

Los MICROORGANISMOS: pequeños gigantes

Noé Manuel **Montaño Arias**

Ana Lidia **Sandoval Pérez**

Sara Lucía **Camargo Ricalde**

Juan Manuel **Sánchez Yáñez**

Hace trescientos años Antonie van Leeuwenhoek observó por primera vez en un microscopio primitivo unos “pequeños animáculos” que ahora se conocen como microorganismos. Los microorganismos son los seres más primitivos y numerosos que existen en la Tierra, colonizan todo ambiente: suelo, agua y aire, participan de forma vital en todos los ecosistemas y están en interacción continua con las plantas, los animales y el hombre. Los microorganismos son clave para el funcionamiento de los sistemas biológicos y el mantenimiento de la vida sobre el planeta, pues participan en procesos metabólicos, ecológicos y biotecnológicos de los cuales dependemos para sobrevivir y enfrentar los retos del futuro. Estos retos son gigantescos para la continuidad de la vida, en particular, para satisfacer la demanda de alimentos y medicamentos y resolver problemas ecológicos y de contaminación ambiental. En otras palabras, parte de la actividad biológica esencial que permite la vida depende de los microorganismos. Este artículo 1) describe la importancia de los microorganismos mediante ejemplos que explican su utilidad ecológica y biotecnológica en su interacción con los humanos, y 2) analiza la situación actual de la investigación microbiana en México y hace una propuesta para fortalecerla y mejorarla.



© Valeria Schwarz, de la serie *Urribelarrea*, 2005.

LA DIVERSIDAD MICROBIANA

Los microorganismos se agrupan en dos categorías: procaríóticos y eucarióticos. En la primera están las archaeas y las bacterias, mientras que en la segunda se encuentran hongos, algas y protozoarios. No obstante, de manera convencional los virus, viroides y priones son también considerados microorganismos.^{1,2} En principio, la diversidad microbiana puede apreciarse en términos de la variedad estructural y funcional de los microorganismos, tal como sus variaciones en el tamaño celular, en la morfología, en la división celular, o bien en la capacidad metabólica y de adaptación. No obstante, en la actualidad el estudio del material genético (ADN y ARN) revela la existencia de miles de millones de especies microbianas, sugiriendo que habitamos un mundo plagado de microorganismos que incluso habitan el planeta desde mucho antes que cualquier otro ser vivo. Aun cuando se estima que sólo se conoce el 3% de los microorganismos y que

pocos se han estudiado con profundidad, resulta sorprendente su diversidad en relación con la variedad de plantas y animales.² Asimismo, se reconoce que los microorganismos son más diversos y versátiles que los macroorganismos debido a su historia evolutiva y a su rápida capacidad para adaptarse a los cambios ambientales. Por ejemplo, hace poco más de 3,300 millones de años las bacterias fueron las primeras formas de vida en colonizar la Tierra, ya que tienen capacidad para usar distintas fuentes de energía. Desde entonces y hasta la actualidad las bacterias y otros microorganismos pueden crecer en los ambientes más diversos. Su capacidad y eficiencia metabólica permitieron que ellos colonizaran la superficie terrestre, el aire, los lagos salados y prácticamente todas las regiones geográficas del planeta.^{3,4} Los encontramos desde los polos en ambientes debajo del punto de congelación, hasta ambientes secos como los desiertos, o los muy húmedos como las selvas lluviosas. Otro de sus éxitos evolutivos es que pueden vivir solos o en asociación con otros seres vivos. En las plantas viven hongos y bacterias sin causarles daño, tal como los hongos micorrízicos en las raíces del 97% de las plantas, o la bacteria *Rhizobium*, un simbionte de las leguminosas como el frijol y el chícharo. En seres humanos también existen bacterias en elevada densidad, como es el caso de *Escherichia coli* en el colon del intestino humano. De esta forma, la diversidad microbiana en un sentido amplio se define como la variedad de microorganismos y de sus diversos mecanismos de adaptación.⁵

En general, de los microorganismos se han descrito 30,800 especies de protozoarios, 70,000 de hongos y 45,000 de bacterias; aunque se pronostican hasta 2 millones de especies de hongos y de tres a diez millones de especies bacterianas. De ellos los más estudiados son los relacionados con el bienestar humano.^{1,3,5} No obstante, en los ecosistemas, hábitats como el suelo tienen una amplia diversidad de protozoarios, cianobacterias, bacterias y hongos. Se estima que en el suelo existen miles de especies en poblaciones de 100 a 2,000 millones de individuos por gramo de suelo, con hasta 35,000 especies de bacterias y 1,500,000 de hongos, aunque sólo se han identificado entre un 8% y un 1%, respectivamente.⁴ Esto sugiere que otros hábitats dentro de cada ecosistema del planeta podrían contener una elevada diversidad microbiana aún no descubierta.

IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS

Los microorganismos participan en procesos ecológicos que permiten el funcionamiento de los ecosistemas, y biotecnológicos que son esenciales para la industria farmacéutica, alimenticia y médica. Ellos son los principales responsables de la descomposición de la materia orgánica y del ciclaje de los nutrientes (carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, etc.). Así, en la fijación y ciclaje del nitrógeno están implicadas bacterias simbióticas como *Rhizobium* y *Frankia*, y bacterias de vida libre como *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Thiobacillus*, incluidas las cianobacterias: *Anabaena* y *Nostoc*. Otros ejemplos son la bacteria *Rhizobium etli* la cual aporta nitrógeno a las plantas de frijol, las micorrizas que ayudan a las plantas a capturar los nutrientes del suelo y *Burkholderia* que promueve el crecimiento vegetal de los cultivos.^{4,6} En la industria biotecnológica, de los microorganismos se han obtenido y producido antibióticos de enorme importancia médica como la penicilina, sintetizada por los hongos *Penicillium notatum* y *P. chrysogenum*, la cefalosporina por el género fúngico *Cephalosporium*. Mientras que otras bacterias son indispensables para la industria alimentaria, como ocurre con el género *Lactobacillus* usado en la producción de vitamina B12 en el yogur. En el rubro industrial, las levaduras son también microorganismos ampliamente utilizados. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* se emplea para elaborar vino, tequila y cerveza.^{4,5} Además, otras numerosas especies de los géneros *Candida*, *Kloeckera*, *Picha* y *Bacillus*, participan en la fermentación de bebidas de origen indígena como aguamiel, pulque, tepache, colonche, tesgüino (cerveza de maíz) y de alimentos como el pozol;^{7,8} lo que muestra el potencial etnobiológico de los microorganismos en la cultura alimentaria tradicional de México.

A pesar de su importancia y de los servicios ambientales que ofrecen (Cuadro 1),⁹ los microorganismos son los menos conocidos, particularmente en los países megadiversos, como ocurre en México,¹⁷ donde la investigación microbiológica es aún incipiente comparada con la que realizan países con menor diversidad biológica como Estados Unidos, Japón, Corea, Alemania, Dinamarca y Suiza. En estos países el uso de la diversidad microbiana es fuente de nuevos productos y de altas ganancias provenientes de la industria farmacéutica y

Cuadro 1. Diez principales servicios ecosistémicos que proveen los microorganismos

1. Descomposición y mineralización de desechos orgánicos (materia orgánica).
2. Regulación de los ciclos biogeoquímicos (nitrógeno, fósforo, azufre, etc.).
3. Retención y liberación de nutrientes para las plantas.
4. Generación, mantenimiento y renovación del suelo y su fertilidad.
5. Regulación atmosférica de gases traza (producción y consumo: CO_2 , N_2O , N_2 , etc.).
6. Regulación de las poblaciones de animales y plantas.
7. Control de plagas agrícolas y urbanas.
8. Síntesis de productos farmacéuticos, alimenticios, industriales y de control biológico.
9. Mantenimiento de la productividad primaria de agroecosistemas y ecosistemas.
10. Recuperación de suelo y vegetación de ecosistemas degradados.

de otros procesos industriales.¹⁰ La pregunta en ese sentido es ¿qué podrían hacer países como México si conocieran más sobre los microorganismos y se fortaleciera la investigación microbiológica? A continuación se describen ejemplos que revelan la utilidad de algunos organismos y fundamentan la importancia de invertir en la investigación microbiana.

LOS MICROORGANISMOS EN LOS AVANCES CIENTÍFICOS

Las bacterias han sido esenciales en la investigación. Su utilidad se remonta a los trabajos del bacteriólogo inglés F. Griffith (1928), quien a partir de las bacterias que causan la neumonía (*Pneumococcus*) aportó la primera evidencia para demostrar que el ácido desoxiribonucleico (ADN) era la sustancia portadora de la herencia y de los rasgos estructurales y funcionales de un individuo. Griffith descubrió que la capacidad de estas bacterias para causar la neumonía depende de la presencia de una cápsula que rodea a la célula bacteriana (cápside).¹¹ Este trabajo documentó que las bacterias muertas con cápside o las vivas sin cápside, eran inofensivas. No obstante, los animales infectados con una mezcla de estos dos grupos de bacterias contraían la neumonía. La explicación fue



© Valeria Schwarz, de la serie *Urribelarrea*, 2005.



© Valeria Schwarz, de la serie *Urribelarrea*, 2005.

que algo de las bacterias muertas con cápside transformó a las sin cápside en virulentas. Este fenómeno, hoy conocido como transformación genética bacteriana (introducción de ADN extraño a una célula), fue esencial para identificar al ADN como el responsable de que la virulencia de las bacterias muertas fuera transferida a las no virulentas vivas y de que esta se heredara de una generación a otra. Esto revela la utilidad de los microorganismos en diversos hallazgos que marcaron importantes avances científicos. Así, el trabajo de Griffith fue crucial para el posterior descubrimiento del ADN y de su estructura, y estableció la base para el surgimiento de la genética molecular que posteriormente permitió eventos como el desciframiento del genoma humano o la obtención de plantas transgénicas con el uso de *Agrobacterium tumefaciens*, una bacteria que se encuentra en casi todos los suelos del mundo.

LAS MICORRIZAS

Algunos microorganismos establecen una simbiosis mutualista con otros organismos, mediante la cual el microorganismo ofrece un beneficio a su huésped a cambio de recibir otro. Los hongos micorrílicos establecen este tipo de simbiosis con las raíces de las plantas formando lo que se conoce como micorriza. En esta simbiosis, la planta suministra al hongo fuentes de carbono procedentes de la fotosíntesis (proceso que el hongo no

puede realizar), mientras el hongo le facilita la obtención de agua y nutrientes como fósforo y nitrógeno, recursos del suelo que en condiciones extremas la planta difícilmente obtendría sin la ayuda del hongo. La simbiosis micorrílica está ampliamente distribuida en la naturaleza y se reconoce que la de tipo arbuscular se presenta en el 97% de las plantas terrestres, caracterizándose por el hecho de que el hongo que coloniza a la raíz forma un diminuto arbollo en las células radicales, estructura llamada arbúsculo y sitio de intercambio de recursos entre la planta y el hongo. La micorriza arbuscular es la más antigua que se conoce, se originó probablemente hace 460 millones de años y se considera que fue fundamental para que las plantas pudieran colonizar la superficie terrestre; desde entonces, este tipo de micorriza y las plantas evolucionaron conjuntamente.¹²

Ante los problemas ambientales y ecológicos, la micorriza ofrece múltiples beneficios a las plantas y al suelo. Las micorrizas arbusculares, por su efecto sobre las plantas de interés agrícola o forestal, son útiles en la agricultura y en programas de reforestación de bosques y selvas. Al respecto, está documentado que las plantas micorrizadas resisten condiciones ambientales adversas: falta de agua, nutrientes esenciales y ataque de microorganismos fitopatógenos. Asimismo, la micorriza arbuscular estimula en las plantas hospederas un mayor tamaño, masa, producción de semillas, resistencia a plagas y sequía, y les permite garantizar su establecimiento y éxito en sitios perturbados. En el suelo, la

micorriza extiende su micelio (conjunto de hifas) y ayuda a la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a una proteína llamada glomalina, contribuyendo con esto a dar estructura y estabilidad al suelo, lo cual reduce la erosión y mejora la capacidad de retención de agua del suelo.¹² En consecuencia, las micorrizas son potencialmente útiles para enfrentar problemas ambientales como la pérdida de la vegetación natural y el aumento de la erosión del suelo. A pesar de que se reconocen los beneficios de las micorrizas, en México la investigación es aún escasa. Ello se refleja en que sólo se conocen 81 especies en relación a las 183 reportadas en el mundo, y en que el 95% de la investigación se ha realizado en sistemas agrícolas, mientras que poco se conoce para las selvas y bosques. Esto sugiere que, dada la utilidad de los hongos formadores de la micorriza en la agricultura, la reforestación y la restauración de ambientes deteriorados, la investigación sobre su diversidad y funcionalidad debe ser apoyada y documentada más ampliamente en México.

EL ÁNTRAX: PROTAGONISTA Y VILLANO

El ántrax (o carbunco, debido al ennegrecimiento de la sangre de los enfermos), fue el villano en los acontecimientos terroristas que siguieron al 11 de septiembre del 2001. Sin embargo, paradójicamente *Bacillus anthracis*, bacteria causal del ántrax, fue en los dos últimos siglos un protagonista del surgimiento de la microbiología y de la medicina. *B. anthracis* existe de forma natural en varias regiones del mundo. En humanos, el ántrax se presenta en forma cutánea, gastrointestinal o pulmonar. La primera ocurre cuando la bacteria (sus esporas) infecta una herida o los ojos de su víctima. La segunda, se adquiere por el consumo de alimentos contaminados con esporas de *B. anthracis* y se caracteriza por una inflamación intestinal severa, náuseas, vómito sanguinolento, diarrea y es, en más del 50% de los casos, mortal. La última forma es un ántrax pulmonar que se adquiere por inhalación de esporas de la bacteria; los síntomas son similares a una gripe severa: tos, dolor de cabeza y muscular, hasta causar la muerte en el 95% de los casos. En sus tres formas, el ántrax es una enfermedad agresiva que si es tratada con antibióticos se controla; sin embargo, por su difícil diagnóstico, el tratamiento suele no ser oportuno en

la mayoría de los casos.¹³ Hasta la segunda mitad del siglo XIX no se conocía la causa del ántrax ni el tratamiento de animales enfermos. Robert Koch y Luis Pasteur encontraron la solución al sospechar ambos que las enfermedades eran causadas por microorganismos. Koch, al examinar la sangre de un animal afectado por ántrax, fue el primero en reconocer que el ántrax era causado por *B. anthracis*, la primera bacteria con la que se demostró la relación causal microorganismo-enfermedad. El descubrimiento de Koch sugirió que las enfermedades humanas tenían un origen microbiano y abrió perspectivas para el tratamiento del ántrax. Por su parte Pasteur, al sospechar que los microorganismos estaban relacionados con las enfermedades, investigó la forma de eliminarlos para prevenirlas. Pasteur eligió como modelo a *B. anthracis* y fue el primero en descubrir la manera de evitar la acción patógena de una bacteria.^{11,13} Así, el ántrax fue clave para entender la relación bacteria-enfermedad.

UN MICROORGANISMO INSECTICIDA: *BACILLUS THURINGIENSIS*

Las plagas urbanas y rurales son una amenaza constante para la salud, la agricultura, la producción de alimentos y la calidad de vida humana. Hasta hace poco, la única forma eficaz de controlar a las plagas de insectos era la aplicación de insecticidas químicos que generaban crónicos problemas ambientales y de salud, provocando además que los insectos se volvieran resistentes a estos plaguicidas. Una alternativa opuesta al uso de plaguicidas es el control biológico, que implica el uso de un organismo natural y/o sus productos para combatir a los insectos plaga. Existen 1,500 especies de microorganismos usados para el control biológico, entre ellas, la bacteria *Bacillus thuringiensis* (*Bth*) es la más utilizada para controlar plagas como el mosquito vector del paludismo o del dengue y las larvas que atacan cultivos agrícolas y plantaciones forestales.

Bth produce esporas al final de su ciclo de vida. La espora es una forma de vida que puede permanecer en el ambiente en ausencia de nutrientes y humedad. *Bth* se aísla del suelo, agua, hojas de plantas, insectos muertos y se caracteriza por la síntesis de un cuerpo paraesporal o cristal de proteína, llamado delta-endotoxina. El cristal

se forma durante la esporulación y tiene actividad tóxica para las larvas de insectos plaga. Según la variedad de *Bth* la delta-toxina es activa contra insectos de los órdenes *Lepidoptera* (polillas o palomillas), *Coleoptera* (escarabajos), *Diptera* (mosquitos), *Hymenoptera* (hormigas) e incluso contra otros invertebrados como los gusanos planos. Se ha estimado que el 2% del mercado mundial de pesticidas es satisfecho con bioinsecticidas y en éste *Bth* domina el 95% de las ventas. El éxito de su uso es la alta especificidad hacia el insecto blanco y su inocuidad para mamíferos y otros vertebrados y plantas e inclusive para insectos benéficos. Cuando el cristal se ingiere por un insecto susceptible en fase larvaria y alcanza su intestino medio, el cristal de proteína se disuelve por la acción de los jugos intestinales y la delta-endotoxina sufre una ruptura enzimática que da origen a la toxina activa, la cual se une a la membrana epitelial de las células intestinales de la larva. En el intestino de la larva la delta-endotoxina perfora las membranas, desequilibra el balance osmótico y provoca la deshidratación y muerte de las células del aparato digestivo de la larva del insecto, por lo que la larva infec- tada deja de comer, se deshidrata y muere.¹⁴

En México se realiza investigación dirigida a explorar las variedades de *Bth* para la producción de bioinsecticida, el cual ya se comercializa por empresas como Dipel y Abbot. México es un país atractivo para estudiar nuevos aislados de *Bth* con potencial para el control de insectos plaga, ya que tiene amplia variedad de nichos ecológicos y especies de insectos; por ejemplo, se sabe que 1,948 aislados de *Bth* producen cristales con propiedades insecticidas. El potencial insecticida de *Bth* indica que en México las variedades de esta especie de bacteria son un recurso

ecológico y ambientalmente viable cuyo uso debe fomentarse como control biológico que puede generar importantes ingresos económicos.

LOS MICROORGANISMOS TAMBIÉN NOS ENFERMAN

Los microorganismos patógenos son aquellos que dañan la salud humana, y son principalmente bacterias, virus y protozoarios.¹⁵ Algunos de ellos fueron y siguen siendo causa de una elevada mortalidad. Cómo olvidar la viruela causada por el poxvirus *Variola* spp., la lepra por *Mycobacterium leprae*, la peste por *Yersinia pestis*, el tifo por *Rickettsia typhi* y el cólera por la bacteria *Vibrio cholerae*; o incluso muy recientemente las muertes causadas por los virus del SARS, del SIDA y de la influenza.¹³ La continua interacción entre los humanos y los microorganismos se debe a que las condiciones que garantizan su éxito son compartidas; es decir, la alimentación microbiana y humana incluye por ejemplo agua, carbohidratos (azúcares) y otras sustancias que proporcionan energía y son esenciales para su existir.

Se conocen unas 9,000 especies de parásitos que atacan células humanas y que alteran la salud del humano. Como ejemplo de ellos están los protozoarios que habitan en el intestino y las bacterias patógenas que tienen alta virulencia ya sea en heridas superficiales o en órganos internos del cuerpo humano. En México, por ejemplo, una de las enfermedades comunes es la amibirosis, causada por un protozoario, la amiba *Entamoeba histolytica*, que es capaz de producir una sustancia que ulcerá el intestino (úlcera intestinal) y provoca alteración grave en otros órganos por vía sanguínea. Diversas enfer-

Enfermedad	Nombre del microbio	Fuente de infección
Por bacterias		
Tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Leche cruda y lácteos contaminados
Salmonelosis	<i>Salmonella</i> spp.	Agua, ensaladas y vegetales crudos
Colitis hemorrágica	<i>Escherichia coli</i>	Carnes poco cocidas y leche cruda
Botulismo	<i>Clostridium botulinum</i>	Productos enlatados
Sífilis	<i>Treponema pallidum</i>	Transmisión sexual
Neumonía	<i>Streptococcus pneumoniae</i>	Por aire y secreciones como la saliva
Gastroenteritis	<i>Bacillus cereus</i>	Arroz y productos de cereales
Por virus		
Poliomielitis	<i>Enterovirus</i> spp.	Alimentos, agua y aire contaminado
Hepatitis A	<i>Heparnavirus</i> sp.	Agua o alimentos contaminados con heces fecales, mariscos y ensaladas
SIDA	<i>Lentivirus, Retroviridae</i>	Contacto sexual, transfusión de sangre, niños nacidos de madre infectada
Paperas	<i>Paramyxovirus</i> spp.	Saliva y orina
Sarampión	<i>Morbillivirus</i> spp.	Secreciones respiratorias
Influenza A	H1N1	Secreciones respiratorias, contacto físico

Cuadro 2. Enfermedades humanas frecuentes causadas por microorganismos.

medades son producidas por otros microorganismos como es el caso del virus de la hepatitis o el causante de la influenza (Cuadro 2).^{1, 5, 15} En términos generales, este apartado muestra que los microorganismos tienen un gigantesco control sobre la salud, el desarrollo humano y la calidad de la vida.

PERSPECTIVAS

Los microorganismos tienen una influencia muy significativa en los sistemas biológicos y biotecnológicos.^{3, 6} En este sentido, la diversidad microbiana es también un recurso para elaborar tecnologías novedosas que generen riqueza y bienestar para el país. Entre estas podría contemplarse usar a los microorganismos en tecnologías ecológicas y ambientales que permitan ayudar a la conservación o recuperación de la biodiversidad. Por su utilidad biotecnológica (por ejemplo en la elaboración de fármacos, productos alimenticios y hasta armamento biológico) los microorganismos también son punto clave de bioseguridad en los países, por ello es indispensable conocerlos lo más posible y al mismo tiempo reglamentar su uso.

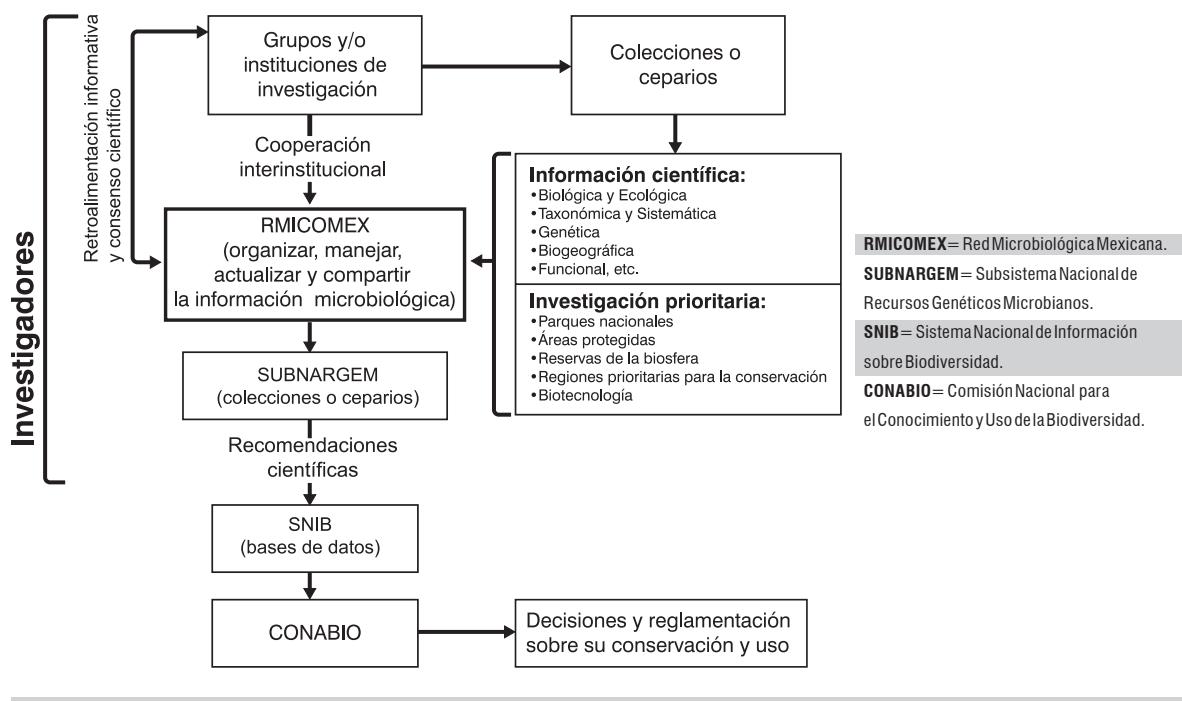
La existencia de la vida en el planeta depende en gran parte de los microorganismos, por lo que es alarmante que el conocimiento sobre la diversidad microbiana sea tan escaso. Esto compromete a México, como el cuarto país megadiverso del mundo, con el difícil reto de incorporar al estudio de su biodiversidad esfuerzos y apoyos de investigación dirigida a inventariar, conservar, explotar el uso y regular la protección de la diversidad microbiana, así como a incrementar la investigación dirigida a explorar la función de los microorganismos en la biodiversidad y en los ciclos biogeoquímicos vinculados al funcionamiento de los ecosistemas. Hay aún muchas preguntas por responder; por ejemplo, no se sabe si existen especies de microorganismos en extinción pero con potencial biológico vital para otros organismos, se desconoce cuántos microbios patógenos surgen en el ambiente y cómo cambia su actividad ante el cambio climático o las perturbaciones al ambiente, y falta documentar qué especies bacterianas y virales surgen o se han vuelto resistentes al uso de antibióticos y pesticidas. El suelo, por ejemplo, tiene una riqueza microbiana cuyo potencial podría resolver problemas ambientales, de salud o alimenticios; sin embargo, es necesario intensificar la investigación y el diseño de metodo-

logías dirigidas a identificarlos, preservarlos y a conocer sus usos. A nivel de ecosistemas falta conocer en qué procesos ecológicos participan en forma individual, en consorcios o como comunidad o grupo funcional, con la finalidad de identificar cuáles procesos se alterarían afectando al resto de la diversidad biológica si ciertos microorganismos desaparecieran.^{4, 5, 6, 9} Estas preguntas podrán ser abordadas mediante el uso de técnicas de cultivo tradicionales, bioquímicas (perfils de ácidos grasos de membrana) y moleculares (ADN, ARN, metagenoma).

En México, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), desde su creación en 1992, consideró en sus temas de desarrollo inventariar la diversidad microbiana.^{16, 17} Sin embargo, aunque a la fecha no existe suficiente información en el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), recientemente se están generando los mecanismos para recabar esta información mediante el Subsistema Nacional de Recursos Genéticos Microbianos (SUBNARGEM). Este Subsistema tiene como objetivos actualizar y sistematizar la informa-



© Valeria Schwarz, de la serie *Urribelarrea*, 2005.



Cuadro 3. Esquema conceptual para conformar una Red Microbiológica Mexicana.

ción sobre los recursos genéticos microbianos y definir estrategias para promover el conocimiento, conservación, manejo y aplicación de los recursos microbianos en México. Por otra parte, diversos grupos de investigación e instituciones ya han realizado estudios microbiológicos. Por ello es necesario crear una Red Microbiológica Mexicana que integre la información que se tiene actualmente al SUBNARGEM y a la bases de datos de biodiversidad de la CONABIO. En esta red se podría compartir y actualizar la información sobre microbiodiversidad mediante la participación de los científicos responsables de generar la información taxonómica, genética, ecológica, funcional y de mantener las colecciones o ceparios sobre la diversidad microbiana.

El objetivo final de la red sería llegar a un consenso entre especialistas y ligarla al SUBNARGEM y al SNIB que maneja la CONABIO. Además, es necesario incluir en la red toda la información microbiológica hasta ahora existente dando, desde el punto de vista ecológico, prioridad a aquellas investigaciones desarrolladas en parques nacionales, reservas de la biosfera y en regiones terrestres y marinas prioritarias de conservación en México (Cuadro 3).

La creación de una Red Microbiológica es esencial para avanzar con rapidez en el conocimiento, prioridades de conservación y uso de la diversidad microbiana a corto y largo plazo. Esto permitiría consolidar la investigación microbiológica y tener un mejor aprovechamiento biotecnológico y ecológico de los microrganismos.

A G R A D E C I M I E N T O S

Los autores agradecemos a Esperanza Martínez Romero (Centro de Investigaciones Genómicas, unam), Mayra Gavito, Carlos Anaya y Maribel Nava Mendoza (Centro de Investigaciones en Ecosistemas, unam) los comentarios y sugerencias para enriquecer y mejorar este manuscrito. A Heberto Ferreira, Raúl Ahedo y Pablo Alarcón Chaires agradecemos el apoyo técnico. N.M. Montaño agradece a la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa por la beca Posdoctoral y A.L. Sandoval Pérez al CONACYT por la beca de Maestría (224682), becas otorgadas durante la elaboración de este artículo.

B I B L I O G R A F I A

- ¹ Brock TD. *Biology of microorganisms*, USA, Prentice Hall (1998).
- ² Cavalier-Smith T. Only six kingdoms of life. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271 (2004) 1251-1262.
- ³ Atlas R y Bartha R. *Ecología microbiana y microbiología ambiental*, Addison Wesley (2002).



© Valeria Schwarz, de la serie *Urribelarrea*, 2005.

⁴ Paul EA. *Soil microbiology, ecology, and biochemistry*, Academic Press (2007).

⁵ Martínez-Romero E y Martínez-Romero J (edit.), *Microbios en línea*. Disponible en Internet: <http://biblioweb.dgsca.unam.mx/libros/microbios/> [Consulta: 9 de septiembre 2004]

⁶ Fuhrman JA. Microbial community structure and its functional implications. *Nature* 459 (2009) 193-199.

⁷ Ulloa M y Herrera T. Estado actual del conocimiento de bebidas fermentadas indígenas de México. *Anales del Instituto de Biología, UNAM, Serie Botánica* (1982) 145-163.

⁸ Escalante A, Rodríguez ME, Martínez A, López-Munguía A, Bolívar F y Gosset G. Characterization of bacterial diversity in Pulque, a traditional Mexican alcoholic fermented beverage, as determined by 16S rDNA analysis. *FEMS Microbiology Letters* 235 (2004) 273-279.

⁹ Wall DH y Virginia RA. The world beneath our feet: soil biodiversity and ecosystem functioning. En: Raven PH y Williams T (edit.), *Nature and Human Society: the quest for a sustainable world*, Washington, National Academy Press (2000).

¹⁰ Blaize L. *The economic value of microbial diversity information*. Disponible en internet: <http://www.unep.org/unep/products/eeu/ecoserie/> [Consulta: 12 de agosto 2008]

¹¹ Baca EB. La microbiología, de sus inicios a la genómica. *Elementos* 49 (2003) 3-11.

¹² Smith SE y Read DJ. *Micorrhizal symbiosis*, San Diego USA, Academic Press (2008).

¹³ Nature Reviews Microbiology. *Web focuses Anthrax, SARS y Microbial genetics*, Nature Publishing Grup. <http://www.nature.com/nature/focus.html> [Consulta: 22 de octubre 2008]

¹⁴ Glare TR y Callaghan O. *Bacillus thuringiensis* Biol. Ecol. & Society. J. Willey (2002).

¹⁵ Contreras P. Invitados a comer no deseados ¿bacterias, virus o protozoarios? *Ciencia* 53 (2002) 82-88.

¹⁶ Soberón J y Llorente J. La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)". *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 44 (1993) 3-17.

¹⁷ Toledo VM. La diversidad biológica de México: nuevos retos para la investigación de los noventas. *Ciencias* 34 (1994) 43-59.

Noé Manuel Montaño Arias

Ana Lidia Sandoval Pérez

Sara Lucía Camargo Ricalde

Departamento de Biología (Área de Botánica),

División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.

email: nmma@xanum.uam.mx

Juan Manuel Sánchez Yáñez

Microbiología Ambiental, Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.