fácilmente en el laboratorio, mediante la adición de compuestos antimicrobianos o la utilización de técnicas de esterilización, la eliminación de un microorganismo concreto en el medio ambiente requería del diseño de nuevos métodos que no afectaran colateralmente la supervivencia de los microorganismos naturales de la zona a tratar. Como solución a este problema, durante los 10 años siguientes se produjo un incremento sustancial del número de estudios científicos dirigidos a la evaluación del posible riesgo de la liberación de microorganismos transgénicos al medio ambiente. Además, se plantea el diseño de los llamados "sistemas de contención biológica", cuya filosofía subyacente es la construcción de microorganismos que, tras cumplir su función en el medio ambiente, induzcan su propia muerte. Es decir, construir bacterias suicidas "a la carta". Aunque el inte-

rés por la contención biológica de microorganismos *per se* ha disminuido notablemente durante el siglo XXI, y en la actualidad resulta más frecuente la liberación de microorganismos naturales aislados de las zonas a tratar y seleccionados por presentar ciertas características deseadas, la contención biológica sigue teniendo interés tanto básico como aplicado. A continuación, se expone un ejemplo de este tipo de estrategias dentro del contexto de las interacciones establecidas entre plantas y bacterias: el diseño de bacterias que sobrevivan en las raíces de plantas, protegiéndolas de una enfermedad vegetal, y se suiciden si “se escapan” de las raíces donde se han liberado.

La construcción de una bacteria suicida “a la carta” requiere de dos elementos genéticos diferentes, un elemento matador y un elemento regulador. Para la construcción del elemento matador, tradicionalmente se han utilizado genes víricos o bacterianos que inducen la lisis de células bacterianas y, por tanto, su muerte. Los genes “matadores” utilizados más frecuentemente han sido el gen E de un bacteriófago (virus que infecta a bacterias) y los genes bacterianos pertenecientes a la familia *hok* (del inglés, *host killing*), cuyos productos génicos se insertan en la membrana plasmática bacteriana provocando la muerte celular. Para la construcción del elemento regulador, se requeriría un gen de la bacteria problema cuya expresión se produzca en la raíz de una planta y no en el suelo desnudo, como por ejemplo, un gen bacteriano cuya expresión sea inducible por compuestos presentes en el exudado radicular. En la actualidad, se conocen más de un centenar de este tipo de genes, presentes en los genomas de diversos agentes de control biológico. Utilizando técnicas de ingeniería genética, se construirían los dos elementos genéticos en el laboratorio, posteriormente, ambos elementos se introducen en una bacteria con habilidades naturales para controlar el ataque de un patógeno, por ejemplo una cepa de *Pseudomonas* productora de un antibiótico. La introducción de los elementos en el genoma de la bacteria problema se llevaría a cabo reproduciendo en el laboratorio las condiciones en las cuales las bacterias practican sexo, es decir, intercambian material genético mediante conjugación (Figura 1) o transformación natural. El acoplamiento de ambos elementos dentro de la bacteria, se llevaría a cabo utilizando los llamados genes reguladores, responsables de reprimir o inducir la expresión de otros genes. En la Figura 3 se muestra el funcionamiento teórico de este sistema. Si la bacteria suicida “se escapase” de la raíz hacia una zona del



En la cercanía de la raíz de una planta, los exudados radiculares (*) inducen (+) la expresión del gen regulador (R), sintetizándose la proteína reguladora (pR). La pR reprime (-) al gen matador (M), no sintetizándose la proteína matadora, en consecuencia, **la bacteria vive en la raíz.**



Si la bacteria se aleja de la raíz, la inducción de la expresión del gen regulador (R) por los exudados radiculares no se produce. La ausencia de proteína represora (pR) tiene como consecuencia la expresión del gen (M) matador, cuya expresión da lugar a la proteína matadora (pM) y, por tanto, **la bacteria muere.**

Figura 3. **Bacterias suicidas dependientes de las raíces de las plantas.**

suelo carente de exudados vegetales, el gen regulador no se expresaría y, por tanto, la bacteria sintetizaría el gen matador. Dado que es la propia bacteria la que ha sintetizado el producto que la lleva a su muerte, puede decirse que la bacteria se ha suicidado.

Por los motivos anteriormente expuestos, la construcción de las bacterias suicidas descritas en la Figura 3 no se ha llevado a cabo en ningún laboratorio, aunque su diseño se basa en un caso similar, cuyo objetivo fue la

construcción de bacterias capaces de degradar un contaminante orgánico y se suicidasen tras eliminar el contaminante. La funcionalidad de este sistema suicida, construido en la Estación Experimental del Zaidín, centro de Granada perteneciente al CSIC, se demostró en primer lugar tanto en condiciones controladas de laboratorio, como en sistemas edáficos y acuáticos. A continuación, y tras solicitar los permisos pertinentes, se comprobó también la funcionalidad del sistema tras la liberación controlada del organismo en una parcela experimental. A pesar del éxito de la estrategia descrita, la explotación comercial de este organismo suicida no se ha producido hasta la fecha.

Epílogo

El entendimiento de la vida social bacteriana se ha revolucionado durante los últimos 20 años. Anteriormente, se suponía que las bacterias y otros microorganismos unicelulares llevaban una vida individual, ajena a los comportamientos de cooperación que tanto interés han despertado en el estudio de mamíferos, aves e insectos. Sin embargo, investigaciones recientes han descartado por completo esta idea. Utilizando un tipo de comunicación molecular, las bacterias disfrutaban de una gran variedad de comportamientos sociales, entre los que se incluyen la sincronización de actividades, como por ejemplo el movimiento, el establecimiento de relaciones sexuales y la capacidad de cooperar. Desde este punto de vista, podría decirse que las bacterias conocen, en mayor medida que los humanos, el significado profundo de los aforismos "hablando se entiende la gente" y "sobran las palabras".

PARA SABER MÁS

Beuzón, C.R. (2007). Tráfico de genes y sexo en bacterias. En: *Encuentros con la ciencia. Del macrocosmos al microcosmos*. Editor. Eduardo Gutiérrez Marí, S.R.L.U. Málaga. 302 pp.

Pal, K.K. y Gardener, B.M. (2006). Biological control of plant pathogens. En: *The Plant Health Instructor*, pp. 1-25. APSnet, Doi:10.1094/PHI-A-2006-1117-02.

Ramos, J.L., Andersson, P., Jensen, L.B. et al. (1995). *Suicide microbes on the loose*. *Bio/Technology* 13: 35-37.

Williams, P. Winzer, K., Chan, W.C. et al. (2007). Look who's talking: communication and quorum sensing in the bacterial world. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 362: 1119–1134.

Zhang, L-H. (2003). Quorum quenching and proactive host defense. *Trends in Plant Science* 8 (5): 238-244.

ACERCAR la ciencia al ciudadano... éste es el objetivo principal de *Encuentros con la Ciencia*, un espacio para la presentación y diálogo sobre los más recientes y señalados descubrimientos científicos. Desde el año 2004 venimos organizando las actividades de *Encuentros con la Ciencia* con el objetivo principal de fomentar la cultura científica y presentar, de manos de sus protagonistas, los avances científicos actuales. La labor investigadora de los propios científicos españoles no es suficientemente conocida por el público. En nuestra opinión, resulta evidente la necesidad de dar a conocer la ciencia actual a los ciudadanos y, al mismo tiempo fomentar su interacción con los científicos. *Encuentros con la Ciencia* pretende cumplir tres objetivos específicos: **hacer accesible la ciencia** que se está desarrollando actualmente en los centros de investigación españoles, **sensibilizar al ciudadano** acerca de la importancia de la Ciencia en el día a día, e **implicar a la propia comunidad científica** en esa difusión del conocimiento.



* AMBITO cultural