



La Ciencia

desde Morelos
para el Mundo

Tomo II, Biología: del ambiente a la genómica



La Unión
DE MORELOS



ACADEMIA DE CIENCIAS
DE MORELOS, A.C.



NOTICIAS EN VIVO

En TV por Internet
desde las 7:00 a.m. a 3:00 p.m.



www.launion.com.mx



La Ciencia

desde Morelos
para el Mundo

Tomo II, Biología: del ambiente a la genómica



La Ciencia

desde Morelos para el Mundo

Tomo II, Biología: del ambiente a la genómica

Editada y compilada por:

Enrique Galindo Fentanes, *Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos*
e Investigador del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma
de México, Campus Morelos.

Joaquín Sánchez Castillo, *Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos e*
Investigador de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de
Morelos.

Edmundo Calva Mercado, *Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos e*
Investigador del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de
México, Campus Morelos.

Sergio Cuevas García, *Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos e*
Investigador del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional
Autónoma de México, Campus Morelos.

Oscar Davis Martínez, *Jefe de Redacción de "La Unión de Morelos"*

Hernán Larralde Ridauro, *Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos e*
Investigador del Instituto de Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de
México, Campus Morelos.

Gabriel Iturriaga de la Fuente, *Miembro de la Academia de Ciencias de*
Morelos e Investigador del Centro de Investigación en Biotecnología de la Universidad
Autónoma del Estado de Morelos.

Georgina Hernández Delgado, *Miembro de la Academia de Ciencias de*
Morelos e Investigadora del Centro de Ciencias Genómicas de la Universidad Nacional
Autónoma de México, Campus Morelos.

Formación y diseño:

Ángel A. Acevedo Martínez (La Unión de Morelos)

Portada: **Sodio** (www.sodio.net)

Primera Edición 2012

ISBN: 978-607-95682-1-4

DR © Textos y fotografías de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Impreso y hecho en México

**Este libro no puede ser fotocopiado ni reproducido
total o parcialmente por ningún otro medio o método
sin la autorización por escrito de los editores.**

Índice

Mensaje de La Unión de Morelos	I
Mensaje de la Academia de Ciencias de Morelos	III
Presentación	V
Prólogo	VII
 Ecología y Salud	 1
Prólogo	3
<i>Rafael Vázquez-Duhalt</i>	
Dotar de valor a la naturaleza: una posible alternativa ante su destrucción	5
<i>Juan Téllez-Sosa, Brenda Valderrama</i>	
Observaciones tristes en un paseo de domingo: reflexiones sobre el descuido de nuestro medio ambiente	9
<i>Markus Müller</i>	
¿Son los detergentes biodegradables un peligro para la salud pública?	13
<i>María Teresa Viana, Rafael Vázquez Duhalt</i>	
Plásticos y contaminación ambiental	15
<i>Guadalupe Espín</i>	
Contaminación en ambientes hipersalinos: un desafío ambiental	17
<i>Dayanira Paniagua Meza, Rafael Vázquez Duhalt</i>	
Biorremediación de suelos salinos	19
<i>Omar Pantoja, Bronwyn J. Barkla</i>	
Reflexiones sobre el cambio climático (Si eres el último, ¡APAGA LA LUZ!)	21
<i>Kurt Bernardo Wolf</i>	
Los beneficios de la composta en términos del calentamiento global	25
<i>Antonio Sarmiento Galán</i>	
¿Por qué se cae un puente? y esto... ¿qué tiene que ver con el efecto invernadero y el calentamiento global?	27
<i>Jorge Uruchurtu Chavarrín</i>	
¿Sirven las áreas naturales protegidas en México? Si, pero...	29
<i>Victor Sánchez-Cordero</i>	
Mimetismo: la vida no tiene vergüenza de copiar	31
<i>Otto Geiger, Isabel M. López Lara</i>	
¿Es la exposición al humo de tabaco ambiental un problema real de salud pública?	35
<i>Eduardo Lazcano-Ponce, Tonatiuh Barrientos-Gutiérrez, Luz Miriam Reynales-Shigematsu</i>	
¿Por qué necesitamos prohibir el consumo de tabaco en espacios interiores?	39
<i>Eduardo Lazcano-Ponce, Tonatiuh Barrientos-Gutiérrez, Luz Miriam Reynales-Shigematsu</i>	
¿Puede la tecnología proporcionarnos la salud ?	
(respuesta a una inquietud de una lectora, alumna de secundaria)	43
<i>Alejandro Alagón Cano</i>	
El lado bueno de una bacteria llamada <i>Escherichia coli</i>	47
<i>José Luis Puente García</i>	
El comportamiento del animal enfermo	49
<i>José Agustín Orihuela Trujillo</i>	
Hepatitis C en México -Un problema oculto de salud pública	51
<i>Vicente Madrid Marina</i>	
Darwin y la influenza: Evolución en acción	53
<i>Lorenzo Segovia</i>	
Importancia de algunas zoonosis (enfermedades) emergentes en salud pública en México	57
<i>Victor Sánchez- Cordero</i>	
Aliméntate sanamente: come frutas y verduras (o de cómo la vitamina C incrementa la disponibilidad de hierro)	61
<i>Brenda Valderrama</i>	
 Genes, proteínas y cerebro	 63
Prólogo	65
<i>Markus Müller</i>	
Las secuencias de ADN y analogías con los lenguajes	67
<i>Joaquín Sánchez Castillo</i>	
Los códigos moleculares de información en los sistemas biológicos	69
<i>Raúl Arredondo Peter</i>	
La mosca de la fruta <i>Drosophila</i>, genes y enfermedades: lo que es de las moscas, es de los humanos	71
<i>Mario Zurita Ortega</i>	
La ciencia genómica desde tu computadora	73
<i>Iván Fernández Cruz, Raúl Arredondo Peter</i>	
Genes, genomas y metagenomas: de Mendel a Venter	77
<i>Enrique Merino</i>	
La Medicina Genómica y su potencial para transformar los servicios de salud	81
<i>Xavier Soberón Mainero</i>	
¿Qué es la biología sintética? El genoma fabricado por el Venter Institute	83
<i>Xavier Soberón Mainero</i>	
¿Es posible la creación de vida artificial?	85
<i>Gabriel Iturriaga de la Fuente</i>	
¿Qué hay detrás del color de la sangre?	89
<i>Raúl Arredondo Peter</i>	

La melanina: un pigmento con múltiples aplicaciones	91
<i>Guillermo Gosset Lagarda</i>	
Hemoglobinas vegetales: proteínas rojas en organismos verdes	93
<i>Raúl Arredondo Peter</i>	
Los huevos fritos y las enfermedades conformacionales	95
<i>Ramón Garduño Juárez</i>	
Comprender cómo entendemos; los retos de las neurociencias	97
<i>Jean-Louis Charli</i>	
Plasticidad cerebral	99
<i>L. Enrique Sucar</i>	
El cerebro humano, uno de los misterios más grandes del mundo	101
<i>Markus Müller</i>	
Biotecnología de la “A” a la “Z”	103
Prólogo	105
<i>María Luisa Villarreal, Alfredo Martínez</i>	
Microbios, fermentaciones y biotecnología	107
<i>Enrique Galindo Fentanes</i>	
Microbios, geles y espesantes	109
<i>Carlos Peña Malacara, Enrique Galindo Fentanes</i>	
El pulque, una bebida con un gran pasado y ¿un futuro incierto?, primera parte	111
<i>Adelfo Escalante, Guillermo Gosset</i>	
El pulque, una bebida con un gran pasado y ¿un futuro incierto?, segunda parte	113
<i>Adelfo Escalante, Guillermo Gosset</i>	
Las tres etapas de aplicaciones de la biotecnología y la industria química limpia, primera parte	115
<i>Xavier Soberón Mainero</i>	
Las tres etapas de aplicaciones de la biotecnología y la industria química limpia, segunda parte	117
<i>Xavier Soberón Mainero</i>	
Viaje al interior de un biorreactor: imágenes y su análisis, primera parte	119
<i>Gabriel Corkidi Blanco</i>	
Viaje al interior de un biorreactor: imágenes y su análisis, segunda parte	121
<i>Gabriel Corkidi Blanco</i>	
Una batalla biológica entre microorganismos para beneficio del hombre	123
<i>Pedro Mendoza de Gives</i>	
Por fortuna existen los microbios	125
<i>Jesús Caballero-Mellado</i>	
La unión hace la fuerza: el caso de una asociación benéfica entre raíces de frijol y bacterias del suelo	129
<i>Carmen Quinto, Rosana Sánchez</i>	
Microbios que nutren a las plantas (Biofertilizantes)	133
<i>Jesús Caballero-Mellado</i>	
El biofertilizante para frijol de la UNAM: más rendimiento y mejor nutrición sin contaminación	137
<i>Humberto Peralta, Jaime Mora Celis</i>	
Genómica funcional del frijol, la leguminosa más importante de México	139
<i>Georgina Hernández</i>	
El mejoramiento clásico y moderno de cultivos vegetales: sus ventajas y limitaciones	141
<i>Alejandra A. Covarrubias Robles</i>	
Cultivo de Nochebuena: no todos los hongos son enemigos	143
<i>Leobardo Serrano Carreón</i>	
Sobre el debate de los alimentos transgénicos	145
<i>Federico Sánchez Rodríguez, Claudia Díaz Camino</i>	
Sobre el debate de los alimentos transgénicos, segunda parte	147
<i>Federico Sánchez Rodríguez, Claudia Díaz Camino</i>	
Impacto del uso de las toxinas Cry de <i>Bacillus thuringiensis</i> en el control de insectos	151
<i>Mario Soberón Chávez, Alejandra Bravo de la Parra</i>	
Bacterias maravillosas: viviendo al límite de la vida	153
<i>Gabriel Iturriaga, Bárbara Nova Franco</i>	
Genes para combatir la sequía en los cultivos	155
<i>Gabriel Iturriaga</i>	
El piquete de alacrán	157
<i>Lourival D. Possani</i>	
Naturaleza química de las toxinas del veneno de alacrán	159
<i>Lourival D. Possani</i>	
La próxima generación de anti-venenos contra la picadura de alacrán: anticuerpos producidos en el laboratorio	161
<i>Baltazar Becerril Luján</i>	
Los repertorios de anticuerpos recombinantes: una fuente inagotable de agentes terapéuticos y de diagnóstico	163
<i>Baltazar Becerril Luján, Lidia Riaño</i>	
Las proteínas recombinantes: nuestras aliadas en la salud	165
<i>Laura A. Palomares, Octavio Tonatíuh Ramírez</i>	
“Alien”: la realidad supera a la ciencia-ficción	167
<i>Alejandro Alagón Cano</i>	
Biotecnología para domesticar virus	169
<i>Germán Plascencia-Villa, Laura A. Palomares, Octavio Tonatíuh Ramírez</i>	
Utilidad de los virus en nanotecnología	171
<i>Germán Plascencia-Villa, Laura A. Palomares, Octavio Tonatíuh Ramírez</i>	
Las plantas en el combate contra el cáncer	173
<i>María Luisa Villarreal Ortega</i>	
La flora medicinal, su importancia en la farmacología de los trastornos mentales	175
<i>Jaime Tortoriello</i>	
Avances recientes en Biotecnología y Bioingeniería	177
<i>María Luisa Villarreal Ortega, Alfredo Martínez Jiménez</i>	

Mensaje de La Unión de Morelos

Uno de los principales retos que marcó el proyecto de colaboración con la Academia de Ciencias de Morelos era el de dar continuidad a los ambiciosos objetivos trazados a favor de la divulgación del conocimiento, de la ciencia y de la tecnología.

Por eso me enorgullezco en señalar que el libro que usted tiene en sus manos es la prueba de que las instituciones participantes, la Academia y La Unión de Morelos, han sabido mantener el paso en beneficio de la sociedad.

Agradezco a todos aquellos investigadores que con su colaboración inicial en las páginas del periódico han dado forma a éste volumen y los que faltan.

El objetivo inicial, de acercar a la gente a la ciencia, se ha convertido en algo más ambicioso: hacer que el apoyo oficial se encamine en una senda que augura crecimiento y desarrollo para Morelos.

Ing. Mario Estrada Elizondo
Presidente y Director General
La Unión de Morelos



Mensaje de la Academia de Ciencias de Morelos

La Academia de Ciencias de Morelos A.C. (ACMor) es una asociación integrada por distinguidos científicos que han sido elegidos por sus méritos académicos y que con su trabajo cotidiano colaboran en la construcción de una mejor sociedad morelense. En particular, uno de los objetivos de la ACMor es el promover la cultura científica. Para cumplir con este objetivo, la ACMor ha encontrado un decidido y entusiasta colaborador en el ámbito empresarial: “La Unión de Morelos”. Esta colaboración ha redituado en la publicación de artículos originales de divulgación todos los lunes desde hace más de cinco años. Durante este tiempo los miembros de la Academia de Ciencias de Morelos han abordado una variedad de temas de actualidad y de interés científico, compartiendo la información y poniéndola a disposición de la sociedad morelense. Ahora son conjuntados en este segundo tomo dedicado a temas de biología desde la genómica hasta ambientales.

El esfuerzo que hacen dos organizaciones, una académica y una empresa de comunicación, está dando frutos como es este libro que seguramente permitirá que la información fluya a mayores sectores de la sociedad. La Unión y la ACMor, en colaboración, contribuyen a crear una cultura científica en la población del Estado de Morelos. Sin duda, este es el camino para generar una mejor sociedad con herramientas para la toma de decisiones con base en el conocimiento.

Jesús Antonio del Río Portilla
Presidente de la Academia de
Ciencias de Morelos, A. C.
(2011-2012)



ACADEMIA DE CIENCIAS
DE MORELOS, A.C.

Presentación

La Academia de Ciencias de Morelos, A.C. (ACMor) ha sido realmente afortunada por radicar en un ambiente propicio para la interacción constante entre los investigadores científicos y entre los propios investigadores con la sociedad. Estas interacciones han llevado no sólo a colaboraciones productivas en temas de investigación, sino también a compartir nuestras motivaciones para que nuestro trabajo sea de mayor impacto para la sociedad y contribuya a la construcción de un mejor país y a una visión positiva del futuro de la humanidad. Es así que, cada vez más investigadores escriben artículos de divulgación sobre una creciente gama de temas. Si bien las responsabilidades básicas de los científicos son la generación de conocimiento y la formación de recursos humanos de alto nivel, la gran mayoría de los miembros de la ACMor han descubierto también su enorme potencial de comunicación con la sociedad.

Comúnmente, la relevancia del trabajo de un científico se puede visualizar claramente cuando un descubrimiento básico o un desarrollo tecnológico conducen a una aplicación identificable, como un nuevo producto o servicio, o cuando se considera el número de estudiantes de posgrado que formamos. Sin embargo, es interesante notar que el papel del científico en contribuir a la educación de la sociedad en el método y el quehacer científicos no es generalmente considerado como relevante, cuando, muy probablemente, esto sea por mucho, lo más trascendente a largo plazo. En esencia, el método científico se basa en observar con cuidado cada situación de interés, meditar o analizar sus implicaciones mediante la comparación con hechos ya conocidos, seguido de la observación consecuente. Esto es, el método científico no es ajeno a la conducta cotidiana de cualquier ser humano.

Sin duda, es una fortuna para la ACMor la colaboración que ha mantenido con “La Unión de Morelos”, quien en una decisión editorial que le da liderazgo en el periodismo nacional y constituye un ejemplo a nivel internacional, ha abierto una sección en su edición de los días lunes, a fin de que los miembros de la ACMor aborden diferentes temas que ilustren al público sobre el quehacer científico. Es así que las contribuciones de los primeros tres años se presentan clasificadas en diferentes temas: Ciencia y Sociedad, Biología, Química, Física y Matemáticas. Es claro que esta clasificación es un tanto subjetiva, pues todos los temas podrían haberse colocado en la primera categoría, aunque se escogieron

para dicha sección aquellos que abordan aspectos más generales o con un claro distintivo social. Asimismo, diríamos afortunadamente, no pocas contribuciones pudieran haber sido clasificadas en algún otro tema, mostrando así la creciente interrelación de la ciencia actual.

Sirva pues esta colaboración entre la ACMor y “La Unión de Morelos” como un ejemplo, que motive a otras comunidades a realizar esfuerzos similares y a demostrar que en México se pueden lograr contribuciones sociales de la ciencia del más alto nivel. ¡Enhorabuena!

El Comité Editorial de la ACMor

2007-2008

Joaquín Sánchez Castillo
(Coordinador)

Georgina Hernández Delgado
Hernán Larralde Ridaura

2009-2010

Enrique Galindo Fentanes
(Coordinador)

Edmundo Calva Mercado
Gabriel Iturriaga de la Fuente
Sergio Cuevas García
Hernán Larralde Ridaura

El Jefe de Redacción de La Unión de Morelos

Oscar Davis Martínez

Tomo II: Biología, del ambiente a la genómica

Prólogo

En este tomo se abordan temas varios de la biología moderna, que nos permiten apreciar lo amplio que es el espectro de las preguntas que abordan los biólogos, que se reflejan en la variedad de metodologías y conceptos vigentes. Así, se estudian los procesos de la vida desde el punto de vista de los cuidados que debemos tener con el ambiente o con los animales de granja; pasando por la riqueza de nuestra flora y fauna, por el uso de la mosca de la fruta como una herramienta experimental, por el funcionamiento de una célula bacteriana o de una neurona, o la evolución de los virus; hasta llegar a la disección de la genética a través de la comprensión de los genes y de la organización de los conjuntos de genes, o genomas, abarcando incluso el detalle de una molécula como la hemoglobina.

No menos impresionantes son los relatos sobre las aplicaciones tecnológicas de los hallazgos en la biología, presentados en el conjunto de artículos de biotecnología y en otras secciones. Así nos podemos familiarizar con la biorremediación, esto es, en soluciones tecnológicas para contender con el deterioro ambiental, la contaminación, la conservación de la biodiversidad; así como estrategias actuales para resolver problemas relacionados con la salud. Ante el deterioro ambiental, se proponen soluciones prácticas que ofrecen alternativas viables como parte de una llamada cultura del ambiente, hasta el uso de plantas “benéficas” que ayuden a restablecer la productividad de suelos agrícolas. Para contender con el cambio climático, se crea conciencia sobre nuestros hábitos de vida para ahorrar energía, hasta el uso de fertilizantes orgánicos.

Los autores nos ilustran como en la biotecnología se utilizan organismos de alta complejidad como las plantas, para generar las plantas transgénicas con su gran potencial tecnológico y el debate que generan en la sociedad, aunque, para nuestra fortuna, también contamos con la flora medicinal tradicional, de ricas raíces culturales. Y no podría faltar mención del aprovechamiento de las maravillosas propiedades genéticas y bioquímicas que nos ofrecen los microorganismos. La química hace su aparición en el manejo y control de los fermentadores (biorreactores) y en el uso de catalizadores biológicos; en la caracterización y manipulación de toxinas, de proteínas recombinantes, y de virus, llegando hasta a la síntesis del mismísimo material genético, otra vez, con su gran potencial tecnológico y controversia social.

Es indudable que este tomo refleja no sólo la necesidad de orientar a todos aquellos con una clara vocación científica, sino la importancia de que la sociedad en general comprenda los verdaderos alcances de los conocimientos modernos en biología. Muchas veces se crean fantasías sobre las posibilidades actuales de la biotecnología para bien o para mal, las cuales deben de enmarcarse en el contexto de la realidad. Esto es, la sociedad deberá comprender cuáles son las implicaciones de lo que es posible dentro la ciencia actual.

Edmundo Calva Mercado
Víctor Sánchez Cordero

ECOLOGÍA Y SALUD

Prólogo

Ya nadie duda del impacto que tiene la contaminación ambiental sobre la salud del ser humano. Se sabe que la mayor parte de las enfermedades son debidas a la contaminación del agua. Se sabe, también, que los ecosistemas son equilibrios dinámicos muy susceptibles a los efectos de las actividades humanas y que es impostergable el cuidarlos. En esta sección del libro, la temática es precisamente Ecología y Salud. Dos temas inseparables. Los autores nos muestran, en un viaje casual, el deterioro que hay en nuestros bosques, que además de verse cubiertos de basura, son sometidos a una tala intensa y sin reposición. Nos proponen ponerle un valor al deterioro ambiental, que es uno de los grandes desafíos de las ciencias ambientales. ¿Cuánto cuesta la pérdida de una hectárea de bosque? ¿Cuál es el costo de una especie endémica desaparecida? ¿Cuál es el costo a la salud pública de un manto freático contaminado? Aún no lo sabemos. Los autores también nos enseñan cómo el uso de detergentes puede provocar cambios indeseados en las poblaciones animales y aun en el hombre. Por otro lado, el uso intensivo de plásticos derivados del petróleo ha causado un incremento exponencial de la cantidad de residuos plásticos en todos los ambientes y que una parte importante de las muertes de animales marinos puede ser atribuida a tales contaminantes. Los autores nos proponen cambiar todo este material plástico por materiales de origen biotecnológico que son totalmente biodegradables. Además, los autores de este capítulo nos indican que existen ecosistemas en donde es más difícil la degradación de los contaminantes. Un caso es la contaminación petrolera en ambientes hipersalinos. En términos de salinidad, uno de los problemas a los que nos enfrentamos

es el incremento de la salinidad de los suelos agrícolas, debido principalmente al riego con aguas salobres. Esto disminuye fuertemente la productividad agrícola. En esta sección se propone el uso de plantas especializadas en extraer la sal del suelo para restablecer sus condiciones originales. Los autores nos muestran la relación que existe entre nuestro consumo de energía y el calentamiento global y las emisiones contaminantes. Nos muestran, claramente, que no sólo se deteriora nuestra salud, sino que pueden disminuir la resistencia de materiales como el concreto. También proponen capturar el carbono en la composta después de una buena separación de la basura.

En la sección “Ecología y Salud”, además de analizar los efectos de la contaminación del ambiente en la salud pública, se nos informa sobre los riesgos de actividades humanas como el tabaquismo sobre la salud de la población. El tabaco, uno de los contaminantes más importantes de ambientes domésticos, es realmente un peligro para la salud por sus efectos mutagénicos y carcinogénicos. El tabaquismo es un riesgo para el desarrollo sano de los niños y otros fumadores pasivos. Los autores fundamentan porque es imperativo el reglamentar la acción de fumar en lugares públicos.

La tecnología en la medicina ha resuelto muchos problemas de salud pública. Las grandes epidemias como el cólera, la lepra, el paludismo, el tifus y la peste bubónica han sido controladas, sin embargo, aún hay retos por resolver. Los autores nos explican cómo la ciencia usa una bacteria intestinal para el desarrollo del conocimiento médico. Algún día podremos contender eficazmente con enfermedades virales como la hepatitis C, que en el mundo representa

180 millones de enfermos, equivalente al 3% de la población y que en México es el problema de 1.6 millones de personas. También en México las enfermedades como la de Chagas y Leishmanosis son un problema de salud pública. Finalmente, en esta sección de “Ecología y Salud”, se nos explica cómo las mutaciones, que son el origen de la evolución, son también un reto en las infecciones virales como las temidas influencias. Mientras el sistema inmune de los organismos trabaja para reconocer al virus invasor y eliminarlo, los virus trabajan para engañar este sistema de protección mutando sus proteínas superficiales y haciendo que el

sistema inmune de los organismos deje de reconocer al virus.

El lector de la sección “Ecología y Salud”, de la obra “La Ciencia desde Morelos para el Mundo”, podrá tener un panorama de la interrelación entre medio ambiente, contaminación, ecología y salud pública.

“La tierra es suficiente para todos pero no para la voracidad de los consumidores”.

Mahatma Gandhi

Rafael Vázquez-Duhalt

Dotar de valor a la naturaleza: una posible alternativa ante su destrucción

Juan Téllez-Sosa

Instituto Nacional de Salud Pública

Brenda Valderrama

Instituto de Biotecnología, UNAM-Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La naturaleza cumple múltiples funciones en nuestra sociedad: es una fuente de recursos naturales, la disfrutamos por su belleza y la usamos como depósito de desechos y residuos. El deterioro ambiental no corporativo, es decir, el que efectúan a pequeña escala los individuos avocados en el sitio, se debe a la sobreexplotación y ésta última se vincula con la pobreza y la ignorancia. Todos quisiéramos detener este círculo vicioso pero nos damos cuenta que, como individuos, carecemos de poder para lograrlo por lo que esperamos la intervención desde otros niveles de la sociedad.

En esta ocasión quisiéramos compartir una estrategia de conservación que ha tenido éxito en otros países y que consiste en asignarle un valor económico a la naturaleza como fuente de recursos naturales. Desde el punto de vista económico, se entiende como recurso natural cualquier factor que afecta la producción pero que no ha sido hecho por el humano, por ejemplo, materias primas como la madera, el petróleo y, recientemente, el agua, el aire y la biodiversidad. Tradicionalmente, los recursos naturales se consideraban bienes libres por su disponibilidad casi ilimitada. Sin embargo, en los últimos años han perdido esta categoría y se consideran bienes económicos, es decir, bienes escasos. Evidentemente, el valor de un bien escaso es mayor que el de un bien ilimitado; sin embargo, el valor de los recursos naturales también depende de que sean renovables (como los bosques) o de que no lo sean (como el petróleo).

Una peculiaridad de los recursos naturales es que su valor económico total no sólo proviene de los valores directos e indirectos presentes, sino también de los futuros, derivados de su valor de uso y de no uso. Este último punto es fundamental, ya que abre la posibilidad de que la conservación de un recurso natural genere un mayor beneficio económico que su uso. Para que esto suceda es imprescindible asignar un valor económico al no uso de un recurso natural, por ejemplo, la tala de un bosque para fabricar papel puede generar un beneficio económico inmediato pero, a largo plazo, podría alterar irreversiblemente el equilibrio hidrológico y dañar las actividades

agrícolas en la región. Resolver esta situación de manera correcta implicaría añadir al precio del papel tanto el costo de la restauración del área, como una indemnización a la población afectada, como tercero involucrado.

Este tipo de situación, donde el costo de la actividad productiva no toma en cuenta a terceros, incluyendo el medio ambiente, se considera una falla del mercado. La solución clásica a una falla del mercado es la intervención del sector público. En el caso del deterioro ambiental eso es exactamente lo que está ocurriendo. Ante la falta de voluntad del sector privado para asimilar el costo ambiental de sus actividades en el costo de los productos, los gobiernos y otras instituciones como la Organización de las Naciones Unidas han instrumentado estrategias de intervención, tales como la creación de mercados de servicios ambientales, complementando otras medidas ya existentes, como el control sobre la utilización de determinados recursos o la aplicación de gravámenes y subsidios.

Los servicios ambientales son el conjunto de condiciones y procesos (incluyendo las especies y los genes) que ofrecen las áreas naturales por su simple existencia y que la sociedad puede usar en su beneficio. Dentro de este conjunto se puede señalar la existencia de biodiversidad, el mantenimiento de germoplasma con uso potencial para el beneficio humano, el mantenimiento de valores estéticos y filosóficos, la estabilidad climática, la contribución a los ciclos biogeoquímicos y la conservación de suelos, entre otros. La instrumentación de los mercados de servicios ambientales pretende en última instancia incorporar el medio ambiente a la economía global. En términos generales, estos mercados consisten en el pago a los dueños o poseedores de áreas naturales por la conservación de las mismas, de manera que garanticen una producción sostenida de servicios ambientales. La aplicación general de esta estrategia presenta un reto sustancial, ya que nuestra sociedad aún no considera a la conservación del medio ambiente como un servicio y por lo tanto no está dispuesta a pagar por él. Para solucionar este inconveniente, se ha optado por fragmentar al mercado de servicios



ambientales en varios mercados, mejor definidos respecto a sus constituyentes principales: producción, consumo y estructura de mercado. En esta ocasión nos abocaremos a uno de los mercados, en particular el del agua.

La deforestación indiscriminada de selvas y bosques acentúa el desequilibrio entre la extracción del agua de los mantos acuíferos y su recarga, suscitando una alarmante escasez del vital líquido. En respuesta a esta demanda, se iniciaron en varios países proyectos para la captura de agua de lluvia, también conocidos como Programas de Desempeño Hidráulico (PDH). Estos proyectos son servicios ambientales que proveen las regiones cuyas abundantes áreas arboladas retienen agua de lluvia, propiciando su infiltración hacia los mantos freáticos. El establecimiento de un PDH en una región mejora la disponibilidad y calidad del agua, prolonga la vida útil de las infraestructuras, conserva suelos y reduce los riesgos de desastres por inundaciones y derrumbes.

La eficacia de un PDH depende de factores intrínsecos del área en cuestión, tales como la cantidad y distribución de lluvia, el tipo cobertura y densidad de la vegetación, el tipo de suelo, etc. Pensemos en regiones donde existen desequilibrios hidrológicos; en estos lugares los costos de oportunidad de bosques y selvas como captadores de agua son muy altos y es posible generar estructuras de mercados, es decir, estrategias de conservación de la vegetación ligada a un pago por “producción de agua”.

En México, desde el 2003, operan PDHs, como el programa de Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos conocido como ProÁrbol, el cual fue implementado por la Comisión Nacional Forestal. Este programa consiste en un pago directo a los dueños o legítimos poseedores de terrenos con recursos forestales (bosques y selvas), por el servicio que presta el buen estado de sus propiedades. El monto del pago depende del tipo de ecosistema y éstos se organizan en regiones. Además, este pago es un incentivo

para disuadir a los dueños de la deforestación de sus propiedades, particularmente en aquellos casos donde existen riesgos reales de cambio de uso de tierra, para fines agropecuarios o habitacionales. El financiamiento del Programa ProÁrbol corre a cargo del Gobierno Federal, el cual a su vez obtiene parte de los recursos del cobro por el servicio de distribución de agua potable en la región. Con esta estrategia, el gobierno funciona como un intermediario entre los “productores del agua” y los usuarios de la misma.

Los ecosistemas predominantes en el Estado de Morelos son selva baja caducifolia y bosque con coníferas y encinos, ambos con un riesgo alto o muy alto de deforestación. Según datos oficiales, en el año 2010 se apoyaron 97 solicitudes que equivalen a 4,328 hectáreas, con un monto total de 6.83 millones de pesos. El pago promedio por hectárea es de 1,568 pesos y los compromisos adquiridos consisten en evitar el cambio de uso de suelo, conservar la cobertura forestal y evitar la degradación y el sobrepastoreo, entre otras.

La implementación de programas de este tipo han demostrado ser suficientes para retrasar e incluso detener el deterioro de regiones con alto valor ambiental en otros países. En México, a pesar de tener casi 10 años de haberse iniciado, todavía no se ha consolidado como una práctica común. En el Estado de Morelos es especialmente grave, ya que solamente 13 de los 33 municipios del Estado poseen proyectos aprobados y la superficie comprendida es menos del 2 % de la total.

Para que esta propuesta se consolide como un

medio efectivo de conservación del medio ambiente y generación de riqueza en zonas no industrializadas, todavía se necesitan adecuaciones, como la especialización de cuadros de valuadores de recursos ambientales que participen activamente en la toma de decisiones, ya que de momento los montos de los incentivos no son realistas. En el Estado de Morelos se está pulverizando la superficie forestal para la construcción de zonas habitacionales, con un valor comercial de 15,000 pesos por un lote de 200 metros cuadrados, quinientas veces más que el monto anual que adjudicaría ProÁrbol para su conservación. Finalmente, es indispensable la participación coordinada de los tres niveles de gobierno para que controlen y dirijan a los potenciales beneficiarios hacia programas de este tipo y, en su caso, penalicen a los infractores. Solamente trabajando juntos, sociedad y gobierno, podremos detonar un cambio de actitud sobre el valor económico de la naturaleza, la única forma de romper el círculo ignorancia-pobreza-desempleo que subyace como la causa última de la destrucción de nuestro entorno.

Para mayor información sobre este tema consultar:

- Convención Marco sobre Cambio Climático de la ONU, <http://unfccc.int/2860.php>
- Instituto Nacional de Ecología, <http://www.ine.gob.mx/index.html>
- Comisión Nacional Forestal, <http://www.conafor.gob.mx/index.html>
- Comité Mexicano para Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero, <http://www.semarnat.gob.mx/spp/cclimatico/cicc.htm>

COMPORTAMIENTO DE LOS RECURSOS FEDERALES ASIGNADOS AL PAGO DE SERVICIOS AMBIENTALES HIDROLÓGICOS

	Año Fiscal						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Superficie (miles de Has.)	127	184	179	127	545	324	320
Monto (millones de pesos)	38.4	57.5	56.0	204	925	662	675

Fuente: Comisión Nacional Forestal / Coordinación General de Producción y Productividad
/ Gerencia de Servicios Ambientales del Bosque

Recursos asignados en el Programa ProÁrbol de la Comisión Nacional Forestal al Estado de Morelos en 2010

Municipio	Superficie total (Has)	Superficie inscrita al programa (Has)	Pago por servicios ambientales (Miles de pesos)
Tepalcingo	36,000	812	1,261.82
Tepoztlán	27,900	727	1,064.29
Tlalquitenango	46,760	574	887.61
Cuernavaca	24,471	346	533.06
Totolapan	7,014	275	468.27
Puente de Ixtla	33,356	287	477.02
Tetela del Volcán	11,160	270	401.43
Tlalnepantla	13,125	240	398.36
Huitzilac	13,436	327	537.32
Temixco	7,575	250	367.95
Tlayacapan	8,417	140	239.52
Yautepec	14,090	70	103.65
Amacuzac	9,227	10	89.40

Fuente: Resultados de la convocatoria del Programa ProÁrbol de la Comisión Nacional Forestal 2010

Observaciones tristes en un paseo de domingo: reflexiones sobre el descuido de nuestro medio ambiente

Markus Müller

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

¡Ah, qué ricos son los domingos! Despertarse sin estrés a la hora que sea, desayunar con toda la tranquilidad del mundo y empezar a planear qué hacer con el día. Una mirada a través de la ventana me dice que el clima es muy prometedor. Parece que las nubes huyeron hacia los rincones más remotos de México, de tal forma que el cielo luce con su mejor azul y un ligero viento seguramente evitará temperaturas demasiado elevadas. Salgo a mi terraza para tomar este aire tan refrescante y echar un ojito a mis hermosas plantas. De hecho son mi orgullo y siempre admiradas por mis visitantes. No hay muchas “patas de elefante” tan grandes como la mía, y mi palmera de Madagascar es realmente una atracción; tengo helechos, un ave del paraíso, azaleas y rosas de diferentes colores; hay geranios, agapantos y una muy buena colección de cactus. Pero la perla de todas estas joyas son mis orquídeas, que frecuentemente me alegran con sus abundantes flores. En realidad,

mi terraza parece ser una pequeña jungla y al estar parado ahí, disfrutando lo verde y los diversos colores y percibiendo el aroma de las flores, sabía que hoy es el día indicado para perderme en la naturaleza. Rápido empaco unos sándwiches, me llevo una botella de agua, pongo mi cámara en mi mochila y ya estoy en mi carro conduciendo hacia el bosque del Chichinautzin.

Un poco después, pasando por la Glorieta de Zapata para subir por la Carretera Federal, lo veo: *Tierra para el jardín, tierra de hoja y tierra negra, el costalito por sólo diez pesos*. ¡Pues es un día de suerte! Inmediatamente freno para que los muchachos me llenen mi cajuela con estos costales. ¡Diez pesitos por tan buena tierra! Desde hace tiempo quiero cambiar la tierra de las macetas de mis queridas plantas; ya puedo cambiarlas todas de un jalón. Feliz y contento sigo a lo largo de la carretera y me estaciono en un caminito que se dirige hacia el bosque. Qué lastima, tanta basura de todo tipo en las orillas. Subiendo



a la montaña ya me doy cuenta que la gente usa la carretera como una especie de basurero. ¿No saben cuánto tiempo requiere la basura para deshacerse? Pues, las colillas de cigarros duran “sólo” 12 años hasta que desaparecen de manera natural, mientras que los pañales de los bebés tardan hasta 300 años. ¿Quién pensaría esto, - verdad? Un inocente pañal de un más inocente bebé...

Pero hay más diversidad de basura. Botas de hule, por ejemplo, que se degradan en alrededor de 100 años. Claro, las más gruesas llantas de un coche (o camión) necesitan un tiempo considerablemente más largo. Las bolsas que usan los chicos en los supermercados, para empaquetar las compras de la gente, sobreviven entre 20 y 100 años dependiendo del grosor de la bolsa y lo mismo para las botellas de plástico; disquetes y encendedores requieren entre 100 y 1000 años. Igualmente lento se deshacen las pilas. Sólo que las pilas sueltan además diferentes productos muy tóxicos, que contaminan así el suelo y por lo tanto el agua que se consume, como ocurre en Cuernavaca. También los objetos de unicel son muy peligrosos. Primero se descomponen en bolitas pequeñas y así resisten por mucho tiempo (500 a 1000 años). Muchos animales, como pájaros y algunos

mamíferos, los confunden con comida y cuando los comen les puede provocar enfermedades e incluso su muerte. El récord en el tiempo de degradación lo tienen las latas de metal y productos de vidrio. En su caso, este proceso puede tardar muchos miles (!) de años. Por esta razón, se colecta en diferentes centros de acopio en Cuernavaca basura como baterías, cartones y papeles, tetra pack, plásticos y muchos diferentes desechos sólidos. Me propongo llevar unas bolsas para coleccionar basura la siguiente vez. Pero mejor entro rápido al bosque para evitar enojarme ante estas evidencias de comportamiento irresponsable. ¡Seguramente el encanto de la naturaleza me distraerá! Así camino con mis pensamientos, alejándome poco a poquito de la carretera. Se pierden paulatinamente los ruidos de los coches y finalmente ni se escuchan los frenos de motor de los tráileres, y por un buen rato trato de enfocarme en los árboles y arbustos en mi camino. Lo único curioso es que casi no hay árboles grandes que podrían darme sombra y conservar el aire fresco.

Desde lejos, viéndolo desde Cuernavaca, este bosque parecer estar intacto, pero estando adentro parece ser un claro gigantesco. Por lo tanto estoy sudando mientras subo por la montaña y





frecuentemente encuentro los tristes restos de los gigantes del bosque, los tocones y sus inmensas coronas: esto es, los troncos cortados justo encima de las raíces hasta la altura de la primera rama. En algunos lugares este escenario me recuerda a un campo de batalla, donde las coronas, ramas y ramitas parecen ser las cabezas, brazos y piernas de valientes guerreros, cuyos cadáveres quedaron despedazados, asesinados por cobardes francotiradores. Y ahí están, pudriéndose; alimento abundante para hongos e insectos. ¿Por qué no se usa toda esta madera? ¿Es demasiada lata llevársela? ¿No vale la pena? Miles de toneladas de buena madera se pudren aquí en la montaña porque a los talamontes sólo les interesa la mejor parte. Lo demás no lo consideran lo suficientemente valioso para llevárselo. Como si hubiera árboles en abundancia. Pero en realidad lo contrario es cierto. Un bosque no crece tan rápido como el pasto de un jardín. Estos árboles tenían 80, 100 o a veces más de 150 años de edad; y si mi estimación personal es correcta, ya faltan en algunas zonas alrededor del 80 al 90 por ciento de los árboles con un diámetro mayor a 50 centímetros.

Esto es evidentemente sólo mi estimación personal, pero números oficiales de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2003) reflejan toda la envergadura de la destrucción. México tiene una de las tasas de deforestación más alta del mundo con 789,970 hectáreas al año. Eso parece ser un número muy alto, pero ¿cómo nos podemos imaginar esta área? Pues tratémos de hacer unas comparaciones: 789,970 hectáreas equivalen a cinco veces todo el Distrito Federal. Para destruir un área tan grande, se tendrían que cortar cada mes 65,414 hectáreas durante el transcurso de un año, es decir un bosque equivalente a cinco veces el lago de Pátzcuaro; o bien cada día se deberían cortar los árboles de 2,180 hectáreas, es decir, eliminar un bosque como de 3.5 veces el bosque de Chapultepec. O bien, 23 veces el área del Zócalo de la Ciudad de México (91 hectáreas) ¡en sólo una hora!, y cada minuto habría que destruir 1.5 hectáreas, que es una área equivalente a dos canchas de fútbol. Estos

son números válidos para todo México. Pero aquí, localmente, en el gran bosque de agua, el corredor del Chichinautzín, se destruyen 2,400 hectáreas anuales, lo que equivale a una superficie de nueve canchas de fútbol ¡cada día! Eso es impresionante, ¿o no?

Todo esto no sería todavía tan grave si existieran programas eficientes de reforestación. En vez de esto, entran cada semana muchos camiones para sacar la tierra del bosque, tierra de hoja y tierra negra, tal como me la vendieron hace un ratito. Aquí dejaron sus huellas. Se abren muchos nuevos caminos (de hecho todo el bosque parece ser un laberinto gigante), cortando así una multitud de arbustos y árboles jóvenes y frecuentemente uno encuentra áreas rascadas en las cuales ya falta toda la capa arable (capa de humus), con sus semillas, hongos, minerales, hojas y todos los nutrientes del bosque. De hecho, la capa de humus en los bosques usualmente es muy delgada y no llega a un espesor mayor de 10 a 20 cm. En el corredor del Chichinautzín en particular, la capa total del suelo (es decir la capa de humus y los sustratos debajo de ella) es muy delgada, de tal forma que, dependiendo del lugar, se encuentra roca firme a una profundidad de unos centímetros a unos pocos metros. Si tomamos en cuenta que, en promedio, el mismo bosque produce una capa de 0.1 mm de tierra fértil al año (lo cual equivale a un grosor de 8 mm durante el promedio de la vida de un ser humano) la extracción de la tierra del bosque es fatal. Considerando que en un puño de tierra viven más microorganismos que humanos en todo el planeta, “bichos” cuya existencia es crucial para el bienestar de esta biosfera, considerando que el bosque vive esencialmente de esta delgada capa de humus que es rica en nutrimentos y minerales y considerando que se requiere de tanto tiempo para recuperarse, la extracción de la tierra es equivalente a un golpe mortal para este bosque.

¿Y qué? se podría preguntar, ¿por qué debe de preocuparme esto? Si ya no existe este bosque, pues me quedo en mi jardín, disfrutando mi alberca. Yo no necesito este bosque para vivir bien...Sí, quizá por un corto tiempo, sería la respuesta, porque después tu



alberca ya no tendría agua. Los bosques sanos tienen una multitud de funciones muy importantes, como la regulación de la temperatura regional, ya que su follaje absorbe, intercepta y refleja los rayos del sol. Además, al moderar la velocidad del viento, los árboles evitan la erosión del suelo y la formación de tolvaneras. Pero quizá aún más importante para nosotros es que el corredor del Chichinautzin nos provee con el líquido vital, el agua. Casi tres cuartas partes del agua que se consumen en el Distrito Federal y parte de su área metropolitana provienen de esta reserva. Claro, todo Cuernavaca y sus pueblos en los alrededores también sobreviven gracias a la existencia de este bosque.

El agua de lluvia es frenada en su caída por la copa de los árboles, lo cual facilita su paulatina infiltración al subsuelo hasta los mantos freáticos y su escurrimiento hacia arroyos, ríos y lagos. El agua de rocío que se condensa en las hojas fomenta un ambiente húmedo. Además, los árboles impiden que la lluvia erosione los suelos, manteniendo su fertilidad y evitando la formación de aludes, inundaciones y el asolvamiento de ríos y lagos. Sin los árboles y sin la capa de humus, el agua traspasa rápido por la tierra llevándose cada vez un poco del suelo, lavando así el piso del bosque hasta que queda la pura piedra. Y para entonces, esta área ya no tendrá capacidad alguna de proveer agua a toda esta región.

Cinco de las siete lagunas de Zempoala ya están secas. La velocidad con la cual avanzan los talamontes es impresionante y al parecer los costalitos de tierra del bosque también se venden bien. Entonces, vale preguntar ¿cuánto tiempo nos queda? ¿Cuándo hay que huir de Cuernavaca o del D.F.? Pues si se sigue

así, en muy pocas décadas. Ya no queda suficiente tiempo para nuestros hijos. ¿Y cuántas personas sacan provecho de esta destrucción en gran escala? ¿100, 200 o quizá 300? Seguramente muy pocas, considerando que millones de personas quedarán gravemente afectadas. ¿Y cómo es posible que tan pocas personas, sin permiso, destruyan el futuro de millones de otras? La verdad ¡no lo sé! Solo sé que cuando regresé a mi coche, automáticamente abrí la cajuela y saqué los costalitos que había comprado hace poco. Dejé la tierra justo donde debería estar, en el Corredor de Chichinautzin, el gran bosque del agua, nuestro amigo que necesita ahora de nuestra ayuda. Y nosotros necesitamos de él para asegurar nuestro futuro. Conduciendo hacia abajo, estuve pensando en mis plantas que requieren el cambio de maceta. Ya sé, pondré un recipiente para iniciar una composta y generar mi propia tierra de primera calidad. ¿Y si todos hicieran lo mismo? ¿Y si todos hiciéramos composta con los desechos orgánicos? Pues en este caso la gente que vende la tierra del bosque no tendría clientes.

Es más, si la gente que extrae de manera ilegal la tierra y la madera del bosque se dedicara a compostar, podría ganar el doble. Primero, podrían cobrar por recoger la basura orgánica de jardín en Cuernavaca, que el servicio normal no acepta. Compostando esta gigantesca cantidad de materia orgánica que se acumula diariamente, se ganaría de nuevo vendiendo la tierra de jardín de primera calidad que se obtendría de este proceso. Y así, ¡no solamente unas pocas personas se verían beneficiadas, sino también el gran bosque de agua y por lo tanto todos nosotros!

¿Son los detergentes biodegradables un peligro para la salud pública?

María Teresa Viana

Universidad Autónoma de Baja California

Rafael Vázquez Duhalt

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

DETERGENTES

Los detergentes son surfactantes utilizados masivamente en todo el mundo. Desde hace décadas estos compuestos han sido cuestionados por su impacto al medio ambiente. Por ejemplo, los detergentes fosfatados están siendo prohibidos debido a la contaminación de ríos y lagos por estos compuestos de uso doméstico e industrial. La dispersión de detergentes fosfatados provoca la eutroficación de estos cuerpos de agua. En ecología, el término eutroficación designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema, específicamente al aporte masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático que provoca un crecimiento desmedido de microorganismos y plantas. Por esta razón, los detergentes fosfatados están siendo sustituidos por detergentes basados en etoxilatos de nonilfenol. Si bien estos compuestos no contienen fosfatos y son biodegradables, no están libres de un impacto importante al ambiente.

Los etoxilatos de nonilfenol parecen ser inocuos y no tóxicos. Sin embargo, cuando estos detergentes son dispersados en el ambiente, sufren transformaciones causadas por acción de microorganismos naturales, hongos y bacterias, liberando nonilfenol. En los últimos años se ha detectado que el nonilfenol tiene funciones de alterador de sistema endócrino de los animales. Este compuesto pertenece a los muy conocidos y peligrosos Compuestos Disruptores Endócrinos o CDE.

DISRUPTORES ENDOCRINOS Y NONILFENOL

Los alteradores o “disruptores” endócrinos, son llamados así por su capacidad para alterar de manera significativa el metabolismo hormonal de los seres vivos. Esto lo hacen mimetizando o imitando a importantes hormonas y, entonces, alterando la fisiología de los organismos. Los disruptores endócrinos pueden alterar varios procesos metabólicos,

impidiendo o incrementando las funciones metabólicas de un organismo. En este caso, el nonilfenol es catalogado como un disruptor sexual al caracterizarse por mimetizar al estrógeno, hormona universal femenina que se encuentra en todo organismo animal. Su permanencia en el ambiente da por consecuencia una alteración en los procesos metabólicos de feminización de las poblaciones naturales. Se ha demostrado que la presencia de nonilfenol es capaz de cambiar de sexo a batracios (ranas). Por lo anterior, es un contaminante de riesgo para la salud pública.

Estudios recientes reportan la existencia de residuos importantes de nonilfenol en concentraciones de hasta 81 nanogramos por metro cúbico en la atmósfera; hasta 644 microgramos por litro en aguas superficiales y hasta 13,700 microgramos por kilogramo en suelos (Vázquez-Duhalt et al., 2006, *Appl. Ecol. Environ. Res.* 4: 1-25).

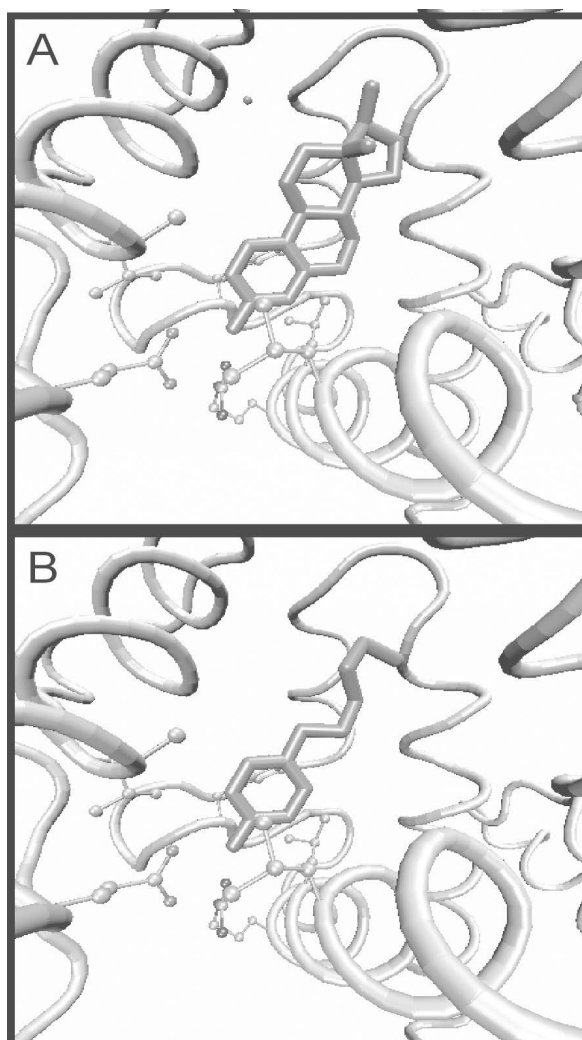
Si bien existen algunos estudios acerca de la presencia y permanencia de este compuesto en el medio ambiente, un estudio sobre su efecto a través de la cadena trófica se está llevando a cabo con la participación de un grupo de investigadores de diversas instituciones coordinados por el Dr. Rafael Vázquez-Duhalt de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Dra. María Teresa Viana y el Dr. Gabriel Correa, ambos de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). En este proyecto, además participan otros investigadores del Centro de Investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Este estudio consistió en monitorear al nonilfenol a través de la cadena trófica y evaluar su efecto en cada nivel. La presencia del contaminante en el agua indujo a una acumulación de éste en las microalgas (organismos vegetales minúsculos) las cuales sirvieron de alimento a Artemias (crustáceos de menor tamaño) y éstas a su vez fueron alimento de peces.

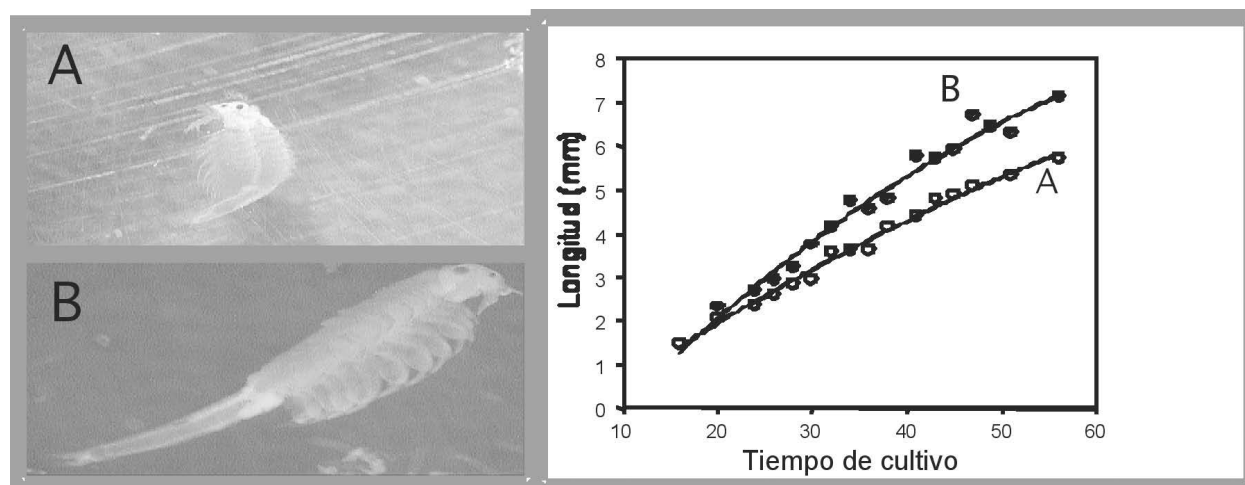
Es así que la microalga *Isochrysis galbana* fue capaz de bioconcentrar este compuesto hasta 6940

veces en donde el 77% del nonilfenol inicial es acumulado intracelularmente tan solo después de 1 hora de incubación. Posteriormente el crustáceo *Artemia franciscana* mostró un crecimiento 25% mayor cuando se alimentaron con microalgas contaminadas con nonilfenol a diferencia del control sin éste, y con un incremento en la respuesta de maduración sexual de las hembras. Como hecho curioso, aquellas Artemias gigantes lograron degradar casi todo el nonilfenol ya que solo se detectaron niveles traza del componente. Si bien dichas Artemias como tal ya no mostraron ningún efecto sobre los peces, éstos al encontrarse en la cima de la cadena trófica pueden estar afectados si ingieren organismos con este compuesto acumulado. Además, los peces pueden absorber directamente del agua los disruptores endócrinos, como ha sido anteriormente reportado.

Las conclusiones de este trabajo muestran que la contaminación por detergentes de etoxilatos de nonilfenol deben de ser catalogados como un riesgo para la salud y para el ambiente. Estos detergentes son transformados en la naturaleza a compuestos alteradores del sistema endócrino, pudiendo provocar la feminización de poblaciones y alterando los equilibrios ecológicos. La bioacumulación del contaminante potencia su impacto ambiental. Es importante estudiar la acumulación y el transporte a través de la cadena trófica en diferentes ecosistemas. Si bien las Artemias son muy eficientes en lograr limpiar este compuesto dentro de su organismo, no sin causarles alteraciones del crecimiento, habrá otros que no lo sean y que sirvan también como alimento a los peces y finalmente al hombre.



A) 17- β -Estradiol (estrógeno) ligado a su receptor.
B) Nonilfenol ligado al receptor del estradiol.



El crustáceo *Artemia franciscana* alimentado con (A) microalgas no contaminadas y (B) microalgas crecidas en presencia del contaminante y disruptor endócrino, nonilfenol.

Plásticos y contaminación ambiental

Guadalupe Espín

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Los plásticos son materiales sintéticos derivados del petróleo, aunque algunos se pueden obtener a partir de otras sustancias naturales.

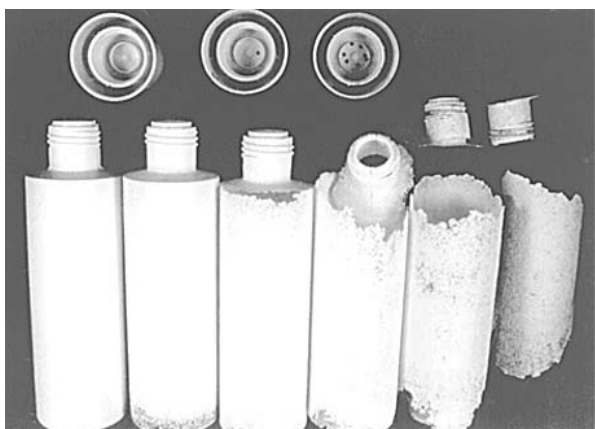
Algunas de las propiedades de estos compuestos que los han hecho tan ampliamente usados son: la facilidad con que pueden ser trabajados o moldeados, su impermeabilidad, su baja densidad (pesan poco en relación a su volumen, son “livianos”), su baja conductividad eléctrica, su resistencia a la corrosión y a la intemperie, su resistencia a diversos factores químicos y biológicos, y en buena medida, su bajo costo. La basura generada por las actividades humanas hasta mediados del siglo XX consistía principalmente en desechos biodegradables o reciclables. Al incorporarse el plástico a la vida cotidiana, una parte considerable de los desechos producidos comenzó a acumularse en el ambiente, precisamente por la resistencia de los plásticos a la corrosión, la intemperie y la degradación por microorganismos (biodegradación). Anualmente se producen varios millones de toneladas de plásticos a nivel mundial. En México, el consumo anual de plásticos por habitante en el 2005 se estimaba en 49 kg. Del total consumido, mas de 1 000 000 de toneladas por año se convierten en desecho.

La degradación de los plásticos sintéticos es muy lenta. La descomposición de productos orgánicos tarda 3 ó 4 semanas; la de telas de algodón, 5 meses; mientras que la del plástico puede tardar 500 años. La “degradación” de estos plásticos simplemente genera partículas de plástico más pequeñas que, a pesar de ya no ser evidentes, se acumulan en los ecosistemas. Al respecto, estudios recientes sobre la presencia de “microplásticos” o fragmentos de plástico

de tamaño inferior a 5 milímetros, que probablemente provienen de la fragmentación de objetos de plástico más grandes, han demostrado que éstos se están acumulando de forma considerable en los mares. En arena de playas y estuarios son muy abundantes los microfragmentos de acrílico, polipropileno, polietileno, poliamida (Nylon), poliéster, polimetacrilato, etc. La presencia de estos plásticos en los mares es variable, pero hay reportes de abundancia de 3 a 5 kg/km², con registros de hasta 30 kg/km². Lo que sí es seguro es que esa cantidad aumenta considerablemente cada año. En el norte del océano Pacífico se ha determinado que la cantidad de microplásticos se ha triplicado en la última década, y cerca de la costa de Japón la cantidad se multiplica por diez cada 2-3 años. La existencia de residuos plásticos en los mares es más que un problema estético, pues representa un peligro para los organismos marinos que sufren daños por ingestión y atragantamiento. Se calculan en cientos de miles las muertes de mamíferos marinos al año por esta causa. En aves se determinó que 82 de 144 especies estudiadas contenían fragmentos de plástico en sus estómagos y en algunas especies hasta el 80% de los individuos los presentan. Además, se ha demostrado que los plásticos acumulan compuestos químicos tóxicos como los bifenilos policlorados, el diclorodifenil dicloroeteno y los nonifenoles, que no son muy solubles en agua y por esta razón se adhieren y se acumulan en los plásticos. Se ha demostrado que organismos marinos planctónicos, animales filtradores y aquellos que se alimentan de detritos, ingieren estos plásticos y en muchos casos éstos quedan atrapados en sus tejidos. Aún no se ha determinado si de esta manera es posible que compuestos tóxicos contaminantes se bio-acumulen y entren en la cadena alimenticia, pero se piensa que es posible.

Otra parte de la problemática consiste en que una gran cantidad de basura, incluyendo los plásticos, es desechada en barrancas, ríos, calles, etc. Algunas estimaciones hablan hasta de un 30%. En México se estima que de los plásticos que son desechados se colecta únicamente el 12%.

La problemática generada por el uso indiscriminado de plásticos sintéticos y su persistencia en el ambiente ha estimulado la investigación para el desarrollo de nuevos materiales y métodos de producción que permitan generar plásticos degradables que presenten las mismas propiedades, pero que tengan un periodo de degradación más corto. Dentro de estos se encuentran los polihidroxialcanoatos (PHAs), que son poliésteres



Biodegradación de botellas de plástico hechos con PHAs.

naturales producidos por bacterias.

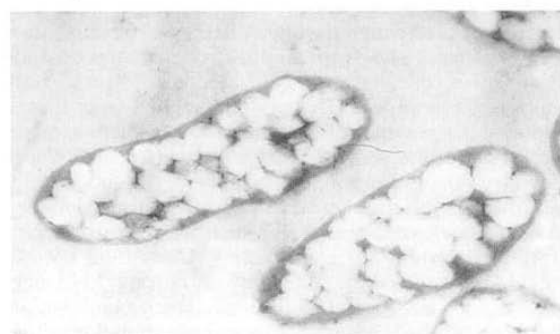
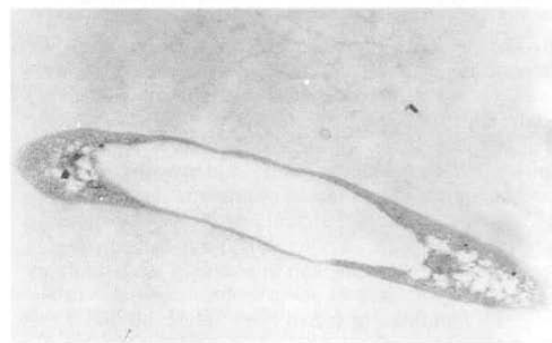
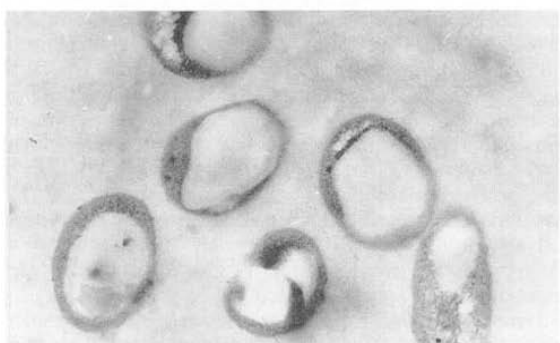
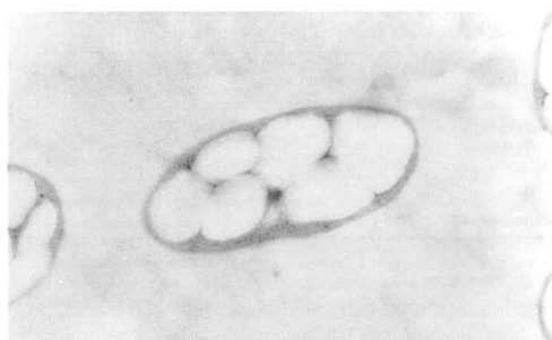
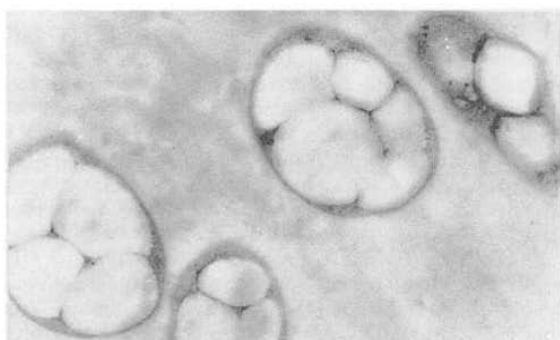
Se han reportado más de 300 bacterias capaces de producir PHAs. Estas bacterias los producen a partir de sustratos orgánicos, como carbohidratos (glucosa, sacarosa), aceites, alcoholes, ácidos orgánicos, hidrocarburos, y los acumulan en grandes cantidades dentro de la célula bacteriana en forma de gránulos (ver figura).

Los plásticos naturales, debido a que son producidos por seres vivos mediante reacciones enzimáticas, también son susceptibles de degradación por sistemas biológicos, ya que han estado presentes en el ambiente desde hace mucho tiempo, y así como han evolucionado organismos capaces de producirlos, también lo han hecho organismos con capacidad para aprovecharlos, degradándolos para obtener energía y nutrientes. De hecho, las mismas bacterias que los producen como reserva de alimento, deben ser capaces de degradarlos eventualmente para utilizarlos. En el caso de los PHAs, éstos son completamente

degradables, produciendo en este proceso agua y bióxido de carbono (se puede producir metano bajo ciertas condiciones), sin dejar residuos indeseables.

Así como son abundantes en la naturaleza los organismos capaces de producir PHAs, también lo son aquellos capaces de degradarlos. Los grupos de organismos con representantes capaces de “comer” PHAs son las bacterias y los hongos. Para dar una idea de la velocidad con que pueden ser degradados estos materiales, una botella de plástico enterrada en suelo o en una composta tardaría unos tres meses en degradarse.

Aunque ya se producen industrialmente, uno de los problemas para el desarrollo de los polímeros biodegradables naturales como sustitutos de los plásticos convencionales, es que los plásticos derivados del petróleo son muy baratos, lo que hace que los procesos de producción de plásticos biodegradables no sean competitivos desde un punto de vista meramente económico.



Gránulos de PHAs en el interior de células bacterianas.

Contaminación en ambientes hipersalinos: un desafío ambiental

Dayanira Paniagua Meza

Estudiante de Maestría, Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Rafael Vázquez Duhalt

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Cuando vamos a alguna costa del golfo de México, encontramos paisajes naturales hermosos compuestos por playas, estuarios, lagunas, humedales o pantanos; pero pocas veces nos detenemos a pensar en lo que estos cuerpos acuáticos representan a nivel ambiental y biológico. Muchos de estos ambientes tienen características peculiares que hacen que en su flora y fauna encontremos una diversidad única, distinta a la que encontramos en mares o cuerpos de agua dulce.

Este es el caso de los ambientes *hipersalinos*, que son unos de los ambientes menos estudiados y más sorprendentes. Los orígenes de estos ambientes son diversos, sin embargo, podemos decir que, en general, se forman cuando un cuerpo continental de agua

salada, pierde agua por evaporación, aumentando así la concentración salina; esto puede darse de manera natural o artificial. Algo así como cuando dejamos hervir los frijoles mucho tiempo y se vuelven salados.

En estos ambientes encontramos una gran diversidad de organismos capaces no solo de sobrevivir en esas salmueras sin hacerse “pasitas” sino que viven muy cómodamente; ¡cosa que no cualquier microorganismo puede hacer! Entre ellos podemos encontrar algunos hongos, bacterias y arqueobacterias llamados *microorganismos halófilos* (halos = sal, filos = amantes).

A últimas fechas, se está explorando la diversidad de estos microorganismos a fin de investigar posibles





aplicaciones biotecnológicas. Una de estas aplicaciones es la biorremediación, la cual consiste en el uso de organismos capaces de *degradar*, o sea, comerse, los contaminantes de la zona, convirtiéndolos en compuestos menos tóxicos y/o fácilmente *degradables* por otros microorganismos del lugar.

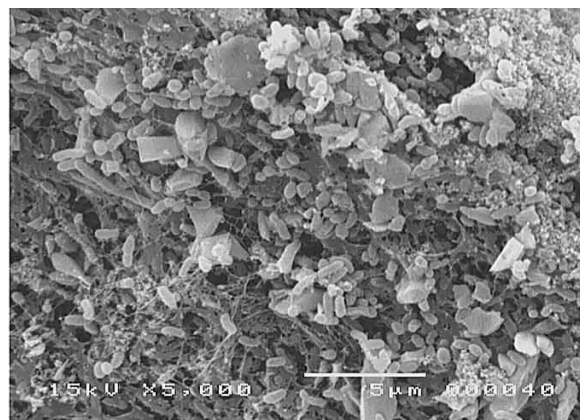
Algunos de estos contaminantes son los llamados *hidrocarburos*. Pero, ¿cómo llegan estos hidrocarburos a los ambientes hipersalinos? Pues bien, ahí van algunas pistas...

... ¿Recuerdan esa visita a la costa del golfo donde al fondo se observan plataformas petroleras? O ¿cuántas veces no hemos despertado con la nueva noticia de que “hubo otro derrame petrolero en el mar, otro barco encallado, algún ducto perforado...”?

¡Correcto! El petróleo y sus derivados son mezclas complejas de distintos tipos de *hidrocarburos*. México es el quinto productor de petróleo del mundo, por lo que naturalmente, nuestras costas son constantemente contaminadas con hidrocarburos provenientes tanto de derrames accidentales, como de los procesos de extracción. Lo que hace que estos compuestos, sean algunos de los contaminantes más abundantes, y no solo eso sino también de los más tóxicos; y aunque los mares no son ambientes hipersalinos, siempre podemos encontrar alguno cerca del mar: como son los pantanos alejados, estuarios o pequeñas lagunas

que al instante se ven impactados ambientalmente.

El uso de *microorganismos halófilos* para la *biorremediación* de estos ambientes hipersalinos, es un campo de investigación muy poco explorado. En el Instituto de Biotecnología de la UNAM, estamos llevando a cabo la investigación de nuevos *microorganismos halófilos* capaces de degradar distintos *hidrocarburos*; encontrando, sorprendentemente, que las bacterias estudiadas tienen la capacidad de degradar algunos de los hidrocarburos más persistentes y tóxicos que se pueden encontrar en estos ambientes contaminados.



Biorremediación de suelos salinos

Omar Pantoja

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Bronwyn J. Barkla

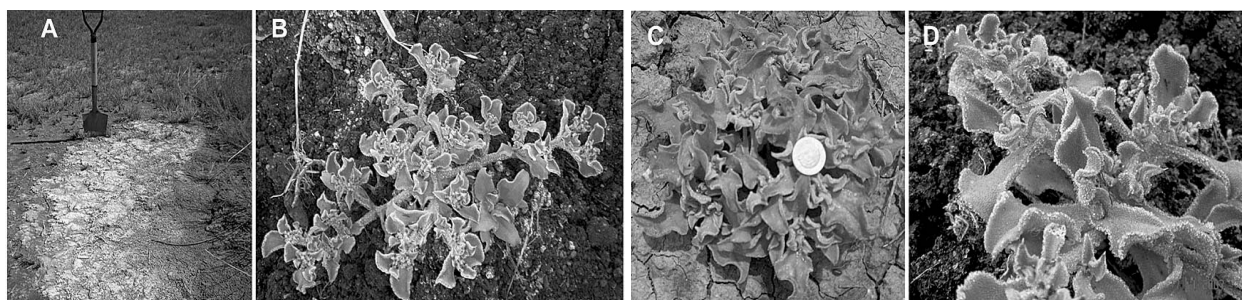
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Debido al aumento constante de la población mundial, se espera que la demanda por alimentos aumente en los próximos años. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha estimado que la demanda de productos agrícolas para el año 2030 será cerca de un 60% mayor que en la actualidad. Más del 85% de esta demanda adicional se presentará en los países en desarrollo debido principalmente a que el aumento en la población ocurrirá en estos países. En el pasado, la productividad agrícola ha aumentado de acuerdo a las necesidades crecientes por alimento a nivel mundial, debido principalmente a la inclusión de áreas nuevas de cultivo, sin embargo, esta disponibilidad es limitada. Una limitación adicional es el aumento en la demanda de espacios para uso industrial y residencial. Aún más alarmante, es el hecho de que las áreas agrícolas actuales se encuentran en procesos de degradación por el uso continuo a que están expuestas. Esta degradación ocurre actualmente a un paso tan acelerado que uno de los principales retos que se tiene que cumplir para poder alcanzar la demanda de alimento futura es no sólo detener, sino revertir el proceso de degradación de la tierra y recuperar áreas agrícolas que se encuentren abandonadas.

La salinización del suelo se ha identificado como uno de los factores importantes en la degradación del suelo, que de acuerdo con la FAO, de los 230 millones de hectáreas de suelos irrigados, 45 millones están actualmente afectadas por la salinidad. Se estima que anualmente, cerca de 1.5 millones de hectáreas de tierras irrigadas quedan inutilizables por los efectos de la salinidad, resultando en una pérdida económica cercana a los once mil millones de dólares. La salinización de los suelos (principalmente por

sales de sodio) ocurre cuando las sales disueltas en éstos se mueven hacia la superficie como efecto del desplazamiento de los mantos freáticos hacia niveles superiores, causado entre otros factores por la ausencia de vegetación con raíces profundas, al empleo de agua de riego de baja calidad y alto contenido de sales (aguas residuales), o a la elevada evaporación del agua empleada en el riego, particularmente en zonas áridas o semiáridas del planeta. En México, 30% de los 5.5 millones de hectáreas destinadas a la agricultura sometida a irrigación presenta problemas de salinidad, un problema importante ya que estas áreas son las de mayor productividad. El mantenimiento de la productividad de los suelos agrícolas requiere que los efectos que causan la degradación de aquéllos esté balanceada con prácticas de conservación o reclamación de áreas abandonadas. Métodos convencionales para la desalinización de los suelos incluyen la remoción física, lavado o drenado de los suelos afectados; o métodos alternativos como los biológicos que incluyen la aplicación directa de desechos animales o composta para reducir los efectos nocivos de la salinidad. Desafortunadamente, el empleo de estos métodos se ve limitado por los altos costos asociados a su aplicación, o a la disponibilidad de agua libre de sales, en el caso del lavado de los suelos, una limitante muy importante en países donde el suministro de agua es restringido. Debido a estas restricciones o limitantes, es necesario desarrollar métodos alternativos de bajo costo para recuperar los suelos afectados por la salinidad.

La *fitorremediación*, es una metodología que fue desarrollada en los años 1990 para el mejoramiento o recuperación de suelos afectados por contaminantes, como metales pesados incluyendo zinc y cadmio,



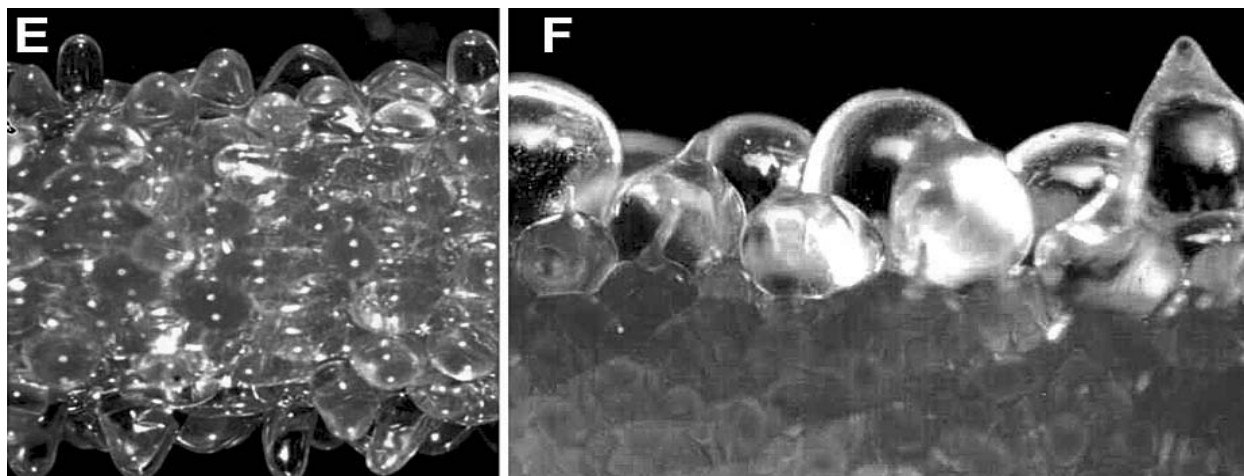
BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS SALINOS EN EL LAGO DE TEXCOCO. A) Suelo fuertemente afectado por la salinidad. B), C) y D) Plantas de *Mesembryanthemum crystallinum* (conocida como "hielitos") desarrollándose en suelos similares al mostrado en A).

mediante el empleo de plantas capaces de absorberlos y almacenarlos en su interior, y así, removerlos de los suelos afectados. Varias son las características que una planta debe poseer para ser empleada en la fitorremediación de suelos; dentro de las más importantes, poseer una biomasa (tamaño) grande donde pueda almacenar los compuestos tóxicos del suelo; idealmente, que ésta corresponda a la parte aérea (tallo y hojas) para facilitar su cosecha, y que su ciclo de vida sea corto.

Durante los pasados 15 años hemos estudiado a nivel celular las propiedades que posee la planta *Mesembryanthemum crystallinum* (planta nativa de Sudáfrica, conocida comúnmente como “hielitos”) que le permiten desarrollarse en suelos salinos (halófitas). Una característica especialmente importante de ésta planta, es la capacidad que posee para acumular al sodio casi exclusivamente en las hojas, actividad que se ve estimulada cuando el contenido de sales de sodio en el suelo es elevado, cercano a la mitad de aquel que se encuentra en el agua de mar.

Para la mayoría de las plantas, incluyendo las de importancia agrícola, la presencia de un exceso de sales en el suelo previene la absorción de agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo; la acumulación de sodio en su interior resulta tóxica para los procesos metabólicos de la planta. La halófitas *M. crystallinum* ha desarrollado mecanismos adaptativos que le permiten absorber el agua presente en suelos salinos y acumular a las sales de sodio en sus órganos aéreos. En las células de las hojas, el sodio es acumulado dentro de la vacuola (un compartimento intracelular delimitado por una membrana que funciona como basurero de la célula, y que ocupa 90-95 % del volumen celular), removiéndolo así del citoplasma y previniendo su toxicidad. Esta planta también ha desarrollado células especializadas, las *células vejiga*, presentes en el envés de las hojas y en los tallos (ver imágenes), que sirven como sitios adicionales de almacenamiento de agua y sales. Estas células son las que le dan el nombre común a esta planta, ya que al reflejar la luz dan la apariencia

de cristales de hielo. Las propiedades únicas de esta planta sugieren su potencial empleo biotecnológico en la biorremediación de suelos salinos donde pocas especies pueden desarrollarse. Esta planta posee una biomasa importante, en el campo, un individuo puede alcanzar un peso fresco de hasta 20 kg, cubriendo un área cercana a 1 m², bajo condiciones óptimas de crecimiento. La planta acumula al sodio en las partes aéreas, lejos de la raíz, facilitando su cosecha, y por lo tanto, la remoción efectiva del sodio del suelo a un costo reducido. Otra de las ventajas asociadas con esta halófitas es la duración relativamente corta de su ciclo de vida, el cual es de aproximadamente 16 semanas, desde la germinación hasta la floración, lo cual permitiría realizar tres periodos de cultivo y así, acelerar la recuperación de los suelos afectados. Esta planta puede acumular hasta 23 g de sodio por kilogramo de peso fresco en el invernadero, cuando es expuesta a una solución equivalente a agua de mar diluida a la mitad, lo cual sugiere, que bajo condiciones similares, existe la posibilidad de remover cantidades importantes de sodio del suelo y ayudar así a su recuperación. Consideramos que la biorremediación de suelos salinos mediante el empleo de la halófitas *M. crystallinum* es un método sencillo que puede ser aplicado directamente por los agricultores con un mínimo de recursos y fácil de implementar. El empleo de esta planta ofrece otras ventajas adicionales como la de cubrir áreas no agrícolas donde los niveles elevados de salinidad previenen el desarrollo de otras especies vegetales, evitando así la erosión de los suelos y reduciendo la contaminación del aire (polvo). La biomasa generada en estas áreas podría ser empleada como alimento para ganado, cubriendo así los requerimientos de sodio de los animales, que de otra forma necesita ser suplementado a su dieta debido al bajo contenido de sodio de la mayoría de las plantas que se emplean para este fin; alternatively, se podría explorar su uso como vegetal en la dieta de los humanos, como una verdura exótica, como ocurre actualmente en ciertas partes del mundo.



CÉLULAS VEJIGA DEL TALLO (E) Y DE LA HOJA (F) donde la acumulación de sodio alcanza concentraciones mayores a las del agua de mar.

Reflexiones sobre el cambio climático

(Si eres el último, ¡APAGA LA LUZ!)

Kurt Bernardo Wolf

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Cuando era niño, no prestaba mucha atención al clima. Había tiempos en que hacía calor, tiempos en que llovía y tiempos de frío en la Ciudad de México. Desde la secundaria, relacioné el azul pálido del cielo de las mañanitas gélidas de diciembre con las mariposas en el estómago que me producían los exámenes finales del año, que entonces se hacían a principios del invierno. Con el tiempo, el azul pálido fue tomando cierto tinte de petróleo aunque, cuando estudiaba en Ciudad Universitaria, muchas mañanas aún podían verse los volcanes nevados, enmarcados por la torre de rectoría y la biblioteca. Me gustaba el alpinismo, y sucedió que fui reclutado por geofísicos de la UNAM como sherpa (cargador nepalí) para hacer mediciones de los glaciares de la Iztaccíhuatl, investigación que se llevaba a cabo como parte del primer Año Geofísico Internacional, en 1964. (Debo haber sido el sherpa de la mala suerte, porque cada vez que teníamos ya instalados el teodolito y la estadia, descendían las nubes.) El glaciar de Ayolócotl que baja entre las rodillas y el pecho llegaba prácticamente al albergue del mismo nombre, y servía para lavarnos las manos y los utensilios de cocina. El glaciar del Popocatepetl, con las grietas que se formaron durante las erupciones de los años 30s, eran el espectáculo más notable cuando ascendíamos por la cara norte. El glaciar más largo está en el Citlaltépetl; no tenía grietas, pero allí el peligro es el viento. Durante el posgrado y después pude caminar en glaciares de Islandia, Noruega y sobre el único del África (garraspeo de orgullo), en el Kilimanjaro, que desciende de la punta Uhuru (5895m) por la ladera del Kibo, y cuyo grosor en el borde superior, que muestro en la Figura 1 tomada en 1966, estimo que era de seis pisos de alto.

La grandeza de las masas de hielo glacial que permanecen durante todo el año invita a llamarlas nieves eternas. Pero son también como el canario enjaulado del cual se servían los mineros para avisarse de filtraciones del gas metano: si el canario desmayaba, ellos salían rápidamente de ese túnel. En efecto, los glaciares se están derritiendo en todo el mundo. El del Kilimanjaro tiene la muerte anunciada en diez años; según vi en fotografías que me trajo mi hijo, el Ayolócotl ha reducido su área a la mitad, y llegar a su pie es ahora una considerable caminata. El del Popo ya no existe (mayormente por

sus erupciones desde 1985). Los glaciares se encogen en los Alpes, en el Cáucaso, en los Himalayas y en los Andes. Los geofísicos estudian hoy intensamente la evolución de los inmensos glaciares de Groenlandia y la Antártida, porque contienen la mayor parte del hielo continental del planeta. Como en un refrigerador recién desconectado, la temperatura dentro de él aumentará pero se mantendrá a cero grados hasta que todo el hielo del congelador se haya derretido; después se calienta más rápidamente, siguiendo una curva exponencial invertida, hasta llegar al equilibrio térmico con el medio ambiente. El ritmo de calentamiento también aumentará cuando la cobertura de hielo marino del Ártico desaparezca durante los veranos, pues el océano absorberá más y más el calor del Sol. Estamos aún en la fase benigna del cambio climático; la regularidad de las estaciones se siente un tantito alterada; el régimen de lluvias –como el de 2009– se ha vuelto un poco errático, dominado por el reflujo cada vez más frecuente de las aguas tibias del Pacífico, fenómeno conocido como El Niño. Nos enteramos de más huracanes, inundaciones, sequías y golpes de calor en el mundo, en parte por una mayor cobertura noticiosa, y en parte porque realmente los eventos son extremos. Como puede verse en la Figura 2, a mayor temperatura aumenta la probabilidad de golpes de calor aún no vividos [ver referencia 1].

Estamos en las décadas finales de la Era del Petróleo. Todavía parece que la conciencia de su ocaso se reduce principalmente a los científicos y algunos líderes políticos. El Protocolo de Kyoto negociado en 1997 preveía reducir las emisiones mundiales de gases invernadero (principalmente dióxido de carbono y metano) en un 5.2% de su nivel de 1990, aunque los límites de este ajuste no quedaron bien definidos. Como sabemos, fue George W. Bush, quien mal dispuesto y mal aconsejado, retiró a los Estados Unidos de este Protocolo, para seguir el escenario BAU (*Business as usual*), es decir, seguir con los negocios de costumbre. Afortunadamente estas actitudes están cambiando: en diciembre de este año (2009) tendrá lugar una serie de actividades y congresos en Copenhague entre científicos, empresarios y cabezas de gobierno, para estudiar los problemas del parto de una nueva era, definida por la introducción de nuevas fuentes de energía menos

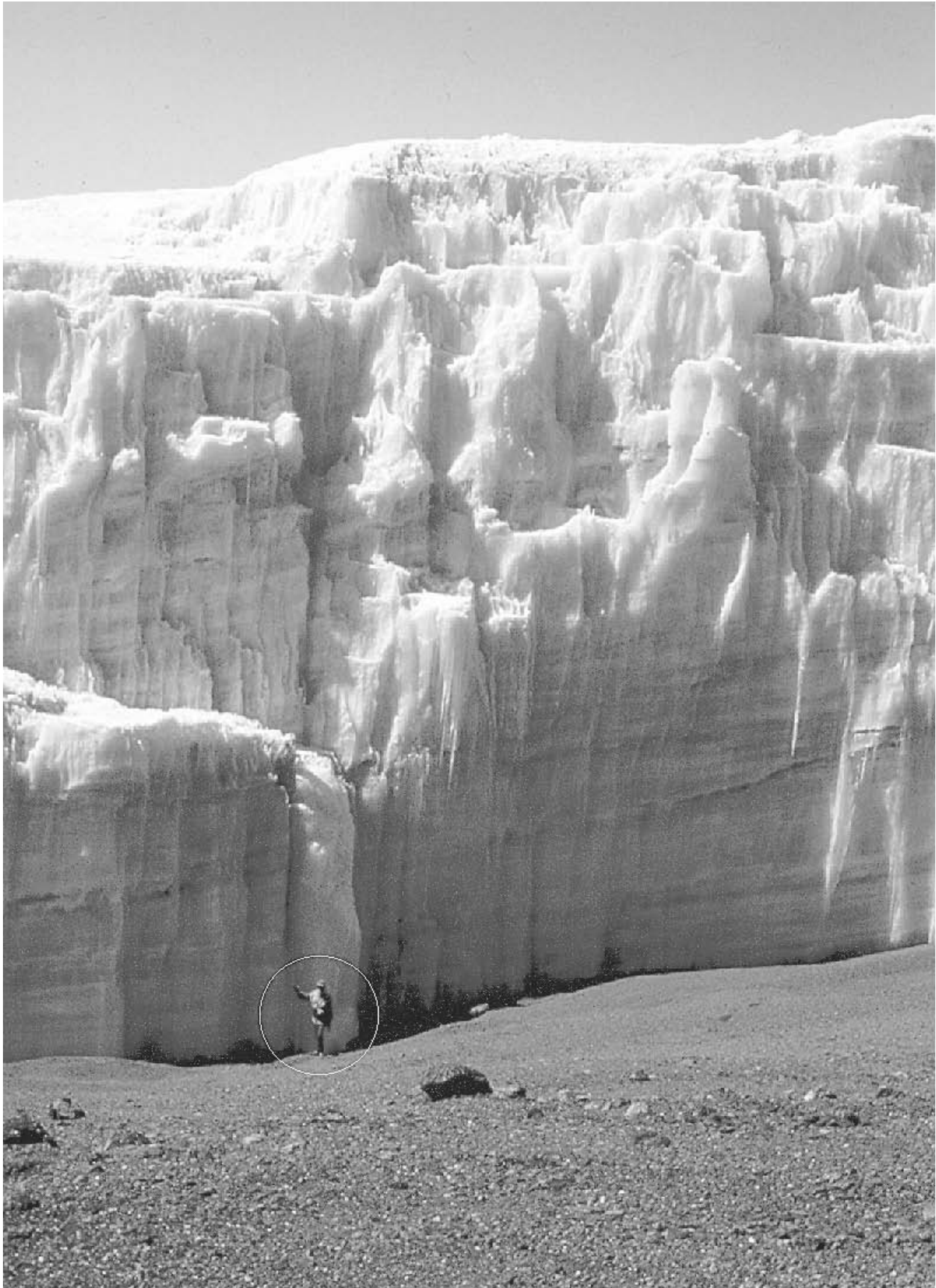


Figura 1. Borde superior del glaciar sur del Kibo-Kilimanjaro en 1966. El círculo blanco indica al autor.

contaminantes, con un clima más cálido y seco, y una humanidad más numerosa y desigual.

No atosigaré a los lectores con números y citas: en internet, “cambio climático en México” produce seis millones y medio de resultados; “climate change” produce casi cien millones. Así que hay dónde leer e informarse, aun en *blogs* de grupos de escépticos fundamentalistas. Creced y multiplicaos, dice Dios en la Biblia, y henchid la tierra. ¡Imposible creer que pueda permitir tanto mal a su creación! A los siete pecados capitales canónicos hay que agregar hoy las búsquedas desmedidas del dinero y del poder, por la emisión de sus gases acompañantes. No sólo los humanos los producen: los millones de bovinos con los que cohabitamos en la tierra sueltan 20% del metano como producto de sus digestiones; ¿podremos prescindir de la carne de res, de la leche y el queso? ¿Y qué con el transporte de alimentos por largas distancias en vez de consumir productos de la agricultura local? ¿Y qué con toda la infraestructura energética, vial, comercial y las redes económicas que se desarrollaron durante el siglo pasado? Éstas son las vertientes del cambio climático que están siendo analizadas activamente. La Secretaría de Hacienda y la SEMARNAT emitieron recientemente un estudio, “La economía del cambio climático en México” cuya síntesis puede leerse en el portal [indicado en la referencia 2]. El costo del cambio climático se define como la diferencia entre el escenario BAU, previsto por extrapolación directa de las estadísticas recientes, y cualquiera de los escenarios generados en computadora donde la temperatura se deja aumentar. Los diversos escenarios así montados deben incluir muchísimas variables: cobertura de la nieve y las nubes, corrientes marinas, efectos de sequía en la agricultura, posibles restricciones futuras en emisiones de gases de efecto invernadero, crecimiento poblacional, cambios técnicos en los vehículos de transporte, dislocaciones económicas, endemias tropicales que llegan a los altiplanos, migraciones humanas y la gobernabilidad de las naciones.

La mayoría de los modelos apuntan para finales

del siglo XXI que las zonas tropicales se tornarán más secas y al menos dos grados centígrados más cálidas, y que el nivel de los océanos ascenderá alrededor de medio metro; o más, si colapsan los glaciares de Groenlandia. Pocas predicciones pueden ser tan precisas como las que se refieren a los glaciares de nuestras latitudes, que se encogerán hasta desaparecer. El fenómeno paralelo de reducción de los bosques es evidenciado por los incendios de coníferas en California, España, Italia y Grecia, cuyos ecosistemas ya resultan inestables, con menos humedad y temperaturas más altas. Serán reemplazados gradualmente por matorrales semidesérticos, irremediablemente. Me preocupa en particular el destino de los bosques que tenemos al norte de Cuernavaca. La agricultura y la mancha urbana los han hecho retroceder, y tanto el escenario BAU como el aumento de incendios estacionales los harán retroceder más. ¿Hasta dónde? Recordemos que la sierra del Chichinautzin es nuestra torre de agua; sin bosques no funciona. Por eso proyectos viales como el Libramiento Nor-Poniente y la carretera a través del Bosque de Agua a Toluca son ominosos. Habrá mayores crecidas de los ríos y menos agua en los manantiales. Dado el poco respeto por los ordenamientos territoriales de nuestra población precaria, de los leñadores de Huitzilac, y también de los fraccionadores clandestinos y los funcionarios corruptos, se puede prever que el Cempoaltépetl tendrá en el futuro menos árboles, y una laguna cada vez más pequeña, o quizá solamente un pequeño pantano.

¿Y qué podemos hacer? Podríamos seguir viviendo en el BAU, y así lo haremos si permanecemos ignorantes de lo que se está gestando en nuestro planeta. Como sociedad informada podemos hacer algo más aunque tal vez no lo suficiente. Aún si dejáramos de emitir desde hoy un solo gramo de gas con carbono, el que ya hay en la atmósfera excede los niveles de los últimos cientos de miles de años, y esto nos garantiza que la temperatura seguirá subiendo durante este siglo y los venideros. Por otra parte, tenemos otro tren de avances en la tecnología agrícola, eléctrica y energética que podría moderar algunas de

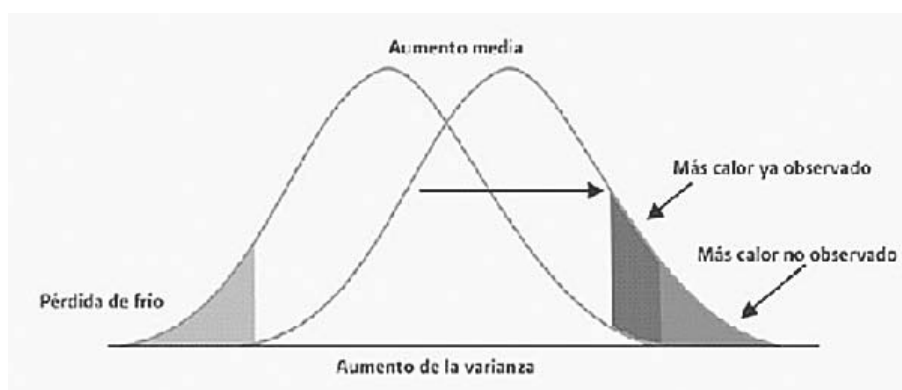


Figura 2. Esquema del efecto que el aumento de temperatura media (eje horizontal) y su variabilidad tienen sobre la ocurrencia de golpes de calor sin precedente [ver referencia 1]. La campana Gaussiana izquierda representa la distribución normal de temperaturas; cuando ésta se desplaza a temperaturas más altas y aumenta su ancho (varianza), se vuelven más probables los eventos climáticos de calor extremo.

las calamidades que vivirán nuestros hijos y nietos en un mundo cada vez menos benigno. No me es claro que el avance de la tecnología pueda ganar esta carrera, o si la Era del Petróleo que disfrutó mi generación será recordada como la última época de oro de la humanidad. Ciertamente, los que hoy vivimos seremos los últimos en conocer los glaciares mexicanos.

Muchas instituciones se están organizando para, al menos, disminuir su consumo energético. La Universidad Nacional Autónoma de México ha tomado medidas para adecuar la iluminación en sus instalaciones con luminarias de bajo consumo, sensores para apagar la luz de corredores, aulas y recintos comunes cuando no hay personas presentes [ver referencia 3]; estos sistemas requieren de inversión inicial, pero ofrecen un ahorro significativo a mediano plazo. Sin embargo, el ahorro en gases emitidos por esta sola acción representa un porcentaje pequeñísimo de toda la emisión mundial. Es necesario multiplicarla por millones, induciendo modificaciones en los hábitos personales de toda nuestra población en el ahorro de energía. Aunque su efecto sea muy

pequeño, un gran número de medidas de poco costo pueden ser puestas en práctica desde ahora, como la que iniciamos en mi instituto: colocar plaquitas en los baños que dicen “Si eres el último, APAGA LA LUZ”.

REFERENCIAS CITADAS EN EL TEXTO

[1] O.C. Doering, J.C. Randolph, J. Southworth y R.A. Pfeifer, “Effects of Climate Change and Variability on Agriculture Production Systems”. (Kluwer Academic Publishers, 2002).

[2] Véase la información en <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Publicacion/Sintesis2009cambioclimatico.pdf>

[3] Véase la información en <http://www.jornada.unam.mx/ultimas/2009/09/13/presenta-unam-plan-para-ahorrar-68-mdd-en-electricidad-en-cu>

P.S. Agradezco al Quím. Guillermo Krötzsch el apoyo en la elaboración de la figura.

Los beneficios de la composta en términos del calentamiento global

Antonio Sarmiento Galán

Instituto de Matemáticas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El uso en la agricultura de los fertilizantes orgánicos, como los que se obtienen en la composta, puede aumentar la cantidad de carbón que se almacena en los suelos agrícolas y contribuir de manera significativa a la reducción de los gases causantes del efecto invernadero (GCEIs); recordemos que la actividad humana ha incrementado considerablemente dicho efecto, ocasionando el Calentamiento Global. Tanto el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático como la Comisión Europea, han reconocido que la captura de carbón por el suelo, es una de las

medidas a través de las cuales se puede mitigar la emisión de los GCEIs. Una estimación del valor potencial de este método indica que si se supone que el 20% de la superficie agrícola en la Unión Europea (UE) se utilizase como trampa de carbón, la medida bien podría llegar a constituir cerca del 9% del total de las reducciones que la Unión Europea tiene como objetivo para mitigar el Calentamiento Global.

Un aumento del carbón orgánico en el terreno arable de tan sólo el 0.15% en un país como Italia, implicaría la captura de carbón en el suelo de una





cantidad igual a la que se emite a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles en un año. El aumento de la materia orgánica en los suelos causa además otros efectos que disminuyen la emisión de GCEIs; tales efectos son: una mejor disposición del terreno, mejor retención de agua, menor producción y uso de fertilizantes minerales y pesticidas y una menor liberación de óxido nitroso.

El principal obstáculo para el aprovechamiento de este potencial consiste en el hecho de que las técnicas de la agricultura industrial están acabando con el carbón en los suelos y con ello, reduciendo su capacidad para capturar más carbón. La pérdida de la capacidad para capturar carbón, sin embargo, no es permanente. El uso de la composta puede contribuir a los dos objetivos primordiales: restaurar la calidad de los suelos y capturar carbón en los mismos. La aplicación de material orgánico en la forma de fertilizantes orgánicos, eventualmente conduce ya sea a la formación de carbón orgánico en el terreno, o bien, a la reducción de la tasa con que se extrae materia orgánica del mismo. En cualquier caso, la cantidad neta de materia orgánica en el terreno será mayor que si no se utilizan fertilizantes orgánicos.

Lo que los fertilizantes orgánicos hacen, es revertir

la pérdida de material orgánico que ha ocurrido en las décadas relativamente recientes, mediante la contribución a la formación de la fracción orgánica estable en los suelos y teniendo como consecuencia la captura de más carbón en dichos suelos durante cualquier lapso.

Los cálculos del beneficio no son sencillos, se debe construir un modelo de la dinámica de la aplicación de la composta y de la formación de materia orgánica balanceado con la mineralización y las pérdidas ocasionadas por el cultivo. El modelo más reciente (publicado en *Waste Management and Research*, Vol. 26, pp. 61-69, 2008) predice además, que los suelos que han sido fertilizados con excremento animal muestran un contenido de carbón orgánico mayor en un 1.34% que los suelos no fertilizados y mayor en un 1.13% que los suelos fertilizados químicamente, todos habiendo sido tratados durante un lapso de 50 años.

Con esta perspectiva, no cabe duda que el esfuerzo que se realiza actualmente en Tepoztlán para separar los desechos orgánicos y utilizarlos en composta, es más que loable pues el beneficio es doble: no sólo se ayuda a la restitución de los suelos, sino que se mitiga la emisión de los nefastos GCEIs.

¿Por qué se cae un puente? y esto... ¿qué tiene que ver con el efecto invernadero y el calentamiento global?

Jorge Uruchurtu Chavarrín

Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP), Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Debido al lamentable acontecimiento ocurrido recientemente (2007), en donde un puente de tránsito vehicular se colapsó y se precipitó al río Mississippi llevándose consigo una gran cantidad de vehículos, incluyendo un autobús escolar, surge la pregunta de ¿por qué se cae un puente? Una respuesta inmediata sería por el peso de la carga vehicular que soportaba en ese momento. Otra por los esfuerzos cíclicos a los que se sometió al puente durante 35 años debido al tránsito vehicular. Más aún el diseño y cálculos de ingeniería que se hicieron para construir un puente de esa edad no contenía ni los avances tecnológicos de las estructuras modernas ni los materiales con los que se cuenta en la actualidad. Por lo tanto estas deficiencias, la cantidad, frecuencia y peso vehicular actual hacen que estas estructuras estén deficientes u obsoletas y que requieran urgente mantenimiento, reparación y adecuación. ¿Pero qué más? Éstas podrían ser parte de la respuesta, pero la historia está incompleta.

La mayoría de las estructuras como puentes, edificios, etc., están hechas de una combinación de concreto y acero mejor conocido como concreto armado o reforzado. La combinación de ambos componentes produce un sistema que presenta excelentes propiedades mecánicas a la tensión y compresión. Además la alcalinidad del concreto (un valor de pH de aproximadamente 13) ofrece condiciones ideales para la pasivación del acero. Ésta es una propiedad del acero por la cual a un pH alcalino se forma una capa de óxido de hierro muy estable y protectora llamada capa pasiva que protege al acero de la corrosión.

Para que se inicie la corrosión en el concreto es necesaria la presencia de un electrólito, la cual es una solución capaz de conducir corriente eléctrica. Cualquier concreto húmedo o mojado contiene suficiente electrólito en sus poros para conducir una corriente eléctrica capaz de causar corrosión. Generalmente este electrólito contiene especies agresivas como el oxígeno, principal oxidante en la naturaleza, cloruros, sulfatos y otros. Mientras más seco esté un concreto, menor será su conductividad dificultando el paso de corriente eléctrica.

Las estructuras de concreto reforzado se encuentran

expuestas al medio de servicio en diferentes condiciones: enterradas o sumergidas como en el caso de las cimentaciones y expuestas a la atmósfera. En el primer caso éstas son atacadas básicamente debido a las especies presentes bajo tierra o en el agua cuando están sumergidas y en la atmósfera en presencia de humedad o de lluvia. El oxígeno del aire, los sulfatos que son productos de reacción del agua de lluvia ácida formada por la presencia de bióxido de azufre en la atmósfera y especialmente los cloruros en zonas costeras son importantes como especies agresivas, y que contribuyen además al descenso de la alcalinidad del concreto.

El concreto es atacado por la lluvia ácida que contiene ácido sulfúrico diluido que reacciona con los compuestos del concreto, formando por ejemplo sulfato de calcio, el cual produce descascaramiento debido a que se forman hojuelas que hacen perder la cohesión del cemento que forma parte del concreto, muchas veces ello produce grietas. Este agrietamiento se puede extender hacia adentro, desde la superficie, contribuyendo a la corrosión, ya que puede proporcionar entrada a la humedad, al agua, al aire y a diversos contaminantes. Las grietas estrechas perpendiculares a la dirección del material embebido por lo general no producen corrosión acelerada excepto en condiciones de exposición severa debido a que la corrosión sería superficial y poco extensa. Las grietas más anchas y en especial si son paralelas al material ahogado en el concreto pueden facilitar un mayor acceso a las sustancias corrosivas y así acelerar el ataque.

Los cloruros son muy importantes, especialmente en zonas costeras por su abundancia. Estos son de un tamaño muy pequeño y pueden penetrar fácilmente a través de los poros llenos de agua del concreto y alcanzar en relativamente poco tiempo la superficie del acero. Debido a sus características, tienen la propiedad de destruir la capa pasiva del metal en el sitio y producir corrosión localizada por “picadura”, la cual puede ser muy importante y detrimental, debido a que la velocidad a la que procede la corrosión bajo estas condiciones no puede calcularse de antemano con lo que no puede estimarse el espesor de diseño de



los elementos metálicos.

El bióxido de carbono es un producto de la combustión, especialmente en el caso de los combustibles fósiles utilizados extensivamente a partir del siglo XIX. Este contaminante se ha ido acumulando en la atmósfera y es responsable del calentamiento global que ha comenzado a producir cambios en el planeta que algunos consideran serán irreversibles.

Se utiliza la denominación "cambio climático", para designar a cualquier cambio en el clima. Para indicar la existencia de influencia humana se utiliza el término "cambio climático antropogénico". Actualmente este cambio climático se le identifica con el denominado "calentamiento global". La mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años en el planeta es atribuible a la actividad humana. Muchos estudios indican que la principal causa del componente de calor inducido por los humanos se debe al aumento de bióxido de carbono, gas de efecto invernadero (otros gases de efecto invernadero son el vapor de agua o el metano).

El efecto invernadero es un término que describe cómo el vapor de agua, el bióxido de carbono y otros gases en la atmósfera ayudan a mantener la temperatura en la superficie de la Tierra. La atmósfera se asemeja a un invernadero permitiendo que la luz solar (radiación solar o de onda corta) pase a través de ella para calentar el planeta, y luego absorbiendo buena parte del calor (radiación termal

o de onda larga) que irradia la superficie de la Tierra e irradiándolo nuevamente de vuelta a la misma superficie. Calentamiento global y efecto invernadero no son sinónimos. El efecto invernadero acrecentado por la contaminación puede ser, según algunas teorías, la causa del calentamiento global observado.

Es razonable esperar que la Tierra se caliente a medida que las concentraciones de gases tipo invernadero en la atmósfera se incrementen por sobre los niveles naturales, en forma similar a lo que ocurre cuando las ventanas de un invernadero se encuentran cerradas en un día soleado y cálido. Este calentamiento adicional es comúnmente llamado calentamiento de tipo invernadero. El calentamiento de tipo invernadero es el Calentamiento Global debido a los aumentos en los gases tipo invernadero en la atmósfera, principalmente por bióxido de carbono y otros contaminantes.

Dado que el concreto es un material poroso, el bióxido de carbono puede penetrar a través de sus poros hacia el interior. Allí se produce una reacción con el hidróxido de calcio que es principal componente del concreto. En presencia del bióxido de carbono se produce carbonato de calcio y con ello ocurre la carbonatación y el valor del pH cae debajo de 9, lo cual hace que se destruya la capa pasiva del metal, provocando la corrosión del acero de refuerzo. Los productos de corrosión aumentan el volumen de las varillas, generando esfuerzos sobre el concreto seco y por consiguiente la propensión del concreto a agrietarse. La difusión del bióxido de carbono sólo es rápida en los poros llenos de aire, por eso cuando el concreto está totalmente saturado de agua como en las condiciones de inmersión, prácticamente no se carbonata. Es por ello que este fenómeno ocurre cuando las estructuras de concreto reforzado están expuestas en la atmósfera.

Por lo anterior, la acumulación del bióxido de carbono y otros contaminantes, producto de la combustión y la actividad humana en la atmósfera, pueden incidir directamente en la degradación, deterioro y en casos extremos el colapso de estructuras de concreto como el caso de la caída de puentes. Esto conlleva considerables gastos de mantenimiento y el riesgo de pérdidas humanas.



¿Sirven las áreas naturales protegidas en México? Sí, pero...

Víctor Sánchez-Cordero

Instituto de Biología, UNAM
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La conservación de la diversidad biológica es una condición indispensable para que un país se desarrolle de manera sustentable. En el caso de México, esto es muy importante, pues es considerado como un país de megadiversidad biológica a nivel mundial; es decir, estamos dentro de los 10 primeros países con mayor diversidad biológica en el mundo. Esto quiere decir que México tiene más especies de flora y fauna que Estados Unidos y Canadá juntos, o que inclusive Rusia, el país más grande en extensión, a pesar de que nuestro país tiene un territorio mucho menor. Las causas por las que nuestro país es tan diverso biológicamente son complejas y no vamos a discutir las aquí. Lo que sí discutimos, es que el privilegio de contar con esta importantísima diversidad biológica, nos obliga a conservarla a largo plazo, para las futuras generaciones. ¿Qué se hace para conservar este patrimonio biológico? Una de las estrategias que se

ha establecido a nivel mundial, es crear áreas naturales protegidas que garanticen, por ley, la conservación de los recursos naturales. Afortunadamente, México cuenta con un sistema de áreas naturales protegidas (ANP) distribuidas por todo el país (ver www.conanp.gob.mx); hay ANP que son federales, estatales y municipales; Sin embargo, surge la pregunta: Sirven las ANP en México? Sí, pero...

Aquí, vamos a referirnos al “sí” y también al “pero...” del título de este artículo. Primero, por qué SÍ sirven las ANP? En un estudio científico reciente, se demuestra que poco más de la mitad de las ANP en México SÍ sirven pues se ha podido disminuir la deforestación, en comparación con sus alrededores y en los estados y municipios donde están ubicadas. Esto quiere decir que si no hubiera estas ANP exitosas, ya hubieran sido deforestadas las áreas donde están ubicadas. Más aún, una buena noticia es que



UN EJEMPLO. Vista panorámica de la Isla Coronados, situada en el Mar de Cortés. Isla Coronados pertenece a un conjunto de islas que son un área natural protegida (ANP) decretada en esa región de México.

el mayor número de ANP que resultaron exitosas fueron las llamadas Reservas de la Biosfera, las cuales permiten que haya poblaciones y actividades humanas enfocadas a la conservación de los recursos naturales. Esto demuestra que es posible tener un programa nacional de conservación de los recursos naturales en un sistema nacional de ANP con la activa participación de la sociedad y no excluyéndola.

Ahora bien, vamos a ver el “pero”. Por lo menos hay 3 “peros” ó retos que hay que tener en cuenta para contar con ANP exitosas que garanticen la conservación de nuestros recursos naturales. 1) En el estudio científico, muchas ANP parece que no fueron tan exitosas en prevenir la deforestación. Por tanto, es necesario analizar cuáles fueron los motivos y problemas que enfrentan esas ANP. Una ventaja es que ya sabemos cuáles ANP son exitosas y cuáles ANP no son tan exitosas. Con esta información, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) puede orientar esfuerzos y recursos a las ANP con más problemas de amenaza de deforestación. En nuestro estado, la Reserva de la Biosfera del Corredor Biológico Ajusco- Chichinautzin es una ANP exitosa, pero requiere de una atención inmediata, pues existe una altísima deforestación en los alrededores que amenaza a esta ANP. Si no se toman medidas al respecto, es muy posible que nuestra ANP pase a una categoría de poco exitosa, lo que significa que va a sufrir una intensa deforestación en su interior. Afortunadamente, la reserva de la Biosfera

Sierra de Huautla es una ANP exitosa que no está tan amenazada como la ANP anterior. 2) Otro “pero” ó reto, es el de proponer nuevas ANP en regiones del país que tengan una diversidad biológica muy alta, pero que no cuenten con ninguna ANP para protegerla y conservarla. Más aún, lo ideal es proponer redes de ANP que estén interconectadas entre sí para permitir que las especies de flora y fauna se muevan entre las ANP, y puedan cumplir con sus funciones biológicas como la reproducción y alimentación. Aquí es donde los biólogos podemos jugar un papel importante; se deben proponer redes de ANP adicionales a las ANP que ya existen, tanto a nivel nacional como estatal y que incluyan la mayor diversidad biológica posible, para así poder conservarla a largo plazo. Una buena noticia es que ya existe un proyecto para proponer una red de ANP en Morelos. 3) El tercer “pero” ó reto, es que se necesita una mayor difusión de la importancia de las ANP a la sociedad. Si más personas conocen la importancia de las ANP en México, existirá un mayor cuidado y protección de éstas. Además, una sociedad convencida de la importancia de las ANP puede exigir, proponer y debatir más activamente con las autoridades para mejorar la situación de las ANP. En los últimos años, se ha avanzado mucho en resolver algunos de estos “peros” ó retos, pero falta mucho aún por hacer. Espero que este artículo haya sembrado en el lector la curiosidad de averiguar más sobre nuestras hermosísimas ANP de México. Ojalá y puedan visitar pronto alguna de ellas.



Mimetismo: la vida no tiene vergüenza de copiar

Otto Geiger

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Isabel M. López Lara

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos

Tanto en la vida humana como en la naturaleza, copiar e imitar son acciones importantes para el aprendizaje y a veces para el éxito. Una de las razones por la que los niños aprenden idiomas rápidamente es porque imitan el lenguaje de su entorno, a veces sin saber qué sentido tiene lo que dicen. ...y en decirlo pueden pretender que sea su propia invención o creatividad. El código ético que siguen artistas y científicos pretende ser diferente. El uso o la cercana imitación de lenguaje, pensamientos, u obras de otros autores o artistas y representarlos como su propio trabajo original se considera como plagio y es algo totalmente inaceptable en un mundo que aplaude y admira a la originalidad.

MIMETISMO: PLAGIO EN LA NATURALEZA

En la Biología ocurre frecuentemente que un grupo de organismos imita apariencias de otro grupo dando así la impresión a un observador que se trata del mismo. Esa imitación se conoce con el nombre de mimetismo. Las serpientes coralillos venenosas

(*Micrurus*) son imitadas por las falsas coralillos (*Lampropeltis*) que son inofensivas. Ambas serpientes tienen bandas alternadas de colores amarillo, rojo y negro, causando que los posibles depredadores las eviten. Estas serpientes pueden distinguirse entre sí, utilizando el viejo dicho: “Rojo y amarillo mata al chiquillo, rojo y negro no hay peligro”. La serpiente mortal coralillo tiene un patrón de bandas en el que el color rojo va junto al amarillo, pero en la falsa coralillo no.

¿ POR QUÉ IMITAR A LA MARIPOSA MONARCA ?

Otro tipo de mimetismo involucra a la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) con su talla relativamente grande y la coloración naranja de sus alas, con nervaduras y márgenes negros. La oruga de monarca se alimenta hasta llegar al estado adulto de algodoncillos (*Asclepias spp*), absorbiendo compuestos tóxicos que contienen esas plantas. Muchas personas suponen que toda mariposa de gran talla y de color naranja y negro es una monarca. La mariposa virrey (*Limnitis*

MONARCA



VIRREY



Figura 1. Mimetismo entre mariposas. La mariposa virrey imita a la mariposa monarca (Fotografías por cortesía del Dr. Renn Tumlinson, Universidad Estatal de Henderson).

archippus) es una especie que se asemeja mucho a la monarca (Figura 1), pero se distingue de ella por ser de menor tamaño y por faltarle la doble fila de manchas blancas que la monarca tiene en el margen de las alas. Además, la virrey tiene una franja transversal negra en las alas posteriores. Hasta hace poco se pensaba que la mariposa virrey solamente imitaba a la monarca en coloración y comportamiento dándose así una mayor protección. Pero en estudios recientes se ha demostrado que la virrey misma tiene muy mal sabor para las aves. En contraste, la “comida monarca” no solamente resulta repugnante para las aves pero además es tóxica. En conclusión, ambas especies tienen mal sabor para los depredadores y la coloración típica protege a todo un grupo de mariposas con coloración similar.

MIMETISMO A NIVEL MOLECULAR

El sistema inmune humano reconoce a biomoléculas formadas por agentes infecciosos (virus, bacterias, o parásitos) como foráneas e intenta eliminar amenazas asociadas a dichas biomoléculas. A veces las biomoléculas de los agentes infecciosos que provocan la respuesta inmune son estructuralmente muy similares a las de los hospedadores y de modo accidental la defensa inmune ataca a las biomoléculas y estructuras asociadas del propio organismo causando enfermedades de tipo autoinmune. Por ejemplo, se piensa que algunos virus que imitan a estructuras de moléculas del sistema nervioso central dan inicio a que el sistema inmune ataque y degrade partes del



Figura 2. El “Bellevue-Stratford Hotel” en Filadelfia en noviembre del 1976 (Fotografía de Jack E. Boucher, *Historic American Buildings Survey*).

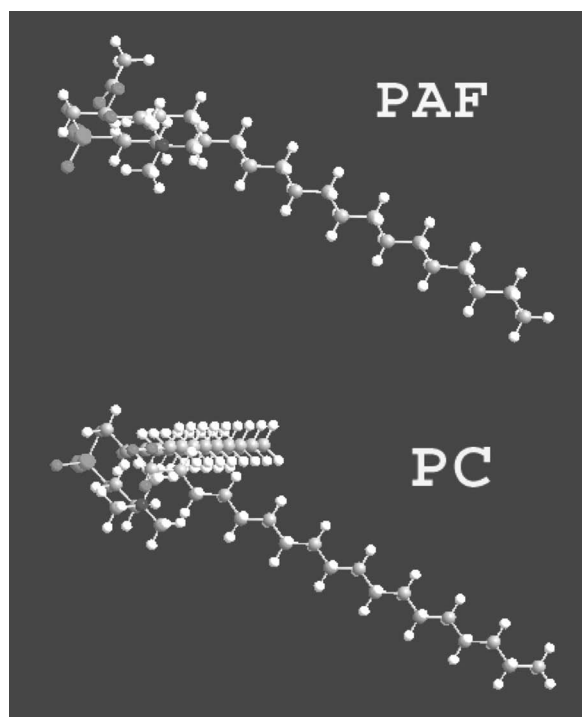


Figura 3. *Mimetismo molecular. La fosfatidilcolina (PC) imita al factor activador de plaquetas (PAF).*

sistema nervioso causando así la esclerosis múltiple. El mimetismo molecular por agentes infecciosos y las subsecuentes respuestas autoinmunes generadas causan otros problemas importantes en humanos como enfermedades del corazón, el reumatismo, aterosclerosis, o la artritis provocada por la infección con la bacteria *Borrelia burgdorferi*. Otros agentes infecciosos imitan estructuras moleculares de sus hospedadores para obtener acceso a vías y caminos normalmente cerrados a ellos. Por ejemplo, la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* forma el lípido fosfatidilinositol manósido que es poco común en bacterias pero que tiene papel señalador en células de organismos superiores. El fosfatidilinositol manósido bacteriano controla que *Mycobacterium* no sea eliminado por la defensa inmune humana y así puede establecerse como infección persistente en humanos, provocando la enfermedad de la tuberculosis.

LEGIONELOSIS EN EL “BELLEVUE”

Muchos hoteles son famosos por su alta cocina, gran calidad de servicio y clientes elitistas. El “Bellevue-Stratford Hotel” (Figura 2), lugar histórico y el hotel más aclamado de Filadelfia, EEUU, lleva una fama más. En julio del 1976, el hotel fue sede de una convención nacional de la “Legión Americana”, mayormente veteranos de la segunda guerra mundial, para celebrar el bicentenario de la declaración de independencia. Poco después, más de doscientas personas que habían estado en el hotel se enfermaron y unas treinta murieron debido a una enfermedad misteriosa tipo neumonía a la

que se denominó “enfermedad de los legionarios” o legionelosis. Un año después, se mostró que una bacteria, ahora denominada *Legionella pneumophila*, estaba ampliamente distribuida en el sistema de agua y de ventilación del hotel y que fue la causa de esta enfermedad misteriosa. Normalmente, la bacteria *Legionella* vive y se multiplica dentro de las amibas. Cuando ataca a los humanos, *Legionella* se adhiere a macrófagos antes de internarse y mutiplicarse en ellos. Los macrófagos son células importantes de la defensa inmune que fagocitan (esto es, que “envuelven” e incorporan a su interior) cuerpos extraños que se introducen en el organismo, como las bacterias. Esos cuerpos extraños son normalmente digeridos dentro del macrófago o presentados en la superficie del macrófago para ser eliminado por otros mecanismos de la defensa inmune. Este camino falla dramáticamente en el caso de *Legionella*.

Durante las infecciones se libera el factor activador de plaquetas (PAF) que se adhiere a receptores específicos para PAF existentes en la superficie de macrófagos y esta unión es una señal para el inicio de la respuesta inmune. En colaboración con el grupo del Dr. Ralph Isberg de la Universidad de Tufts, EEUU, nuestro grupo de investigación describió que *Legionella pneumophila* tiene un lípido poco común en bacterias dentro de su membrana, la fosfatidilcolina (PC o lecitina). En una parte de su estructura, la

fosfatidilcolina es idéntica a PAF (Figura 3) y así imita a PAF para ser reconocida por el receptor PAF. Este mimetismo molecular permite a *Legionella* adherirse vía su fosfatidilcolina al receptor de PAF y ser internalizada al macrófago. Una vez dentro del macrófago, *Legionella* secreta señales que cambian totalmente el programa de la célula hospedadora permitiendo a *Legionella* reproducirse.

DESARROLLO DE NUEVOS ANTIBIÓTICOS

Evidentemente, la fosfatidilcolina de *Legionella* se requiere para provocar la enfermedad de *legionelosis*. La formación de la fosfatidilcolina en *Legionella* ocurre de una manera diferente que en humanos. Por eso, la búsqueda de compuestos inhibidores que específicamente bloquean la formación de la fosfatidilcolina en *Legionella* parece un camino prometedor para el desarrollo de un antibiótico que actúe contra *Legionella*, trabajo que actualmente se realiza en el Centro de Ciencias Genómicas del Campus Morelos de la Universidad Nacional Autónoma de México. Un antibiótico que inhibe la formación de la fosfatidilcolina bacteriana podrá funcionar contra otras bacterias que provocan infecciones persistentes causando brucelosis o boreliosis.



¿ Es la exposición al humo de tabaco ambiental un problema real de salud pública ?

Eduardo Lazcano-Ponce

Instituto Nacional de Salud Pública
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Tonatiuh Barrientos-Gutierrez
Luz Miriam Reynales-Shigematsu

Instituto Nacional de Salud Pública

Mucho se ha escrito acerca de la justificación para crear ambientes 100% libres de humo de tabaco. Diversas perspectivas y puntos de vista han enriquecido la discusión pública a través de argumentos jurídicos, económicos, sociales y de salud pública. En esta discusión, uno de los puntos más debatidos ha sido la justificación científica para prohibir fumar en espacios públicos. A dos años* de la implementación de la Ley General para el Control del Tabaco, es un buen momento para revisar la evidencia científica sobre los daños a la salud derivados de la exposición al humo de tabaco, los argumentos que justifican prohibir fumar en espacios interiores y los esfuerzos legislativos realizados hasta

el momento, identificando los retos a enfrentar en el futuro. En esta primera parte revisaremos la evidencia científica que sustenta el que la exposición al humo de tabaco ambiental sea considerada un problema de salud pública.

¿ES REALMENTE NOCIVO EL HUMO DE TABACO AMBIENTAL?

Esta es una de las preguntas más importantes y frecuentes al discutir la necesidad de prohibir fumar en espacios interiores. El humo de tabaco ambiental sigue siendo humo de tabaco, por tanto, las personas expuestas o “fumadores pasivos” desarrollan

*Nota: este texto se escribió en 2010.



Los niños
expuestos
al humo
de tabaco
desarrollan
con mayor
frecuencia
enfermedades
respiratorias



La exposición al humo de tabaco incrementa 20 a 30% el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y cáncer de pulmón

enfermedades similares a las que experimentan los fumadores. El humo de tabaco ambiental se produce con la combustión del tabaco, liberando más de 4000 sustancias al ambiente, de las cuales 250 son tóxicas o carcinogénicas. El análisis químico del humo de tabaco ha revelado la presencia de elementos radioactivos como el Polonio-210, tóxicos como el cianuro o el tolueno y carcinogénicos como el benceno y el cromo. La presencia de tantas sustancias nocivas hace que el humo de tabaco sea considerado un contaminante de alta peligrosidad. Por ello, la Organización Mundial para la Salud y la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos han establecido que no existen niveles seguros de exposición al humo de tabaco. Es decir, a diferencia de otros contaminantes, como el índice de contaminación IMECA que permite una cierta cantidad de polución en el aire antes de considerarla peligrosa, para el humo de tabaco ambiental cualquier nivel de exposición es considerado riesgoso.

En la actualidad sabemos que la gran cantidad de sustancias nocivas en el humo de tabaco tienen efectos diversos sobre la salud. Al igual que fumar,

la exposición al humo de tabaco es un factor de riesgo para el desarrollo de diversas enfermedades. Durante los últimos 30 años se han realizado estudios científicos que han demostrado que los adultos no fumadores expuestos al humo de tabaco ambiental experimentan un incremento del 20 al 30% en el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares y cáncer de pulmón, comparado con los adultos que no están expuestos. Incluso, el riesgo podría incrementarse hasta en 50% en grupos altamente expuestos al humo de tabaco, como meseros, cocineros y otros trabajadores del sector de la hostelería. El humo de tabaco ambiental es también nocivo para la salud de los niños. Se ha comprobado que los niños expuestos al humo de tabaco desarrollan con mayor frecuencia enfermedades respiratorias, como asma e infecciones, tienen menor capacidad pulmonar y desarrollan infecciones del oído con mayor frecuencia. Además, la exposición al humo de tabaco es causa del síndrome de muerte súbita del lactante o “muerte de cuna”, que ocurre cuando un bebé menor de un año aparentemente sano muere sin causa aparente. Algunos estudios han sugerido que el humo de tabaco

ambiental también podría ser causa de otras formas de cáncer, como cáncer de seno y de nasofaringe, y de otras enfermedades como el infarto cerebral, la aterosclerosis o el enfisema.

¿LA EXPOSICIÓN AL HUMO DE TABACO EN MÉXICO ES UN PROBLEMA REAL DE SALUD PÚBLICA?

En México, la exposición al humo de tabaco ambiental es un problema prioritario de salud pública porque una gran proporción de la población está expuesta a éste contaminante. De acuerdo con la última Encuesta Nacional de Adicciones (ENA, 2008) el 23.3% de la población mexicana está expuesta al humo de tabaco ambiental. Así, más de una quinta parte de la población adulta de nuestro país está experimentando un incremento del 20 al 30 % en el riesgo de sufrir enfermedad cardiovascular y cáncer de pulmón derivado de la presencia de humo de tabaco en nuestros ambientes. Este hecho es de gran importancia porque la enfermedad cardiovascular en México es la segunda causa de muerte en hombres y mujeres y el cáncer de pulmón es uno de los más frecuentes en nuestra población. Aunque no contamos con estimaciones a nivel nacional, la Organización Internacional del Trabajo estima que hasta 200,000 personas podrían estar muriendo cada año a nivel mundial por exposición al humo de tabaco en su lugar de trabajo. Además del enorme costo humano que implica la enfermedad y muerte de tantas personas, la exposición al humo de tabaco ambiental también tiene efectos económicos graves para la nación, ya que implica mayores costos de atención médica y pérdida de la productividad laboral. Así, la eliminación del humo de tabaco de los ambientes públicos, hogares y automóviles, disminuiría substancialmente el número de muertos y la enfermedad entre nuestra población, con beneficios directos a nuestra salud y economía.

Diversos estudios realizados por el Instituto Nacional de Salud Pública de México (INSP) han demostrado la presencia casi universal del humo de tabaco ambiental en lugares públicos y la alta frecuencia de exposición en los hogares mexicanos. Un estudio llevado a cabo en el 2004 monitoreó el humo de tabaco en diversos espacios públicos, incluyendo escuelas, hospitales, centros de transporte, oficinas públicas, bares y restaurantes. En todos los espacios se detectó humo de tabaco, a pesar de que la Ley General de Salud ya prohibía el consumo en escuelas, hospitales y oficinas públicas. Las concentraciones de humo fueron menores en escuelas y hospitales y muy intensas en bares y restaurantes, incluso, las concentraciones en bares fueron las segundas más altas en América Latina. La exposición al humo de tabaco ambiental no solo afecta a los trabajadores de bares y restaurantes. Otro estudio del INSP comprobó que los jóvenes no fumadores que asistían a una discoteca donde se permitía fumar respiraban el humo de tabaco



Los bares y restaurantes de México han mostrado niveles muy altos de exposición al humo de tabaco

equivalente a una cajetilla de cigarros, demostrando que también los clientes de estos lugares podrían experimentar un mayor riesgo de enfermedades.

Aunque la discusión pública se ha centrado en la restricción del consumo en lugares públicos, la exposición al humo de tabaco ambiental es también un problema grave en espacios privados, como el hogar y los automóviles. Un estudio hecho en hogares mexicanos mostró que las concentraciones de nicotina en la orina de mujeres no fumadoras y niños eran más altas en los hogares fumadores que en los no fumadores, demostrando la facilidad con que los componentes químicos del humo de tabaco son absorbidos por la población no fumadora. De manera similar, diversos estudios internacionales han mostrado que los automóviles son sitios donde ocurre exposición al humo de tabaco ambiental de manera intensa. Particularmente, los padres que consumen tabaco en su automóvil mientras trasladan a sus hijos los exponen a concentraciones muy altas del contaminante.

En una segunda entrega se analizará por qué necesitamos prohibir el consumo de tabaco en espacios interiores.

El humo de tabaco ambiental contiene más de 250 sustancias
tóxicas o carcinogénicas



Cualquier grado de exposición al humo de tabaco es
potencialmente nocivo

¿Por qué necesitamos prohibir el consumo de tabaco en espacios interiores?

Eduardo Lazcano-Ponce

Instituto Nacional de Salud Pública
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Tonatiuh Barrientos-Gutiérrez
Luz Miriam Reynales-Shigematsu
Instituto Nacional de Salud Pública

En el artículo anterior analizamos las razones y evidencias que sustentan el que la exposición al humo de tabaco ambiental sea considerada un problema de salud pública. Así, establecimos que el humo de tabaco es un contaminante de alta peligrosidad, causante de enfermedad cardiovascular y cáncer de pulmón en adultos y de diversas enfermedades en los niños. Adicionalmente, establecimos que la exposición al humo de tabaco es muy frecuente en la población mexicana, tanto en hogares como en espacios públicos. En esta segunda parte revisaremos los argumentos que justifican el desarrollo de espacios 100 % libres de humo de tabaco, incluyendo las limitaciones de los medios mecánicos para eliminar los riesgos derivados

de la exposición, las ventajas de los espacios libres de humo y los retos para su implementación en nuestro país.

¿POR QUÉ TENEMOS QUE PROHIBIR FUMAR PARA ELIMINAR LOS RIESGOS DERIVADOS DE LA EXPOSICIÓN AL HUMO DE TABACO ? ¿ POR QUÉ NO CREAR ÁREAS EXCLUSIVAS PARA FUMAR?

Los efectos nocivos del humo de tabaco ambiental son completamente prevenibles si se toman las medidas adecuadas. Sin embargo, existen dos dificultades





Los países que han desarrollado espacios libres de humo de tabaco han experimentado reducciones en el porcentaje de adolescentes que se inician como fumadores

para eliminar los riesgos derivados del humo de tabaco. La primera es que no existen niveles seguros de exposición al humo de tabaco ambiental, por lo que aún cantidades muy pequeñas del contaminante producirían efectos nocivos, teniendo que eliminarlo completamente para asegurar la protección a la salud. La segunda es que dicha eliminación solo puede lograrse a través de la prohibición de fumar, es decir, haciendo que el humo no se produzca. Esto se debe a que el humo de tabaco está compuesto por gases, vapores y pequeñísimas partículas que se trasladan en

el aire con gran facilidad, dispersándose rápidamente en el ambiente y siendo prácticamente incontrolables por medios mecánicos o químicos. Los mecanismos de ingeniería con los que contamos en la actualidad, como la ventilación, la extracción o la separación de áreas, pueden disminuir las concentraciones de humo de tabaco, pero no eliminarlo. Un buen ejemplo de esta limitación son las áreas exclusivas para fumar, que tienen como objetivo supuesto permitir el consumo de tabaco pero evitando el paso de humo a las áreas de no fumar. Aún con los sistemas comerciales más sofisticados que incluyen ventilación, extracción, purificación y aislamiento por presión negativa, se estima que hasta el 20 % del humo de tabaco generado dentro del área de fumar podría escapar al área de no fumar. Es decir, si se fumaran diez cigarros en un área para fumar con los mejores mecanismos de control, aún se respiraría el humo de dos cigarros en el área de no fumar, manteniéndose el riesgo para la salud de los usuarios de ese espacio.

Otra razón para preferir la prohibición a fumar sobre los mecanismos de control parcial del humo de tabaco es el efecto positivo que la prohibición tiene sobre la epidemia de tabaquismo activo. Las empresas tabacaleras han invertido una gran cantidad de dinero para crear la percepción de que fumar es una conducta socialmente deseable, estimulando el consumo de tabaco. En los países que han decidido prohibir fumar en espacios interiores se ha observado un cambio en la percepción hacia fumar, siendo menos aceptable socialmente. Así, los países que han desarrollado espacios libres de humo de tabaco han experimentado reducciones en el porcentaje de personas que fuman, el número de cigarros fumados por día (3 cigarros menos en promedio) y el número de adolescentes que se inician como fumadores. Además, las políticas de espacios libres de humo han sido implementadas voluntariamente en casas y automóviles, disminuyendo la exposición al humo de tabaco ambiental de sus habitantes.

YO SOY UN FUMADOR... ¿TENDRÍA ALGÚN BENEFICIO PARA MI SALUD LA IMPLEMENTACIÓN DE ESPACIOS 100 % LIBRES DE HUMO DE TABACO ?

La mayoría de los fumadores reconoce el riesgo a la salud derivado de la exposición al humo de tabaco, el derecho de los no fumadores a no estar expuestos y apoya el desarrollo de espacios libres de humo. Aunque hasta el momento el desarrollo de espacios libres de humo se ha justificado por la necesidad de proteger la salud de los no fumadores, los espacios libres también podrían beneficiar la salud de los fumadores. Los fumadores están expuestos a concentraciones de humo de tabaco ambiental cuatro veces más altas que los no fumadores. Dado que el riesgo de sufrir cáncer de pulmón se incrementa conforme aumenta la exposición al humo de tabaco ambiental, los fumadores expuestos al humo de

tabaco podrían experimentar un riesgo aún mayor de desarrollar cáncer. Es decir, un fumador que fuma al aire libre respirará menos humo de tabaco ambiental que un fumador que lo hace en un espacio confinado, reduciendo su probabilidad de desarrollar cáncer de pulmón. Así, el desarrollo de espacios libres de humo de tabaco podría tener un efecto positivo en la salud de los fumadores.

¿ CUÁLES SON LOS RETOS QUE ENFRENTAMOS EN EL FUTURO INMEDIATO ?

El desarrollo de la Ley General para el Control del Tabaco ha facilitado la discusión pública sobre la necesidad de generar respuestas eficaces para eliminar la exposición al humo de tabaco ambiental. Aunque la Ley representa un paso adelante en el desarrollo de políticas públicas para el control del tabaco, también tiene algunas deficiencias importantes que deben ser corregidas lo más pronto posible. La Ley apoya el desarrollo de espacios 100% libres de humo de tabaco en todos los espacios públicos, pero permite áreas para fumar en espacios interiores, siempre y cuando éstos no contaminen las áreas adyacentes de no fumar. Dado que no existen mecanismos que aseguren que no habrá contaminación hacia las áreas adyacentes, la existencia de áreas para fumar debería ser eliminada, estableciendo la prohibición para fumar en todos los espacios públicos. La implementación de esta medida a nivel nacional aseguraría la protección a la salud de fumadores y no fumadores, incentivaría la disminución en el consumo de tabaco activo y protegería a las nuevas generaciones de mexicanos de iniciarse en el tabaquismo.

Otro reto importante, que tendrá que ser enfrentado

por la sociedad civil, es la eliminación de humo de tabaco de los espacios privados. Los hogares y automóviles son lugares importantes de exposición al humo de tabaco y el principal sitio de exposición para los niños. Por ello, es importante que las familias desarrollen medidas eficaces para eliminar el humo de tabaco. La única medida eficaz es que todos los miembros de la familia, así como los visitantes al hogar, se abstengan de fumar en espacios interiores. Fumar en la ventana o cuando los niños no están no son medidas eficaces para eliminar el riesgo, ya que el humo de tabaco seguirá contaminando el ambiente.

Finalmente, uno de los mayores retos es la implementación de las medidas dirigidas a eliminar la exposición al humo de tabaco. Proteger la salud de los mexicanos de los efectos nocivos del humo de tabaco ambiental es una tarea que implica la participación de todos los sectores de la sociedad. Es necesario desarrollar una Ley simple, justa y de fácil aplicación, pero sobre todo, necesitamos una Ley que en verdad asegure la eliminación del riesgo a nivel nacional, algo que solo puede lograrse con la prohibición al consumo de tabaco en espacios interiores. Aún con una buena Ley, la participación de los responsables de los espacios públicos, las autoridades sanitarias y la población general fumadora y no fumadora es esencial para asegurar el éxito de las medidas dirigidas a la eliminación del humo de tabaco ambiental. La discusión pública basada en evidencia y el libre intercambio de ideas son mecanismos fundamentales para alcanzar este objetivo. Esperamos que a muy corto plazo la Ley General para el Control del Tabaco sea modificada, eliminando la provisión de áreas interiores para fumar y asegurando la protección a la salud de todos los mexicanos.



No existen niveles seguros de exposición al humo de tabaco ambiental

Los hogares y automóviles son el principal sitio de exposición al humo de tabaco para los niños

¿Puede la tecnología proporcionarnos la salud ?

(respuesta a una inquietud de una lectora, alumna de secundaria)

Alejandro Alagón Cano

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Una lectora de una contribución publicada en *La Unión de Morelos*, estudiante de secundaria, nos envió el comentario y pregunta que se incluye en el recuadro.

Fecha: Lunes, 26 Oct 2009 16:00:57

De: pamela alejo maya

Para: edacmor@ibt.unam.mx

Asunto: comentario del artículo científico del día 26 de octubre

Bueno, me gustó otra vez el artículo. Sí es muy interesante y más que a mi me gusta leer, pero **lo que no entiendo es por qué si ya hay más tecnología, pues hay más enfermedades.** Bueno, eso no venía mucho en el artículo pero es una duda que tengo desde hace mucho tiempo y no sé si ustedes me la puedan contestar.

Me gustaría mucho que sigan poniendo artículos de este tipo porque son muy interesantes. Espero que me contesten la duda que tengo.

Atentamente,

Pamela Alejo Maya

Alumna del grupo 3ro “E”

(Profesora: Patricia Alonso)

Escuela Secundaria Diurna No. 137 “Delfina Huerta López”

Iztapalapa, México, D.F.

El Comité Editorial de la Academia de Ciencias de Morelos turnó la pregunta al Dr. Alejandro Alagón Cano, miembro de la misma y Premio Nacional de Ciencias y lo siguiente fue lo que le contestó a la estudiante.



"El sueño de la razón produce monstruos"
(Grabado de Francisco de Goya y Lucientes)

Estimada Pamela:

Preguntas por qué si hay más tecnología hay más enfermedades. Tu pregunta es muy razonable y se la han hecho muchas personas antes que tú. Hay muchos libros que tratan de contestarla como "El Espejismo de la Salud" de René Dubois, "Némesis Médica" de Iván Illich, "El Nacimiento de la Clínica" de Michel Foucault, "Genes, Sueños y Realidades" de Sir Macfarlane Burnet, por citar los que he leído. Por supuesto que ni por asomo te voy a recitar todos sus argumentos ya que para empezar ni los recuerdo (pero muchos están presentes) e implicaría un "rollo" larguísimo.

Los seres vivos, las personas y las sociedades estamos en constante cambio. Las utopías sólo se dan en situaciones estables, lo que es imposible que ocurra. Siempre hay un "algo" (o muchos) que desequilibra una situación que pareciera ideal. Puedes

controlar o, incluso, erradicar una enfermedad o estado negativo y estás creando las condiciones para que una horda de enfermedades poco prevalentes se disparen y hasta que aparezcan algunas nuevas. Te doy un par de ejemplos:

1) Cuando la penicilina se empezó a utilizar para combatir infecciones, la humanidad tuvo la ilusión, por un breve tiempo, que las infecciones por bacterias pasarían a ser parte de la historia. Y, ¿qué fue lo que pasó?, pues que pronto empezaron a aparecer bacterias resistentes al antibiótico y la penicilina dejó de tener efecto en muchas de las infecciones en las que se le utilizaba. Y comenzó una carrera que aún perdura y que seguirá en el futuro: nuevos antibióticos = nuevas cepas resistentes; muchos antibióticos = desarrollo de cepas multi resistentes. Además, el control de ciertas bacterias dejó abierta la puerta a otras bacterias que estaban esperando su turno. Claro que el uso inteligente de antibióticos continúa siendo una herramienta terapéutica utilísima pero ya no se les puede considerar como la solución a todas las infecciones bacterianas. De hecho, paradójicamente, muchos viejos que han llegado a esa edad y que en muchas ocasiones fueron curados con antibióticos, terminan su vida víctimas de una infección, generalmente adquirida en un hospital, que no respondió al tratamiento, incluso, de los antibióticos más caros y sofisticados del momento.

2) Hace 60-70 años morían, en nuestro país, casi la mitad de los niños antes de que cumplieran cinco años de vida por problemas asociados a desnutrición (incluidas las infecciones). Las calorías no alcanzaban para toda la población y las carencias de ciertas vitaminas eran muy comunes. Hoy por hoy, la mayoría de los mexicanos "nadamos" en calorías y en vitaminas (si bien hay grupos poblacionales que han quedado marginados), y ahora somos el segundo país del mundo con sobrepeso. Como seguramente sabes, la obesidad condiciona a una serie de enfermedades como hipertensión arterial, infarto al corazón y diabetes, las causas de muerte más importantes en la población mexicana. Y no hablemos de los efectos psicológicos y sociales que el sobrepeso conlleva para no echarle más leña al fuego. Sí, la tecnología ayudó a aumentar la producción de alimentos y a llenar frascos con vitaminas baratas. Se resolvieron algunos problemas pero aparecieron otros.

La tecnología ha contribuido a que el medio ambiente en que nos desarrollamos los humanos haya cambiando drásticamente en las últimas décadas. La contaminación ambiental, incluyendo el aire que respiramos, los alimentos que ingerimos y el agua que bebemos, produce

padecimientos que no conocían tus abuelos como enfermedades respiratorias crónicas, el desarrollo de ciertos cánceres, varios tipos de alergias y, en ciertos casos, malformaciones congénitas en recién nacidos.

Se habla mucho de los avances de la medicina moderna y su impacto benéfico en nuestras vidas. Sin embargo, el que hoy podamos esperar una vida razonablemente larga se debe más a las condiciones sociales sanitarias en las que vivimos (acceso a agua potable y drenaje, remoción de basura, adecuado aseo personal y mejoras en vivienda), a que podemos comer de manera suficiente y, en menor grado, a las vacunas del cuadro básico –las que verdaderamente sirven poblacionalmente hablando–, a los antibióticos para tratar infecciones fáciles y a las intervenciones quirúrgicas de rutina. En Europa, muchas de las enfermedades microbianas más terribles –como el cólera, la lepra, el paludismo, el tifus y la peste bubónica– se habían erradicado, o casi, a través de mejorar las condiciones sanitarias e higiene de la gente, mucho antes de que se descubrieran los microbios que las causan.

Por último, no pienses que la tecnología lo puede todo. Esta aseveración se aplica con más fuerza a la salud. Los humanos, y en buena medida todos los seres vivos, somos mucho más que simples conjuntos complicados de genes, moléculas y células. Tenemos necesidades que trascienden lo que la tecnología nos puede ofrecer por más millones que gastemos en ella. Son necesidades que cambian de acuerdo a la edad que tenemos, la época en que vivimos y la sociedad en que nos desarrollamos. Son necesidades que sólo podemos satisfacer con la interacción con otros seres humanos, tanto en lo particular como en grupo. ¡Qué bueno que no todos somos científicos o tecnólogos! ¡Qué bueno que existen artistas, filósofos y poetas! ¡Qué malo que muchos de los que toman decisiones importantes sobre la sociedad sean tan lerdos y/o ambiciosos personalmente! Aún así, lo peor que podemos hacer es perder la esperanza y dejar que otros sean los que decidan por nosotros.

Espero que muchos otros estudiantes se encuentren interesados en la ciencia y los invito a que lean las contribuciones que se publican en este medio y que sigan enviando preguntas y comentarios al Comité Editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.



“¿De qué morirá?”
(Grabado de Francisco de Goya y
Lucientes)

El lado bueno de una bacteria llamada *Escherichia coli*

José Luis Puente García

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

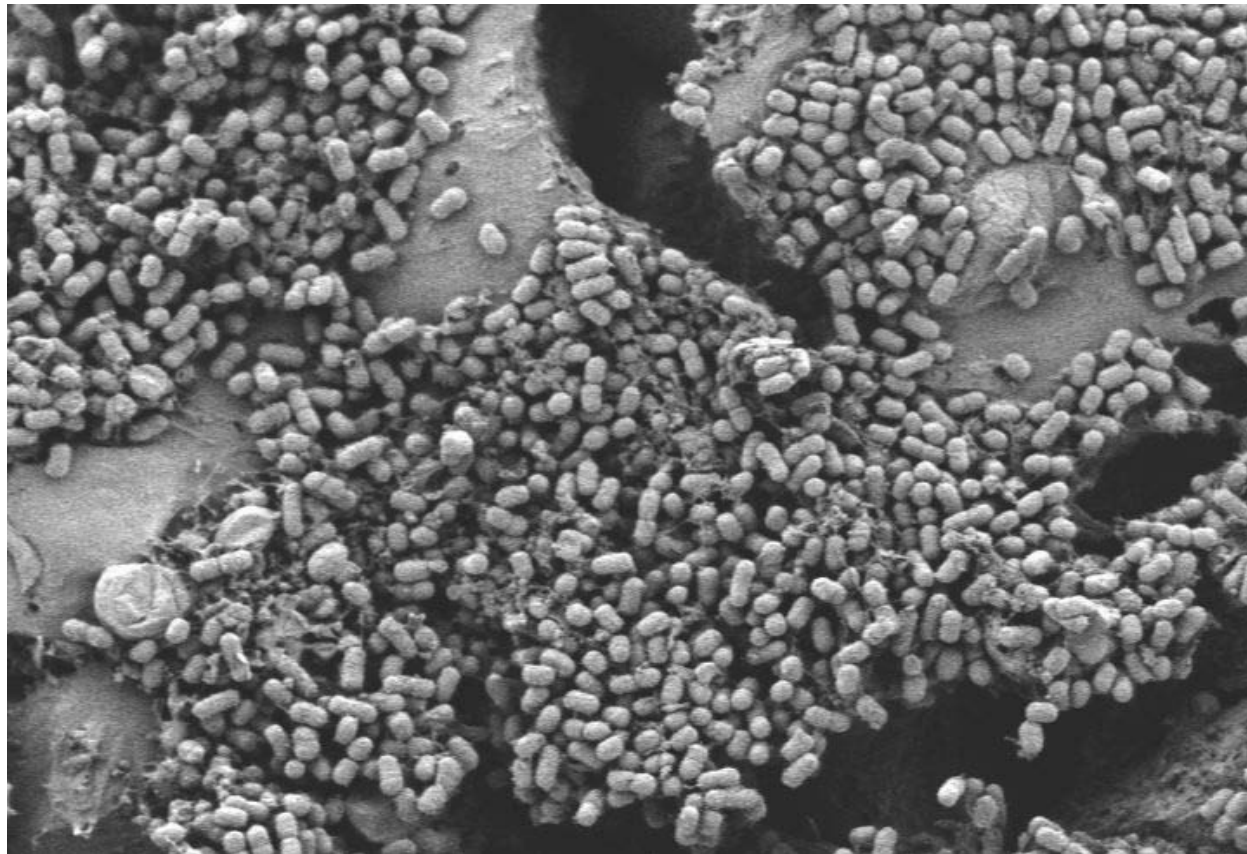
En septiembre del año pasado (2006) la Secretaría de Salud y la Secretaría de Agricultura ordenaron el retiro de los supermercados de espinacas pre-empacadas y listas para consumo provenientes de los Estados Unidos y recomendó evitar su consumo sin que estuvieran bien cocinadas. Esta decisión fue preventiva y debida a que, en el mismo mes, alrededor de 20 estados de la unión americana reportaron brotes de una infección causada por una bacteria denominada *Escherichia coli* enterohemorrágica O157:H7 o EHEC por sus iniciales en inglés, cuyo origen fue rastreado y asociado al consumo de espinacas. Noticias como ésta resaltan la importancia de la bacteria *E. coli* como agente causante de enfermedad en el humano y, por tanto, genera preocupación entre la población cada vez que se hace mención de la presencia de esta bacteria

en reservorios de agua, alimentos o en los análisis clínicos de un individuo.

Sin embargo ¿qué es *E. coli*?

A diferencia de lo que mucha gente piensa o asocia con esta bacteria, *E. coli* cuenta con, además de su lado malo, su lado bueno.

E. coli es un microorganismo aerobio y anaerobio facultativo (esto es, que puede crecer en presencia o ausencia de oxígeno) que habita el intestino grueso o colon de los humanos, y otros mamíferos, formando parte importante de la flora intestinal. Esta bacteria coloniza el tracto gastrointestinal de los recién nacidos a las pocas horas de su nacimiento, momento a partir del cual, junto con otras bacterias como lactobacilos y enterococos, se convierte en la bacteria más abundante del intestino de un recién nacido. Durante la vida



adulta su abundancia se reduce a sólo el 0.1% del total de las muchas bacterias que residen en el intestino y que incluyen diversas especies; sin embargo, esta asociación comensal se mantiene por el resto de nuestras vidas. Es por esta razón que con cada evacuación de heces fecales arrojamamos al desagüe miles de millones de bacterias de diferentes especies, siendo *E. coli* una de ellas, de ahí que sea considerada como un marcador de contaminación fecal cuando se analizan en el laboratorio muestras de agua, alimentos, aire, etc. Asimismo, no es de extrañarse que un análisis rutinario de laboratorio de una muestra de nuestras heces dé como resultado el aislamiento de *E. coli*, aun cuando no estemos enfermos.

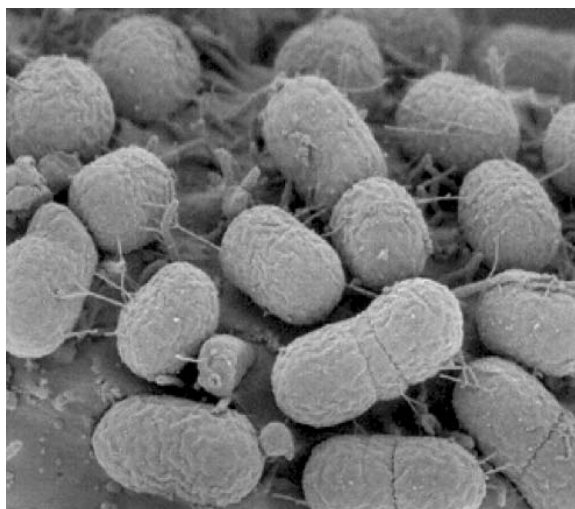
Más aún, *E. coli* es normalmente un microorganismo benéfico para el hombre, ya que como parte de la flora intestinal participa activamente en el procesamiento de los alimentos que consumimos al degradar, por ejemplo, a las proteínas en sus componentes básicos, los aminoácidos, los cuales después de ser absorbidos en el intestino grueso, son utilizados por nuestras células para sintetizar sus propias proteínas. También resulta fundamental por su capacidad de producir algunos compuestos básicos, como las vitaminas K y B12, que son esenciales para que las células de nuestro organismo lleven a cabo funciones vitales, pero que éstas no pueden producir. Asimismo, actúan en nuestro favor eliminando algunos compuestos de deshecho y evitando que bacterias causantes de alguna enfermedad colonicen con facilidad nuestro intestino.

La estrecha relación existente entre *E. coli* y el hombre, llevó en 1885 al pediatra y bacteriólogo alemán Theodor Escherich (1857-1911) a aislarla de heces fecales de individuos sanos, nombrándola *Bacterium coli* (coli es latín que refiere que su hábitat es el intestino grueso o colon), la cual en 1919 fue renombrada en honor de su descubridor como *Escherichia coli*. En 1922 diferentes aislamientos de *E. coli* son obtenidos a partir de heces de individuos sanos o enfermos en la Universidad de Stanford en California, EU, los cuales son almacenados. A partir de 1940 uno de estos aislados etiquetado como K12 es azarosamente recuperado y utilizado para estudios de metabolismo nitrogenado y, posteriormente, en 1944 para estudios pioneros de la biosíntesis de triptófano (un aminoácido que forma parte de las proteínas), que en parte empezaron a mostrar el potencial que esta bacteria tenía como un modelo para el estudio de diferentes fenómenos biológicos, permitiendo también el desarrollo de la genética bacteriana. A partir de estos eventos y debido a su carácter inofensivo para el hombre y el ambiente, así como a su fácil y rápido crecimiento en condiciones de laboratorio (puede duplicarse cada 20 minutos), *E. coli* K12 se convirtió en el “caballo de batalla” y “conejo de Indias” de diversos laboratorios que vieron en esta bacteria un modelo idóneo para llevar a cabo diferentes estudios que a la postre dieron origen a una revolución en campos como la Genética, la Fisiología y la Bioquímica, y más adelante al surgimiento de la

Biología Molecular y la Biotecnología.

Son muchas las contribuciones que se han hecho desde que *E. coli* fue utilizada por primera vez en el laboratorio, aquí algunos ejemplos. La transferencia de material genético (DNA, Ácido desoxirribonucleico) de una célula bacteriana a otra (proceso conocido como conjugación) fue descrito por primera vez en *E. coli*. Esto reveló uno de los mecanismos que permiten a las bacterias intercambiar información genética y generar diversidad, sin reproducirse sexualmente, así como contar con una estrategia mediante la cual se empezó a localizar la posición de genes en un genoma bacteriano. Otros estudios aportaron los primeros conocimientos sobre los mecanismos que controlan la expresión genética en bacterias. Es también en *E. coli* donde se descubren las enzimas de restricción y se construye el primer vector de clonación para la generación de moléculas de DNA recombinante, pasos esenciales en el desarrollo de la Ingeniería Genética. Así, en el campo biotecnológico, el amplio conocimiento que se ha ido acumulando sobre *E. coli* y su “domesticación” a favor de la ciencia, han permitido su uso como una fábrica microscópica viviente de proteínas de interés para el ser humano, siendo uno de los primeros y más revolucionarios ejemplos la producción de insulina humana en bacterias para su uso en pacientes diabéticos. Es también *E. coli* uno de los primeros organismos cuyo genoma fue completamente secuenciado, iniciando una nueva era en el estudio de este microorganismo para el cual se contaba ya con más de 50 años de estudio.

A pesar de que varias enfermedades diarreicas están asociadas a la presencia de algunas variedades patógenas (no benéficas) de *E. coli*, de las cuales platicaremos en otra ocasión, su nombre no debe siempre asociarse a su lado oscuro, sino a los aspectos positivos con los cuales contribuye, como un eterno acompañante intestinal, a nuestro diario bienestar, así como al enorme legado que su uso como modelo de estudio ha dejado al conocimiento científico y al desarrollo de la biotecnología.



El comportamiento del animal enfermo

José Agustín Orihuela Trujillo

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Cuando los animales se enferman, con frecuencia apreciamos signos que nos permiten saber que están enfermos. No todos los animales han desarrollado las mismas conductas en respuesta a los mismos estímulos, y la variabilidad de las estrategias depende de comportamientos propios de la especie y de la enfermedad. Por lo anterior, no es conveniente hacer generalizaciones porque puede llevarnos a equivocaciones. Aunque por otra parte, existen comportamientos generales que tienen respuestas fisiológicas comunes y que pueden presentarse de manera similar en las diferentes especies.

Por ejemplo, los chillidos de los perros o cerdos, son conductas que claramente nos indican que el animal está sufriendo un dolor o un estrés agudo, y esto lo entendemos porque el humano presenta un comportamiento similar. Sin embargo, especies como los borregos, raramente vocalizan en respuesta al dolor, lo que no quiere decir que no lo sufran igual. De la misma manera, una conducta que todos hemos observado es la de un perro lamiéndose una herida. Al hacerlo limpia el área lesionada y aplica antibióticos presentes en la saliva que le ayudan a sanar. No obstante, los cerdos jamás lamen sus heridas.

También existen conductas específicas que los animales realizan en respuesta a los órganos que se ven afectados, y que a su vez pueden servir para el diagnóstico de las mismas. Por ejemplo, ciertas encéfalo-mielitis producen signos conductuales característicos como: ceguera, dar vueltas en círculos, y presionar la cabeza contra los muros o troncos.

Lo que es claro es que los animales enfermos se comportan diferentes de aquellos que no lo están, mostrándose deprimidos, en un estado letárgico, y con poco o nulo apetito, se aíslan de las actividades sociales normales del grupo, presentan fiebre, dolor en las articulaciones y fatiga. También pierden interés en su acicalamiento, y pueden desarrollar un pelaje hirsuto de apariencia descuidada. Este cuadro se definió como el síndrome del comportamiento de un animal enfermo.

Considerando el costo metabólico que implica elevar la temperatura corporal y los riesgos que implican el desarrollo y mantenimiento de este tipo de conductas, resulta lógico esperar que esto ayude en la lucha de los animales contra enfermedades infecciosas. Sin embargo, mantener estas conductas por periodos largos, pueden traer por consecuencia daño neuronal, hepático o cardíaco, y en los animales

silvestres el riesgo de ser muertos por un predador, por lo que una vez que éstas tienen éxito en el combate de la enfermedad, deben desaparecer.

Elevar la temperatura corporal significa un 25% de incremento en el metabolismo del animal por cada 2-3^o C de incremento, costo cargado a expensas de las reservas del animal. No olvidemos que el consumo de alimento está muy limitado, por lo que se pierde condición corporal rápidamente. Un aumento en la temperatura generalmente va acompañado de una reducción en la concentración del hierro plasmático. La presencia de este elemento en la sangre es esencial para el crecimiento y multiplicación bacteriana.

El incremento en la temperatura además, potencializa la respuesta inmunológica, favorece la proliferación de linfocitos en respuesta a antígenos, incrementa la muerte bacteriana y favorece la síntesis de anticuerpos.

Las parasitosis y muchas infecciones bacterianas, incluso ante la falta de signos clínicos de la enfermedad, pueden generar una reducción en el consumo voluntario. En caso de presentarse algunos signos como el incremento de temperatura corporal, la anorexia también puede ser una consecuencia directa de la fiebre. Ante el alza en la producción de calor el animal enfermo puede disminuir el consumo en 30-60%.

El consumo de alimento disminuye con el fin de afectar al parásito. Los parásitos son relativamente pequeños en relación con sus huéspedes y tienen tasas metabólicas más altas, lo que sugiere que la falta de nutrientes afecta su supervivencia y reproducción en un periodo más corto que el requerido para afectar al huésped. Debido a la anorexia, la motivación para moverse y desplazarse también disminuyen, y la búsqueda por alimento cesa, reduciendo en consecuencia las pérdidas por calor.

El consumo de alimento se recupera casi inmediatamente después de que los animales se tratan con algún desparasitante o tan pronto como el animal se cura.

Términos tales como depresión, inactividad, letargia, sueño y desinterés, son algunos de los términos que se utilizan dentro de la descripción del comportamiento del animal enfermo. A fin de cuentas, el objetivo es que el animal permanezca quieto y de esta manera ahorre energía que necesitará para mantener el proceso febril.

Los animales enfermos por varios días desarrollan un pelaje sucio, desaliñado e hirsuto. Esto se debe sin duda a una disminución del acicalamiento, mediante el cual el animal limpia su piel de polvo y aceite, y remueve parásitos externos. Una piel limpia realiza mejor su función de aislamiento. Sin embargo, los animales enfermos podrían estar dispuestos a sacrificar estas funciones ya que el acicalamiento implica también movimiento que a su vez genera una mayor pérdida de calor a través de la piel. Además, el acicalarse requiere también energía para realizar la

actividad física involucrada, y un acicalamiento oral además, conlleva una pérdida de agua a través de la saliva.

A medida que conocemos más del comportamiento del animal enfermo, entendemos su funcionamiento y estamos en mejor capacidad de interpretar las bases fisiológicas, de mejorar la aplicación de principios médicos y así facilitar la detección de enfermedades incluso antes de la aparición de signos clínicos. Lo anterior ofrece grandes ventajas para el bienestar animal.



La falta de acicalamiento provoca una apariencia descuidada en el pelaje del animal enfermo. Obsérvese también la falta de actividad, la apariencia de depresión, el aislamiento y actitud somnolienta que caracterizan a un animal enfermo.

Hepatitis C en México: un problema oculto de salud pública

Vicente Madrid Marina

Instituto Nacional de Salud Pública
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Más de 180 millones de personas a nivel mundial están infectadas por el virus de la hepatitis C (VHC) y se estima que de 3 a 4 millones de personas se infectan cada año. Esto indica que aproximadamente el 3% de la población mundial está infectada por el VHC, lo que hace a la infección por el VHC un grave problema de salud pública. En la actualidad se evidencia la falta de concientización del problema de la infección por VHC en la sociedad y un nivel bajo de comprensión de los aspectos básicos de esta enfermedad grave y mortal. Las estadísticas de hepatitis C son alarmantes, lo que debe llevarnos a reflexionar y realizar acciones.

La prevalencia de esta enfermedad varía a nivel mundial, se reportan frecuencias menores en las regiones desarrolladas comparadas con las que están en vías de desarrollo. En México existen alrededor de 1.6 millones de personas adultas posiblemente infectadas por el VHC. La prevalencia media por zonas geográficas de acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud 2000, del Instituto Nacional de Salud Pública es de 1.7%.

La hepatitis es una enfermedad del hígado. El término “hepatitis” significa literalmente “hígado inflamado”. Es causada por muchos factores diferentes, incluidas las infecciones virales, parásitos, bacterias, sustancias químicas, autoinmunidad, fármacos o el alcohol.

Actualmente se conocen 5 tipos de hepatitis causadas por virus, llamadas hepatitis A, B, C, D y E. La hepatitis C se debe a una infección por el virus de la hepatitis C (VHC). En los primeros 6 meses de la infección, entre el 10-20% de las personas eliminan el virus. Esta fase se conoce como hepatitis C aguda. Un paciente con más de 6 meses de infección, se considera un caso crónico. El 90% de los pacientes infectados progresan hasta desarrollar hepatitis crónica. Las consecuencias a largo plazo de la hepatitis C crónica pueden ser extremadamente graves. Las más importantes son la cirrosis hepática, que puede dar lugar a una insuficiencia hepática y cáncer de hígado. Ambos casos pueden llevar a la muerte.

¿Cómo se adquiere la infección?

El VHC se contagia a través del contacto directo con sangre infectada. Las personas con alto riesgo de infección por el VHC son:

- Los usuarios de drogas por vía parenteral (UDVP). Este es en la actualidad el factor de mayor riesgo de transmisión del VHC, incluidos los que

experimentaron con drogas inyectadas hace años. Las tasas de infección en los UDVP oscilan entre el 70 y el 90 por ciento.

- Las personas que recibieron transfusiones de sangre o derivados sanguíneos antes de la introducción de los análisis de sangre de rutina en el año 95. Personas con hemofilia, trasplantes de órganos, insuficiencia renal crónica, cáncer que requiera quimioterapia o personas accidentadas y que han necesitado una transfusión de sangre.

- El VHC es especialmente prevalente entre los reclusos de las cárceles. De hecho, mientras que la prevalencia del VHC en los países occidentales es entre el 1-2% de la población, las tasas de infección por VHC en la población de una prisión puede alcanzar el 40%.

- Las personas con una conducta sexual de alto riesgo, que tienen múltiples compañeros sexuales.

- Trabajadores de la salud que se han pinchado con agujas. El riesgo de transmisión después de una punción con material contaminado por el VHC es de alrededor del 1-4%.

- Personas que se hacen tatuajes, piercings u otras modificaciones corporales, o que se han intervenido quirúrgicamente, o que se les ha realizado un procedimiento dental o un tratamiento de acupuntura sin que el equipo estuviese adecuadamente esterilizado.

- Personas que usan drogas no inyectadas, como la cocaína. En este caso, la transmisión del VHC podría ocurrir al aspirar la droga compartiendo popotes o billetes enrollados contaminados con sangre.

- Las personas que comparten objetos contaminados, como navajas de afeitar, cortaúñas, tijeras de barbero e incluso cepillos de dientes, aunque estos métodos de transmisión son poco frecuentes.

Se calcula que en alrededor del 30% de los casos de infección por hepatitis C, la vía de infección es desconocida.

Infección aguda

Sólo el 30-40% de las personas infectadas con VHC en fase aguda presenta síntomas y, de estos, muchos presentan sólo síntomas leves, inespecíficos e intermitentes. La ausencia de síntomas específicos ha hecho que la hepatitis C se conozca como la “enfermedad silenciosa”, lo que lleva a bajas tasas de detección.

¿Cómo se diagnostica la hepatitis C?

Varios análisis de sangre pueden determinar si un paciente ha sido infectado por el VHC. A menudo al paciente debe hacerse más de una de estas pruebas para confirmar el diagnóstico de hepatitis C. Se estima que en el mundo desarrollado sólo se diagnostica alrededor del 15% de los casos de hepatitis C.

El análisis de sangre puede detectar material genético (ARN) del VHC, lo cual indica infección. El ARN-VHC puede detectarse en sangre 1 o 2 semanas después de la exposición al virus. Conocer el genotipo es importante para determinar las opciones de tratamiento y también para predecir cómo responderá el virus al tratamiento.

Consecuencias de la infección por el virus de la hepatitis C

En casos crónicos de Hepatitis C, el daño hepático asociado puede progresar durante 10-30 años. En el 20% de los pacientes este daño hepático progresa a cirrosis. Al aumentar el daño los pacientes necesitan un trasplante de hígado, o pueden desarrollar cáncer hepático.

Las características que favorecen la progresión de la hepatitis C son: el consumo de alcohol, de tabaco o marihuana, la edad avanzada, la coinfección con el VIH ó con el virus de la hepatitis B acelera la evolución del daño hepático, lo que conlleva una aparición más rápida de cirrosis. La diabetes, y el sobrepeso, que ocasiona hígado graso, empeoran la evolución clínica de la hepatitis C crónica, asociándose a mayores tasas de cirrosis.

Tratamiento

El objetivo principal es erradicar el virus del organismo y lograr la respuesta virológica sostenida (RVS). La RVS se define como niveles indetectables del VHC en la sangre del paciente 6 meses después de completar el tratamiento, y se considera equivalente a la curación de la infección por VHC. Un gran número de pacientes de la hepatitis C puede curarse. La respuesta al tratamiento en todos los tipos de virus al Interferón Alfa-2a, es del 69%.

Carga social, costos de la enfermedad e importancia del tratamiento

La cifra creciente de personas infectadas con hepatitis C está aumentando la carga en el sistema sanitario. Se espera que el precio de la “curva de edad” de la hepatitis C sea alto, y los analistas pronosticaron en el año 2000 que la carga económica de la hepatitis C seguiría elevándose durante 10 o 20 años más.

Un llamado para generalizar los programas de detección

Debido a la historia natural de la enfermedad, con un largo período entre el momento de la infección y el desarrollo de las complicaciones, se estima que la carga sanitaria de esta enfermedad aumentará considerablemente durante las próximas décadas si no se toman medidas efectivas para el control de esta infección crónica.

Nota: Parte de la información vertida en este documento fue tomada de: Guía de Hepatitis “C” de Dr. Moisés Diago del Departamento de Hepatología del Hospital General Universitario Valencia, España



Darwin y la influenza: Evolución en acción

Lorenzo Segovia

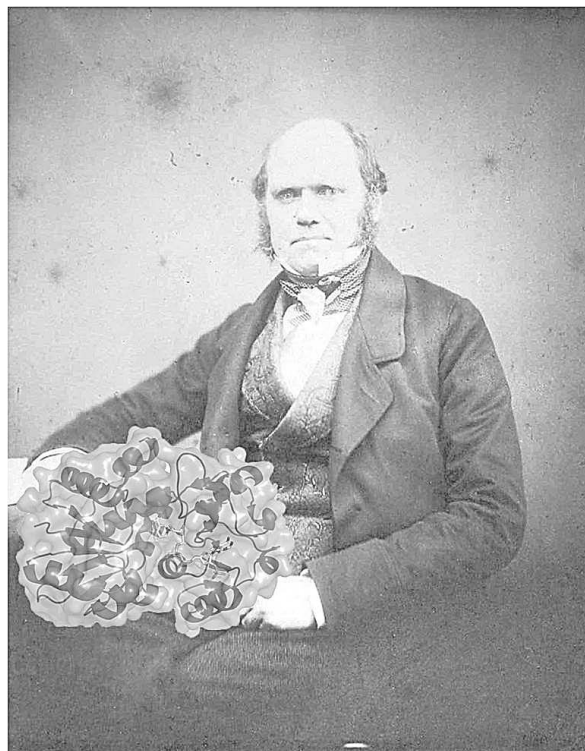
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Charles Darwin y la teoría de la Evolución

Hace doscientos años nació Charles Darwin en Shrewsbury, Inglaterra. Charles Darwin propuso una teoría que ha definido nuestro entendimiento de la Biología hasta nuestros días. Encontró evidencia de que todos los seres vivos habían cambiado a través del tiempo a partir de ancestros comunes mediante un proceso llamado Selección Natural. Este descubrimiento sienta las bases de la teoría unificadora de las ciencias de la vida al proveer una explicación para la biodiversidad. Una de las evidencias iniciales de la existencia de la evolución proviene de la existencia de fósiles, los cuales presentan morfologías a menudo intermedias con las de especies existentes. En el museo de Historia Natural de la Ciudad de México se puede observar cómo fue cambiando gradualmente la pata de los ancestros del caballo partiendo de un pie con dedos funcionales hasta transformarse en el casco ahora de todos conocidos. Se observa que los fósiles más antiguos tenían tres dedos de los cuales, a través del tiempo, dos se van haciendo más pequeños hasta que desaparecen casi totalmente formando dos huesos vestigiales que ya no se apoyan en el suelo en un caballo moderno. Hoy día se puede observar la evolución también al observar las especies existentes, sin necesidad de fósiles. Los avances en el área de la biología molecular nos permiten conocer la información contenida en los genes y hacer comparaciones de esta información. Hemos encontrado cuánto y cómo cambian los genes que hacen el mismo papel en especies distintas. Por ejemplo, podemos comparar las secuencias de los genes que codifican para la hemoglobina, entre todos los animales. Entre más se parezcan entre sí, más cercanos estamos en el árbol de la vida. Este tipo de análisis, llevado a cabo con muy diversos genes nos permite ver cuál es la relación del humano con una planta, una bacteria o un ratón y sobre todo han permitido plantear que toda la vida deriva de un organismo único surgido hace alrededor de 3500 millones de años.

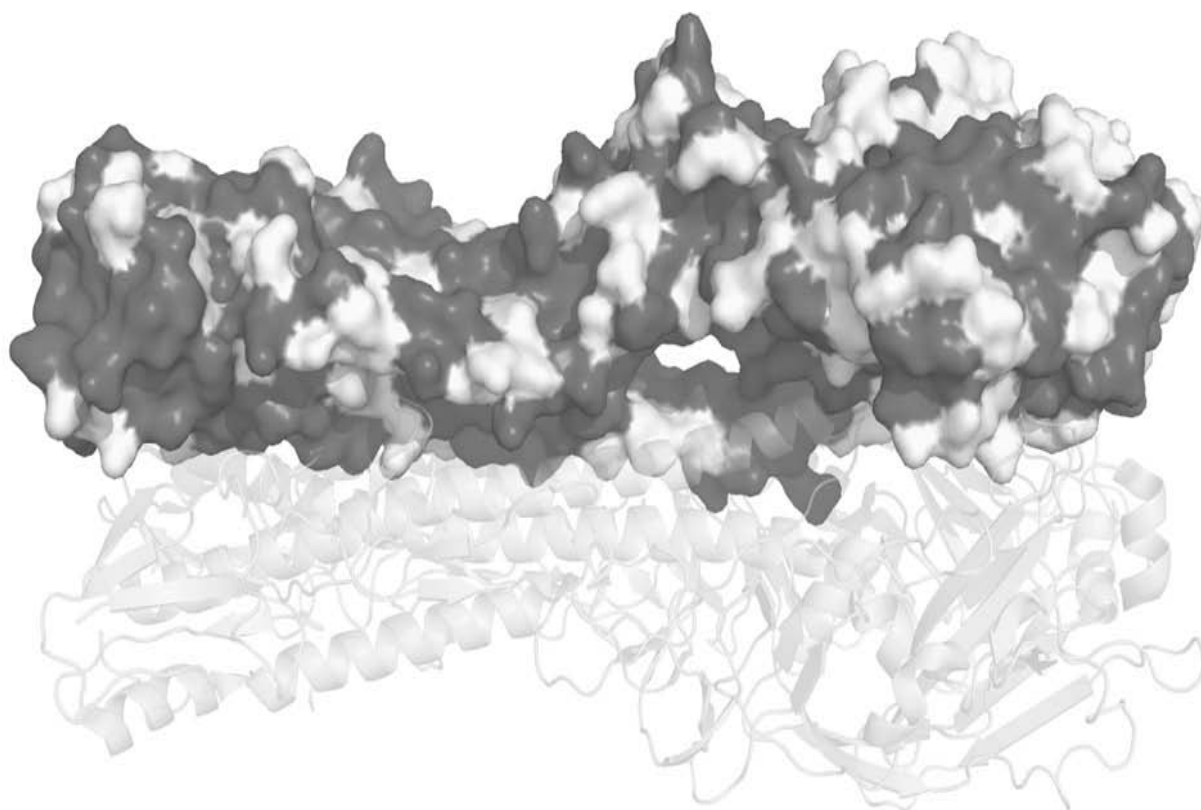
¿Porqué hay mutaciones?

Al duplicarse una célula es necesario hacer una copia del material genético. Esto es indispensable ya que allí se encuentra la información para sintetizar todas las moléculas que le permiten vivir y también las que le permiten saber cómo transformarse en el tipo de células programado en el genoma del organismo. Las mutaciones son cambios en el lenguaje de los genes que suceden al azar, la mayoría de las cuales no tienen



Charles Darwin

efecto en la forma o función de los organismos. Sin embargo, algunas mutaciones sí provocan cambios que dan lugar a nuevas funciones en el organismo. La información genética está codificada en el ADN, ácido desoxirribonucleico, y en algunos virus en ARN, ácido ribonucleico. Existen unas enzimas, llamadas polimerasas, las cuales se encargan de hacer copias fieles de la información del ADN utilizando una de las dos cadenas como template. Esto presenta un problema ya que existe un balance entre rapidez y eficiencia, es decir que si fueran perfectas, este proceso sería extremadamente lento y el tiempo de generación sería demasiado largo. Asimismo, existen mutágenos naturales como son la luz ultravioleta o algunas moléculas químicas que provocan daños en el ADN o ARN y hacen que los sistemas de reparación o las polimerasas se equivoquen aún más. Pero todo esto tiene su lado bueno, sin las mutaciones la vida no hubiera evolucionado como lo ha hecho. Sin las mutaciones seguiríamos siendo algún tipo de organismo unicelular o la vida se habría extinguido. Las mutaciones son la razón de todas las diferencias



"Proteína H1 del virus de la Influenza"

que observamos entre nosotros y son por ende el sustrato de la Evolución.

¿Qué es la Selección Natural?

La definición clásica de la Selección Natural define que las condiciones del medio ambiente facilitan o dificultan la reproducción de organismos en función de sus características particulares. Así pues, algunos organismos tendrán mayor capacidad de reproducirse permitiendo la propagación de sus genes a las generaciones siguientes en ventaja de otros. Esto se aplica a cualquier nivel de la biología, desde los virus hasta los humanos, cada quien dentro de su ambiente particular.

¿Y qué pasa con la influenza?

Cada año hay epidemias de Influenza donde gran parte de la población del mundo se enferma. Al haber una infección se desata una pequeña guerra en el interior del cuerpo humano, donde nuestro organismo lucha contra el invasor. Nuestro sistema inmunológico reconoce a los virus como moléculas extrañas e inicia una respuesta para deshacerse de él. Una maravilla de este sistema es que tiene memoria y cuando reconoce

a un viejo enemigo tiene una respuesta mucho más efectiva, cortando en seco el proceso de infección. La Selección Natural en el virus opera en otra dirección: al cambiar, no es reconocido por el organismo, por lo que se puede reproducir y puede tener un proceso completo de infección, propagándose de huésped en huésped. El virus de la Influenza tiene dos proteínas en su superficie que le permiten infectar. Estos son las proteínas H y N. Cuando nos infectan (o vacunan) desarrollamos anticuerpos contra estas dos proteínas. Estos anticuerpos nos protegerán de infecciones posteriores de este mismo virus. Sin embargo, al avanzar una epidemia, los virus van mutando. El virus de la Influenza tiene un genoma codificado por ARN cuya duplicación es menos eficiente que la de los genomas codificados por ADN por lo que se generan en cada ciclo de replicación (cada infección de UNA célula) muchísimas variantes que tienen mutaciones que fueron generadas al azar. Pueden ser en cualquier lugar del genoma. Gran cantidad de ellas son inservibles, es decir, el virus que las lleva ya no es infectivo o viable, pero también una gran proporción tienen nuevas características que le

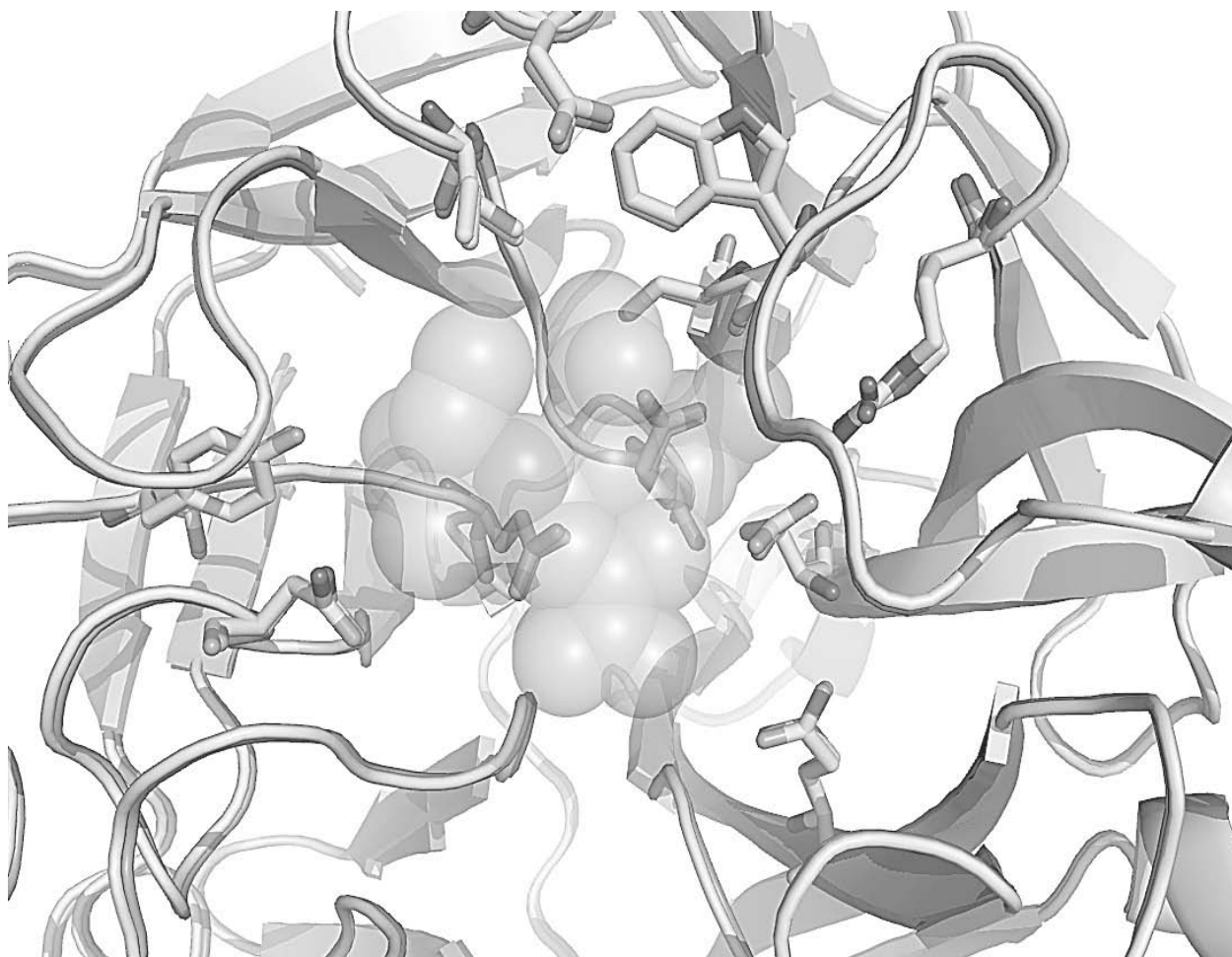
permiten seguir infectando. Cuando éstas caen en los genes que codifican para las proteínas H o N, nuestro sistema inmunológico ya no reconocerá a este virus o lo reconocerá de forma parcial y tendremos una respuesta deficiente en su contra. Cada año, los mecanismos de vigilancia epidemiológica analizan cómo ha ido cambiando el virus para proponer cómo deberá ser la vacuna que se aplicará en la temporada de influenza siguiente, razón por la que hay que vacunarse cada año.

¿Y cómo que porcino?

El virus de la Influenza tiene otra manera de cambiar radicalmente. Puede rearmarse al mezclar su ARN con el de otros virus de la Influenza para crear nuevos virus híbridos que tienen nuevas combinaciones con las proteínas H y N en el mismo virus. Estos virus son totalmente nuevos y nadie tiene protección contra ellos porque nadie ha tenido una infección anterior. Son extremadamente infecciosos y afectan a un enorme número de gente muy rápidamente. Son los que provocan las pandemias como la que estamos viviendo ahora (2009). Para que suceda este proceso, dos virus que normalmente infectan especies

distintas deben infectar la misma célula. Existen virus que infectan normalmente aves, cerdos o humanos. Cuando una persona está en contacto con un animal enfermo puede contagiarse aunque estas infecciones tienden a ser muy leves. Pero si esta persona tiene en ese momento una infección de influenza humana, las condiciones están puestas para tener infecciones dobles las cuales pueden dar lugar a estas nuevas combinaciones. Los virus resultantes de esta infección serán principalmente humanos pero habrá algunos que puedan tener proteínas H y N del virus de animales. Se calcula que estos virus se generan cada 16 años aproximadamente. La cepa AH1N1 que nos ocupa (2009) tiene proteínas H y N que provienen de virus de la influenza porcina, lo cual le dio originalmente tan desafortunado nombre.

La respuesta que tuvo el sector Salud (2009) resultó ser de lo más acertada ya que la experiencia pasada de otras pandemias nos ha mostrado que el virus de la Influenza es un enemigo de temer. Asimismo, la evolución siempre estará generando nuevas variantes con nuevas capacidades infectivas por lo que es necesario estar atentos a cualquier nuevo tipo de virus que pudiera surgir.



"Proteína N1 del virus de la Influenza con el antiviral "Tamiflu"

Importancia de algunas zoonosis (enfermedades) emergentes en salud pública en México

Víctor Sánchez-Cordero

Instituto de Biología, UNAM

Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Las zoonosis son las enfermedades transmitidas de los animales al hombre. Así, las zoonosis emergentes (ZE) son aquellas que han aumentado su incidencia o cobertura geográfica, o ambas, o bien que se han incorporado a nuevas poblaciones de huéspedes o se han descubierto recientemente. Las ZE en México han recibido particular atención desde el punto de vista clínico, que involucra una descripción detallada de su etiología médica. Sin embargo, pocos estudios se han enfocado al estudio de la ecología de las ZE, que involucren investigación sobre las relaciones ecológicas entre reservorios (animales o materia inanimada que mantiene a los microorganismo en la naturaleza), vectores (animales invertebrados que transmiten a los microorganismo en la naturaleza, por ejemplo mosquitos) y parásitos. Entre las ZE más relevantes en salud pública destacan la leishmaniosis, la enfermedad de Chagas y la enfermedad de Lyme (o Borreliosis), las cuales han aumentado tanto en incidencia como en distribución geográfica en las últimas décadas. Algunas ZE son transmitidas por vectores y son consideradas de alta prioridad para la Organización Mundial de la Salud, en virtud de que los costos sociales y económicos son altísimos en los países donde ocurren.

ZOONOSIS EMERGENTES EN MÉXICO

Las ZE representan un problema importante de salud pública en México, pues implican un alto costo social y económico. Por ejemplo, estimaciones preliminares indican que el número de personas infectadas con la enfermedad de Chagas fluctúa entre 1.2 y 2 millones, aunque se sospecha de cifras significativamente más altas. Los costos de tratamiento de la enfermedad de Chagas varían notablemente con la etapa en que se encuentra un paciente; el diagnóstico temprano en el paciente es crucial, en virtud de que se puede ahorrar un costo estimado de \$12,600 millones de pesos si se evita que se convierta a un estado crónico, considerando el número estimado de personas infectadas en México. Lamentablemente, no existen datos sobre los posibles costos sociales y económicos relacionados con la leishmaniosis y la enfermedad de

Lyme en México, pero es muy probable que sean muy altos, por la distribución potencial que muestran estas ZE en el país.

LEISHMANIOSIS Y ENFERMEDAD DE CHAGAS

La leishmaniosis y la enfermedad de Chagas revisten particular interés dado (1) que son causadas por parásitos de la misma familia *Trypanosomatidae*, (2) tienen áreas geográficas más o menos coincidentes, (3) los parásitos que las causan presentan gran variación antigénica-taxonómica, (4) los reservorios involucran principalmente diversas especies silvestres y domésticas de mamíferos, (5) los mecanismos de transmisión entre las especies involucradas no han sido investigados en detalle, y (6) presentan un importante proceso de domiciliación (es decir, pueden habitar en casas) debido a la dinámica ecológica de algunas especies de vectores para adaptarse a ambientes modificados por el humano.

Las leishmaniosis son un conjunto de enfermedades causadas por al menos trece especies de parásitos del género *Leishmania*, que se transmiten a los humanos por la picadura de las hembras de insectos (moscas) del género *Lutzomyia*. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, se estima que se infectan dos millones de personas al año, de los cuales alrededor de un millón y medio son de leishmaniosis cutánea, y quinientos mil de leishmaniosis visceral. La leishmaniosis tiene una gran diversidad de manifestaciones clínicas y, en México, ocurre en diversas áreas geográficas sin que aún se hayan identificado patrones de transmisión relacionados con dicha variación geográfica. Por ejemplo, con respecto a las áreas de transmisión, la forma visceral de la enfermedad, causada por *Leishmania chagasi* (= *infantum*) ocurre en la cuenca del Río Balsas y en el Estado de Chiapas. Se sospecha que el vector principal es *Lutzomyia longipalpis*, aunque no existen registros de detección del parásito en estos insectos colectados en campo. La forma cutánea de la enfermedad ocurre principalmente en los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Oaxaca y Chiapas. Otros casos se han



(A) Chinche besucona de la especie *Triatoma pallidipennis*, responsable de transmitir el parásito *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas. (B) Mosca de la especie *Lutzomyia olmeca*, responsable de transmitir el parásito *Leishmania mexicana*, causante de la leishmaniosis.



reportado en los estados de Tamaulipas y Nayarit, en donde aún no se ha llevado al cabo la colecta sistemática de vectores ni reservorios. En México se tiene poca información sobre las especies de vectores involucradas en la transmisión en un contexto geográfico, y el único que ha sido confirmado es la especie *Lutzomyia olmeca olmeca*. Sin embargo, la distribución de *Lutzomyia o. olmeca* no explica la distribución geográfica de los casos de leishmaniosis cutánea reportados en humanos, por lo que es probable que otras especies de *Lutzomyia* estén involucradas en la transmisión de la leishmaniosis en México. En particular, en el centro (incluyendo el Estado de Morelos) y noreste de México y el sur de los Estados Unidos, las especies sospechosas involucradas en la transmisión son *Lutzomyia diabolica*, *L. longipalpis* y *Lutzomyia anthophora*. El parásito causante de los casos registrados en pacientes es *Leishmania mexicana*, el cual ya ha sido aislado de roedores silvestres. Este parásito, sin embargo, tiene una amplia distribución, que va desde Estados Unidos hasta la parte nororiental de Sudamérica.

La enfermedad de Chagas o tripanosomiasis americana, es la enfermedad parasitaria más importante en América Latina, tanto por su morbilidad y mortalidad, como por su importancia económica, superando a todas las otras enfermedades parasitarias combinadas. La Organización Mundial de la Salud estimaba que, entre 16 y 18 millones de personas, estaban infectadas y más de 100 millones de personas se encontraban en riesgo de infección en el continente americano. Esta enfermedad es causada por el protozooario flagelado *Trypanosoma cruzi*, el cual es transmitido por insectos hematófagos (Orden *Hemiptera*, familia *Reduviidae*), llamadas “chinchines besuconas”. Una de las formas de transmisión al hombre es efectivamente a través de dichos vectores (“chinchines besuconas”) donde las chinchines depositan las heces infectadas sobre la piel del humano, al momento en el que se están alimentando. Posteriormente, el huésped se rasca en el sitio donde se alimentó la chinche y se infecta. En México, se estima que 71 millones de personas se encuentran en riesgo de contraer la infección con *T. cruzi* por transmisión vectorial de al menos diez especies de chinchines besuconas. Se estima que 69,000 individuos por año adquieren la infección con *T. cruzi* en tanto que, aproximadamente, 2.1 millones (casi el 2% de la población total de México) se encuentran actualmente infectados. La enfermedad de Chagas constituye la causa de entre 25,500 y 63,000 defunciones anuales en México, incluyendo una mortalidad infantil (0-5 años) de alrededor de 830 muertes por año.

Con respecto a los vectores, en México se han identificado aproximadamente 32 especies de chinchines besuconas, de las cuales *Triatoma pallidipennis*, *Triatoma mazzottii*, *Triatoma longipennis*, *Triatoma picturata*, *Triatoma phyllosoma* y *Triatoma mexicana*, son las más importantes en la transmisión del parásito al humano en México. Entre los vertebrados, los

mamíferos constituyen los únicos reservorios de *T. cruzi*, no obstante que los vectores pueden alimentarse de algunas especies de aves. Entre los mamíferos, se considera que los marsupiales, roedores y murciélagos son reservorios importantes de *T. cruzi*, aunque no se conoce con detalle la diversidad de especies que conforman la lista de reservorios naturales del parásito.

ENFERMEDAD DE LYME (O BORRELIOSIS)

México tiene una prevalencia estimada de infección en la población nacional del 1.1%, con zonas de alta prevalencia en el centro (incluyendo al Estado de Morelos) y noreste del país, lo que hace a estas zonas altamente vulnerables a la enfermedad de Lyme. Esta enfermedad se transmite al humano a través de la mordedura de una garrapata, principalmente del género *Ixodes*, infectada con la bacteria *Borrelia burgdorferi*, la cual ha sido detectada principalmente en *Ixodes* colectados en Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Estado de México, Jalisco y Chiapas. Los primeros casos sugestivos de la enfermedad de Lyme se reportaron en 1999 y, apenas en 2007, se reportan los primeros casos confirmados. Los estudios sobre la ecología de los reservorios y vectores de la enfermedad de Lyme son prácticamente inexistentes en el país. Por tanto, es necesario iniciar investigaciones enfocados a estudiar las relaciones entre esta bacteria, sus reservorios y vectores en México.

RELACIONES ECOLÓGICAS ENTRE RESERVORIOS Y VECTORES DE ZONOSIS EMERGENTES

Uno de los principales retos de investigación en el

tema de ZE se refiere al estudio de las interacciones entre reservorios (comúnmente mamíferos), vectores (comúnmente artrópodos, como insectos y garrapatas) y parásitos que afectan al humano. El entender cabalmente la dinámica de la transmisión, en la que un vector que se alimenta de la sangre infectada de un reservorio con parásitos (un animal) es un transmisor potencial de una ZE al alimentarse, a su vez, de la sangre de una persona. Este trayecto de interacciones ecológicas es aún poco estudiado y, consecuentemente, poco entendido. Es indispensable desarrollar más estudios en esta dirección, en virtud de que el entender dichos procesos ecológicos nos ayudaría a tomar las medidas de prevención más efectivas. Un segundo reto es el desarrollar modelos de estas interacciones que nos ayuden a proyectarlos a una geografía, no sólo de las ZE que se han descrito aquí, sino de otras muy importantes como el dengue, la malaria, y otras más. Esto se podría hacer, por ejemplo, haciendo modelos de distribución de especies de reservorios y vectores que son importantes en la transmisión de los parásitos al humano.

Nuestro grupo de trabajo ha seguido esta línea de investigación y hemos producido algunos ejemplos de mapas preliminares de riesgo, los cuales podrían permitir la generación de modelos de distribución de las especies de reservorios y vectores, bajo escenarios de cambio climático; ya que el calentamiento global, por ejemplo, influye en la distribución de muchas especies. Consecuentemente, podremos predecir en dónde y cuándo esperaríamos la aparición de algunas de estas ZE en regiones donde antes no se habían registrado.

Aliméntate sanamente: come frutas y verduras

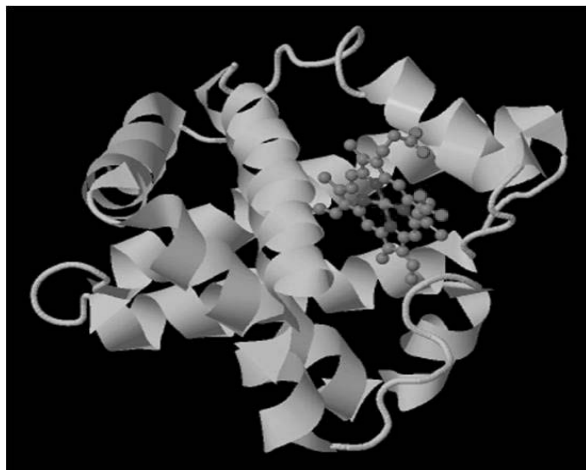
(o de cómo la vitamina C incrementa la disponibilidad de hierro)

Brenda Valderrama

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Los seres vivos estamos compuestos por cinco elementos fundamentales: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. Cuando quemamos un trozo de leña, la mayor parte de la materia se convierte en gases conteniendo estos elementos: bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre y agua. Sin embargo, queda un residuo, al cual llamamos cenizas, compuesto por metales (sodio, potasio, magnesio, calcio, zinc, hierro, cobre, manganeso y molibdeno). Los metales en los seres vivos corresponden a menos del 1% de su masa; sin embargo son indispensables, pues muchas de las reacciones bioquímicas fundamentales para la vida dependen de ellos.

Una nutrición con baja aportación de metales tiene causas funestas en el desarrollo de las personas, siendo la de hierro la deficiencia más común manifestada como anemia aguda. La deficiencia de hierro ocasiona fallas graves ya que retrasa el desarrollo normal de funciones motrices (actividad y movimiento normales) y las funciones mentales (habilidades intelectuales y de procesamiento). Durante el embarazo aumenta el riesgo de dar a luz bebés pequeños o prematuros; en adolescentes afecta la memoria y otras funciones mentales y en adultos la habilidad de realizar trabajo físico.



Modelo tridimensional de la mioglobina. Las propiedades de los átomos de hierro en las porfirinas son variables y dependen de las interacciones que tengan con otras moléculas. En el caso de la mioglobina, la proteína modula las propiedades del hierro utilizándolo para almacenar y distribuir el oxígeno dentro de los músculos.

Existen dos fuentes básicas de hierro en nuestra dieta, el hémico y el no-hémico. El hierro hémico es aquél que ingerimos en forma del grupo hemo, una estructura orgánica desarrollada por los seres vivos para inmovilizar y activar al hierro en las proteínas. La hemoglobina es la principal hemoproteína en los animales, contiene un grupo hemo por subunidad y se encuentra en la sangre. Su función fisiológica es transportar el oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo. La segunda hemoproteína más abundante es la mioglobina, que se acumula en los músculos y es la encargada de proveer oxígeno a este tejido. La coloración característica de la sangre y de la carne proviene precisamente de la alta concentración de hierro hémico. El hierro no-hémico es cualquiera que no provenga de estas proteínas y es la principal fuente del metal en vegetales y verduras, en la leche materna, o en alimentos procesados adicionados con hierro.

Mientras que el hierro hémico es absorbido fácilmente por nuestro cuerpo, el no-hémico, es más difícil de incorporar. Existe un número importante de personas, entre las que se encuentran los niños pequeños, que no consumen carne por diferentes razones. En estos casos la ingesta de hierro es menos eficiente, pudiendo llegar a causar problemas nutricionales si no se corrige mediante el balance adecuado de la dieta.

En el caso de niños pequeños alimentados con fórmula, o cuando los adultos consumimos vegetales como arroz, maíz, frijol, lentejas o trigo como alimentos únicos, solamente se absorbe del 1 al 7% del hierro no-hémico contenido en estos alimentos. Si los acompañamos de vitamina C, es posible incrementar notablemente su asimilación. A diferencia de otros organismos, los humanos no producimos vitamina C por lo que tenemos que ingerirla diariamente en nuestra dieta. La fuente natural de vitamina C son las frutas y verduras, y es una de las razones por la cual se recomienda fuertemente una ingesta diaria de cinco porciones, es decir, comer unas cinco frutas, de preferencia distribuidas a lo largo del día.

Ahora, la pregunta que nos surge es: ¿Por qué la vitamina C aumenta la asimilación de hierro no-hémico? Para responder la pregunta tenemos que considerar primero que cuando el hierro no-hémico se disuelve en agua se carga eléctricamente, en este caso con carga positiva. Las moléculas cargadas se conocen como iones. Los iones de hierro en solución pueden existir en dos estados de carga alternativos: como hierro +2 (ferroso)

ó hierro +3 (férrico). El hierro ferroso es muy soluble en agua y puede ser asimilado directamente, mientras que el hierro férrico es menos soluble, lo que dificulta su asimilación. Los alimentos que ingerimos poseen una mezcla de hierro en ambos estados, sin embargo, al llegar al estómago, la acidez natural de este órgano modifica a todo el hierro del alimento hasta su estado férrico, limitando notablemente su potencial asimilación.

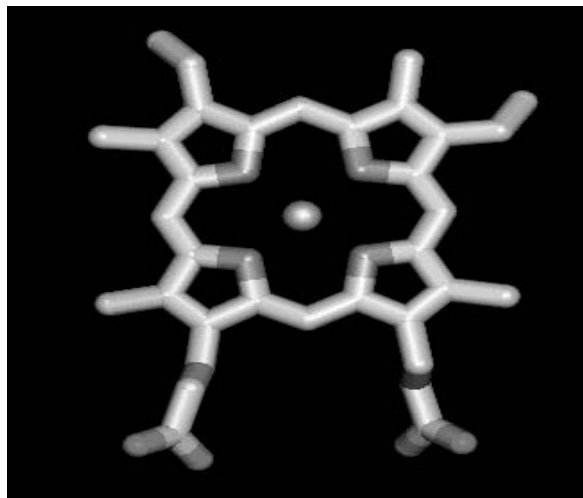
LA VITAMINA C Y EL EFECTO DE QUELADO

La vitamina C puede unirse con el hierro no-hémico y dado que el complejo es más soluble que el metal libre, aumenta su disponibilidad. Éste fenómeno se llama quelado y las moléculas que lo realizan se conocen como quelantes, palabra proveniente del griego (*chelè*) que significa garra.

Los iones de hierro pueden interaccionar con quelantes que tengan posibilidad de neutralizar su carga positiva, por lo tanto la mayoría de los quelantes son ácidos. La vitamina C también es un ácido y se conoce como ácido ascórbico. Estrictamente, la vitamina C es un diácido orgánico ya que contiene dos grupos carboxilo. La interacción entre la vitamina C y un ión de hierro es mediante los dos grupos carboxilo como si fueran los dos brazos de una pinza. Este tipo de interacción se conoce como enlace bidentado (de dos dientes).

Existen diferentes indicadores con los que podemos describir una interacción entre dos moléculas, entre ellos se encuentra la estequiometría y la afinidad. Cuando hablamos de estequiometría nos referimos a la cantidad relativa de moléculas que participan en la interacción, es decir cuántas moléculas de cada reactante se asocian para dar cuantas moléculas de cada producto. En nuestra reacción, los reactantes son la vitamina C y el hierro y el producto el complejo vitamina C-hierro. Cada ión de hierro puede formar cuatro interacciones mientras que una molécula de vitamina C solo puede formar dos interacciones, por lo tanto la estequiometría de la reacción es dos moléculas de vitamina C y un átomo de hierro por cada molécula de complejo.

El otro indicador que usaremos para describir la interacción es la afinidad, es decir qué tanta avidez tienen los reactantes entre ellos y qué tan probable es que sean interferidos por moléculas externas. Por ejemplo, si otras moléculas quelantes pueden interaccionar con hierro, entonces competirían con la vitamina C y eso reduciría la

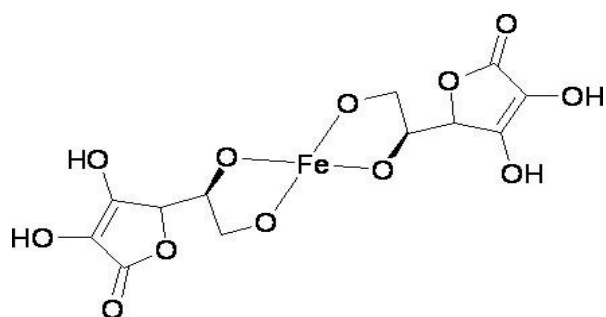


Estructura del grupo hemo. El grupo hemo se forma por la adición de un átomo de hierro a un andamiaje formado por cuatro anillos llamado porfirina. Las porfirinas pueden unir otros metales diferentes al hierro formando grupos con otras propiedades, por ejemplo, la clorofila es una porfirina modificada con un átomo de magnesio.

asimilación del metal. Algunos componentes de nuestra dieta, como por ejemplo el ácido fítico (abundantes en lentejas, garbanzos, salvado y arroz integral), los taninos (presentes en frutas como granadas, nísperos, moras, arándanos, grosellas, membrillos, algunas legumbres y en bebidas como el té, el café y el chocolate) y las pectinas (abundantes en frutos), son capaces de reducir la absorción intestinal del hierro formando complejos insolubles con el metal. Este efecto inhibitorio resulta no ser tan importante al final, pues la afinidad relativa de la vitamina C por el hierro, es decir, la avidez que presenta por el metal comparada con la de los otros quelantes, resulta ser sustancialmente mayor.

En resumen, la vitamina C, también conocida como ácido ascórbico, incrementa la disponibilidad de hierro en el intestino al formar complejos bidentados de alta afinidad. Esto quiere decir que si queremos asimilar todo el hierro no-hémico de un plato de frijoles (aproximadamente 10 mg) basta con consumir una fruta fresca de postre o más fácil y más económico, tomar agua de frutas en lugar de refresco. A pesar de lo que se piensa, las naranjas no son el alimento con mayor contenido en vitamina C siendo mejores las guayabas, los pimientos, las coles de bruselas, el limón, la coliflor, la espinaca e inclusive las fresas. La biodiversidad de nuestro país nos permite tener frutas y verduras frescas todo el año, así que si balanceamos nuestra dieta podremos tener una provisión suficiente de hierro y vitamina C aunque no consumamos carne.

Finalmente, quisiera comentar sobre los efectos de un exceso de hierro por envenenamiento, por ejemplo si un pequeño ingiere por accidente un complemento de hierro para adultos. En este caso los primeros síntomas serán diarrea, vómito y fiebre debiendo ser llevado de emergencia al médico, pues la exposición prolongada ocasiona daño a los órganos internos, principalmente al hígado, con riesgo de ser mortal.



Complejo vitamina C - hierro. Un átomo de hierro interacciona con dos moléculas de Vitamina C para formar un complejo estable que solubilice y distribuya el metal hasta el interior de las células.

GENES, PROTEÍNAS Y CEREBRO

Prólogo

De cada rama de las Ciencias surgen una multitud de interrogantes interesantes. Sin embargo, existen algunas preguntas fundamentales que probablemente han acompañado a la humanidad a lo largo de toda su historia. Los artículos de esta sección tratan de dos problemas de este tipo. El primero es la genética y temas selectos de la biología molecular, y por lo tanto el tema se relaciona con preguntas como: ¿quién soy yo, de qué estoy hecho y por qué soy como soy?, ¿qué es lo que determina las características de las especies?, ¿en qué sentido somos diferentes (o parecidos) a los (demás) animales?, ¿de qué manera se cifró la información del “ser” en cada uno de los individuos que vivimos en esta Tierra? y ¿cómo se interpreta esa información?

Así, en esta sección del libro se describe la historia de la genética, iniciando con Gregor Mendel, quien estableció por primera vez un esquema matemático para explicar la herencia de los seres vivos, pasando por los famosos descubrimientos de James Watson y Francis Crick (y Rosalind Franklin) sobre la estructura de hélice del ADN para finalmente ofrecer un vistazo a los laboratorios modernos en los cuales se trabaja en el proyecto de Genoma Humano. También se ofrece información básica sobre la estructura de ADN, de cómo se usan los genes y qué papel juegan en la construcción de las proteínas, que son esenciales para las funciones y procesos que se llevan a cabo dentro de una célula. Se habla del “alfabeto” de los genes, del uso de algunas palabras ejemplo y hasta de sinónimos que usa la naturaleza para cifrar los secretos más íntimos de los seres vivos. Durante las últimas décadas se han identificado todas las “letras” del genoma humano, es decir alrededor de

3200 millones de nucleótidos que constituye nuestro genoma. Esto no significa que ya sepamos exactamente cómo usa la célula la secuencia de letras para determinar todos los procesos necesarios para nuestro bien, y por ende toda nuestra existencia. Es decir, a pesar de los impresionantes avances, falta mucho por descifrar y comprender.

Parece que el rompecabezas que significa el genoma es mucho más difícil que la lectura de códigos de los antiguos mayas o egipcios. Sin embargo, se han logrado dar algunos pasos muy importantes para arrancar uno de los secretos más entrañables de la naturaleza. El conocimiento del genoma humano podría formar la base para el desarrollo de una nueva medicina personalizada con el nuevo paradigma de que además de curar enfermedades se debe usar la información genética para prevenir padecimientos. Se habla también de cómo se aplica la tecnología de ADN recombinante, la cual, entre otros fines, podría permitir la creación de vida artificial, aunque al momento este tópico es motivo de acalorado debate. Pero, independientemente de ello, el avance en el conocimiento de otros genomas nos permite contestar preguntas como, ¿qué tan pariente somos de un chimpancé o de una mosca de la fruta ó *Drosophila*? Los artículos de esta sección del libro incluyen instrucciones detalladas de cómo usar los bancos de datos públicos donde toda esa información genética está almacenada, incluidas las secuencias íntegras de los genomas completos. También se habla del plegado de proteínas, plegado que se “construye” a través del código genético, el cual, determina la secuencia de aminoácidos de la cual, a su vez, depende la estructura geométrica de la proteína.

Como un ejemplo de la aplicación del

conocimiento sobre la información genética se habla de la melanina, el pigmento que da el color a nuestra piel. Esta sustancia se podría usar en múltiples aplicaciones debido a su alta habilidad para absorber la radiación ultravioleta.

Otro aspecto que se toca en esta sección del libro es la función de la hemoglobina, una proteína sumamente importante para el transporte del oxígeno en nuestro cuerpo y que da el color rojo a nuestra sangre.

Un tema que también se toca en esta sección es el funcionamiento del cerebro humano: mientras que los genes definen el tipo de ser vivo (humano, elefante o mosca), su estatura y otras características, que en su conjunto llamamos fenotipo; el sistema nervioso central controla y organiza prácticamente todos los procesos que se llevan a cabo en un organismo. El cerebro es el puente de mando y por lo tanto define nuestro carácter, nuestra personalidad y nuestras habilidades mentales. Por lo tanto, la pregunta de cómo funciona este sistema no es menos fundamental que las preguntas acerca del código genético.

En esta rama de las ciencias el conocimiento que se ha acumulado durante las últimas décadas es impresionante. La aplicación del conocimiento adquirido en este campo ha permitido algo asombroso: recientemente se logró entrenar a una computadora para que adivinase en qué palabra estaba pensando una persona, únicamente analizando un

electroencefalograma. Se han logrado definir las regiones de la corteza que realizan funciones específicas y ya se construyó un mapa cerebral que indica en cuál parte del cerebro se procesa tal o cual tarea. Sin embargo, resulta que el cerebro no es tan estático como indica dicho mapa; por ejemplo, cuando alguna región del cerebro sufre daño, otra región puede “aprender” a tomar sus funciones, un fenómeno que se conoce como plasticidad cerebral. En fin, la investigación del funcionamiento del cerebro y de la dinámica cerebral se encuentra (después de cientos de años) en su inicio. Pero, aún no sabemos cómo se procesa toda la información con tanta velocidad y además con flexibilidad, tampoco sabemos el origen y la dinámica de muchas patologías cerebrales.

En resumen, esta sección del libro deja ver cuál es el avance actual de la investigación en algunos sistemas biológicos; ADN, proteínas y el cerebro. Los artículos permiten apreciar el gran esfuerzo de la comunidad científica durante las últimas décadas para llegar a este punto del conocimiento. Sin embargo, es igualmente claro que queda un mundo entero por descubrir y que se necesita de una nueva generación de jóvenes científicos, creativos y entusiasmados que dediquen su vida a disfrutar de conocer un poco más de la naturaleza y a conocer más de sí mismos.

Markus Müller
Joaquín Sánchez Castillo

Las secuencias de ADN y analogías con los lenguajes

Joaquín Sánchez Castillo

Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro y Presidente 2009-2010 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

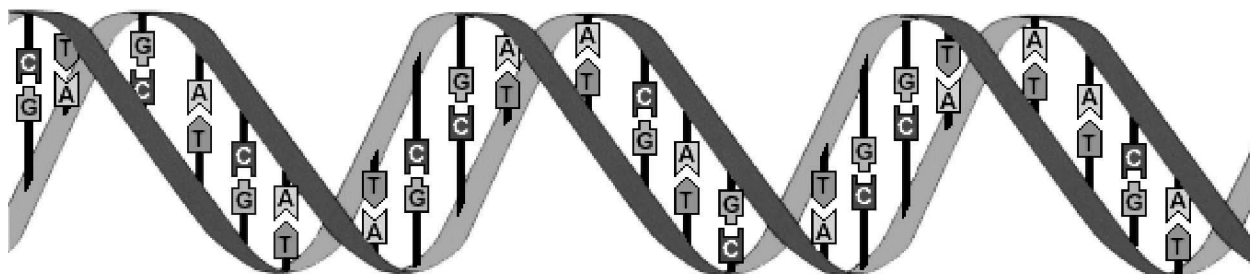
Como es prácticamente conocido por todos nosotros, la información genética (información que llevan nuestros genes) en plantas, animales y humanos está contenida en una molécula cuyo nombre abreviado es ya a todos familiar: el ADN (o DNA en inglés) y cuyas siglas en español derivan de *ÁCIDO DESOXIRRIBO NUCLEÍCO*. El ADN es un polímero (hecho de piezas individuales o monómeros) compuesto de 4 nucleótidos cuyos nombre se abrevian con las letras A (derivado de Adenina), C (Citosina), G (Guanina) y T (Timina). Así, una forma muy condensada de representar una molécula de ADN sería por ejemplo: GACTGGATGCTCCAGGATATA, donde cada letra simboliza un nucleótido. A este tipo de moléculas se les llama también secuencias de ADN, porque las 4 letras aparecen en sucesión, o secuencialmente como ocurre con las letras que forman cada palabra de este texto. Las secuencias de ADN son una especie de texto de instrucciones, ya que del orden de las letras A, C, G, T depende el orden de otros polímeros en nuestras células. Es decir, la secuencia de ADN es interpretada por la célula para la construcción de otros polímeros, los cuales son cruciales para las funciones celulares. En concreto, la secuencia de ADN, a través de una molécula intermediaria relacionada en composición llamada ARN (Ácido RiboNucleico), determina la secuencia de las llamadas proteínas. Los monómeros que forman a las proteínas son llamados aminoácidos, pero los aminoácidos son 5 veces más numerosos que los nucleótidos; es decir, hay 20 aminoácidos diferentes. Las secuencias de ADN (mediante el ARN) definen cuáles de los 20 aminoácidos se usarán para la proteína y también cuál será su orden o secuencia. La composición y orden de los aminoácidos en las proteínas es fundamental para sus propias características, de manera que la secuencia de aminoácidos de la proteína Mioglobina, que transporta oxígeno en nuestros músculos, es muy

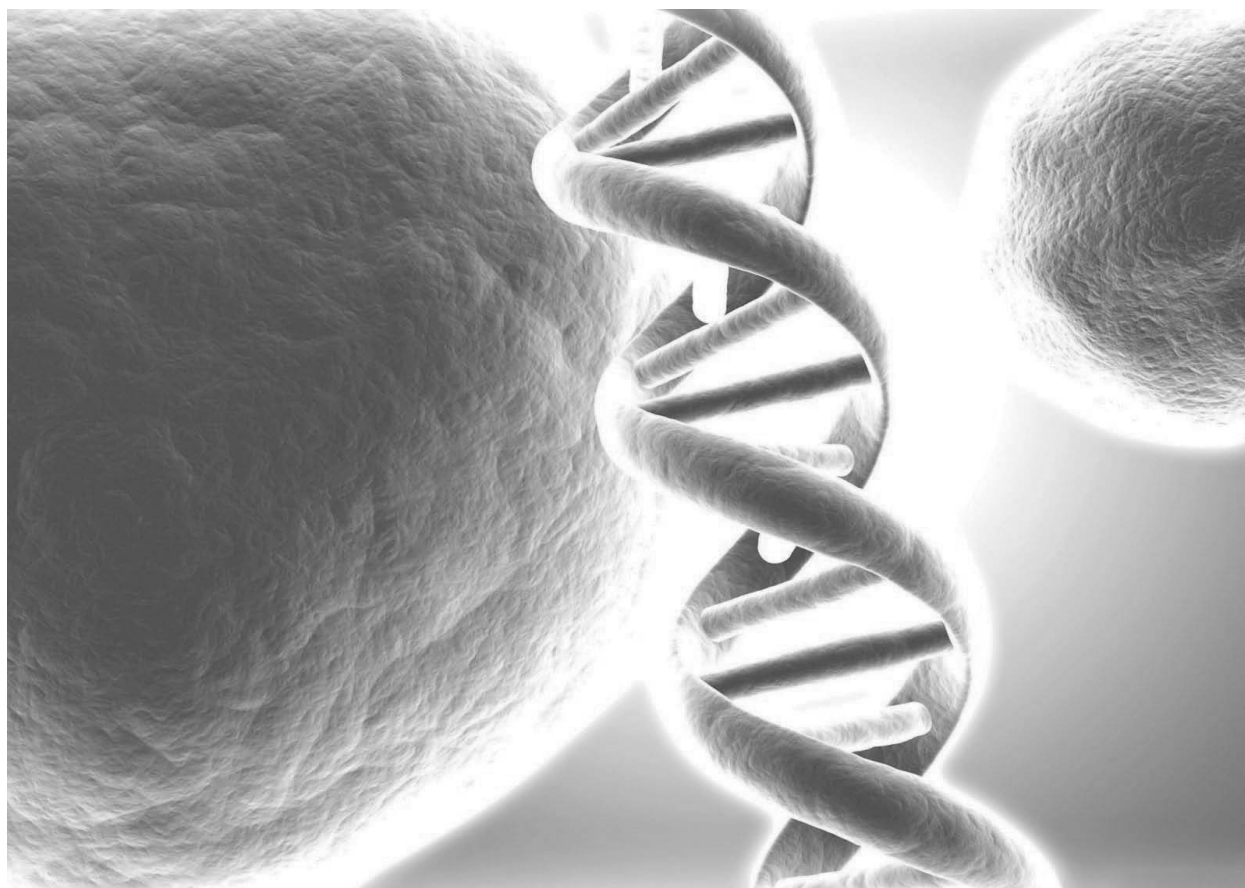
distinta a la secuencia de aminoácidos de la proteína Rodopsina en nuestros ojos, que nos sirve para detectar la luz. Aunque, hay también no pocos casos en los cuales proteínas de secuencia de aminoácidos distintas tienen funciones muy semejantes.

En la actualidad es de mucha importancia saber los detalles de las secuencias de ADN y del proceso de formación de proteínas al cual, dicho sea de paso, le llamamos traducción (con ARN como intermediario), como para los lenguajes, y en éste sentido la analogía es muy válida ya que las “letras” que forman al ADN (y al ARN) son distintas a las “letras” que forman a las proteínas, así que sería como traducir de un lenguaje a otro.

Al estar en la base de lo que sería una columna de información, el estudio de las secuencias de ADN es especialmente significativo y por ello los científicos se dieron a la tarea de determinar la secuencia de ADN del genoma humano. Es decir, han determinado el orden de los nucleótidos A, C, G y T (un total aproximado de tres mil millones de nucleótidos) y con ello, en principio, ya podríamos deducir cuál es la secuencia de todas las proteínas que componen a nuestras células. Pero, aún cuando la secuencia del genoma nos ha acercado mucho a ese punto, no estamos allí todavía, ya que la célula tiene mecanismos muy sofisticados, que a menudo incluyen, por ejemplo, un tipo de edición de las secuencias intermedias de ARN, lo cual en no pocas ocasiones impide predecir con precisión la secuencia proteica basándose sólo en la secuencia de ADN.

Mi interés en los años recientes ha sido el análisis de las secuencias de ADN y en particular el investigar cómo es que secuencias de ADN que a pesar de ser específicas para la misma proteína pueden tener un ordenamiento distinto de los nucleótidos A, C, G y T. Esta flexibilidad en contenido se debe a los detalles del proceso de traducción. Primero, sabemos que los





cuatro nucleótidos en el ADN no son interpretados de manera individual sino que son “leídos” o interpretados en grupos de tres, es decir en forma de palabras formadas por tríadas o tripletes. A esos tripletes se les conoce más comúnmente como codones (palabra derivada de código). Así, la información para colocar cada uno de los 20 aminoácidos en las proteínas depende de los codones. Por ejemplo, el codón ATG define la presencia del aminoácido Metionina, mientras el codón TGG define la presencia del aminoácido Triptofano. Por lo tanto, la secuencia de ADN escrita arriba se leería como una serie de 7 codones:

I) GAC_TGG_ATG CTC_CAG_GAT_ATA
y la secuencia correspondiente de 7 aminoácidos (cada aminoácido se simboliza con tres letras derivadas de su nombre) sería:

Asp_Trp_Met_Leu_Gln_Asp_Ile

Pero, ocurre que este proceso de traducción de ADN a proteína es un poco más complicado pues si bien Metionina y Triptofano requieren de un solo codón, todos los otros 18 aminoácidos son definidos por al menos 2 y hasta por 6 diferentes codones. Ello sería igual a decir que existen codones que son equivalentes. O, continuando con la analogía con los lenguajes, que en el ADN hay más de una palabra que

significa lo mismo, es decir que hay sinónimos. De hecho, a los codones que definen el mismo aminoácido se les ha nombrado precisamente codones sinónimos.

Así, si hiciésemos uso de codones sinónimos podríamos significar la misma secuencia de aminoácidos:

Asp_Trp_Met_Leu_Gln_Asp_Ile
mediante la nueva secuencia de ADN:

II) GAT_TGG_ATG_CTG_CAA_GAC_ATC

Esta secuencia de ADN es totalmente equivalente a la secuencia (I) escrita arriba pues el orden y tipo de aminoácidos es idéntico.

Si se comparan las secuencias de ADN (I) y (II) con detenimiento se hace evidente que los codones tienen parecido, es decir, las primeras dos letras o nucleótidos de cada codón o triplete son idénticas pero no así el tercer nucleótido. Claro, con la excepción de los codones para Triptofano y Metionina, que como se mencionó arriba no tienen codones sinónimos. Este parecido entre los codones sinónimos ocurre muy frecuentemente, aunque no es una regla absoluta.

Mis investigaciones actuales (teóricas) son sobre el ordenamiento de los codones sinónimos en los genes humanos y en los genes de otros organismos, pero les presentaré los detalles de mi trabajo en una contribución futura.

Los códigos moleculares de información en los sistemas biológicos

Raúl Arredondo Peter

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La información es esencial para el funcionamiento correcto de los seres vivos. Esto comprende desde el nivel molecular hasta la organización social. Por ejemplo, el lenguaje y la escritura están formados por códigos que contienen la información que permite comunicarnos. En este caso los códigos corresponden a las palabras (y a las reglas gramaticales), las cuales tienen un significado debido a las letras y el orden de las letras que las forman. Si una letra en la palabra es reemplazada por otra, el significado de la palabra cambia. Esto mismo sucede si se modifica el orden de las letras en una palabra. Tomemos como ejemplo a la palabra “miel”, la cual denota a la sustancia viscosa de sabor dulce que producen las abejas. Si sustituimos la letra “m” por “h” en la palabra miel resultará la palabra “hiel”, la cual denota a un componente de la bilis que se asocia con la amargura. Otro ejemplo es la palabra “monja”, la cual se refiere a una persona que pertenece a una congregación religiosa. Si el orden de las letras que forman a esta palabra se modifica se obtiene la palabra “jamón”, la cual se refiere a la carne curada de la pierna del cerdo. El significado y, por lo tanto, la información que contienen las palabras de los ejemplos anteriores es distinto. Evidentemente, el orden de las letras y las letras que forman a cada palabra es importante ya que corresponde a un código que contiene información específica.

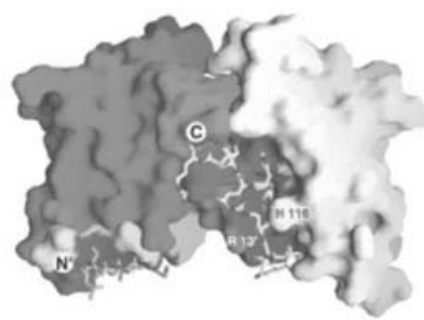
Esto mismo sucede al nivel molecular en los seres vivos. En términos generales, los seres vivos estamos formados por cuatro tipos de biomoléculas: las proteínas, los lípidos, los carbohidratos y los ácidos nucleicos. Entre ellas, los ácidos nucleicos y las proteínas son las biomoléculas que almacenan la mayor cantidad de información. Los ácidos nucleicos contienen la información genética de los organismos ya que determinan cuales serán las proteínas que se sintetizarán en una célula. A su vez, la información que está contenida en una proteína determina cuál será su estructura y, por lo tanto, su función en la célula. En estas moléculas la información está almacenada de igual manera a la información que contienen las letras de las palabras, es decir, en el orden y tipo de unidades que las forman. Para entender esto es necesario conocer la estructura de los ácidos nucleicos y las proteínas. Los ácidos nucleicos, como el ácido desoxirribonucleico (o ADN), están formados por cuatro nucleótidos distintos: adenina, guanina, citosina y timina (o uracilo si se trata del ácido ribonucleico, o ARN), a los cuales se les representa con las letras A, G, C y T (o U en el caso del uracilo), respectivamente. Por su parte, las proteínas están formadas por 20 aminoácidos diferentes, los cuales se agrupan en aquellos que carecen de carga eléctrica y los que tienen cargas positivas o negativas. Los ácidos nucleicos



(A)



(B)



(C)

(A) Piedra Rosetta que contiene jeroglíficos egipcios que corresponden a uno de los sistemas de escritura más antiguos. Su antigüedad data del año 196 A.C. (B) Molécula de ADN que muestra la secuencia de nucleótidos (A, T, G y C) en su interior. El ADN es la biomolécula en donde se almacena la información genética de los organismos. (C) Interacción entre dos proteínas. La proteína izquierda se muestra con color oscuro, y la proteína derecha se muestra con color claro. Estas proteínas interactúan entre sí debido a que la estructura superficial (que resulta de la secuencia de aminoácidos) de las dos moléculas es complementaria.

y las proteínas se relacionan entre sí mediante el código genético, el cual está formado por codones, o combinaciones de tres nucleótidos (letras). Los codones forman a los genes, y la secuencia de codones en un gen determina la secuencia de aminoácidos de una proteína. Así, el orden y tipo de nucleótidos o aminoácidos que forman a los ácidos nucleicos y las proteínas, respectivamente, determinan la información que contienen estas biomoléculas.

Además de la información para la síntesis (y la secuencia de aminoácidos) de una proteína, el ADN también contiene información para que un gen se encienda o apague. Tal es el caso de la secuencia TATA, la cual es necesaria para que un gen sea funcional (es decir, que se lea para la síntesis de una proteína). Si el orden de la secuencia anterior cambia a TTAA, o si algún nucleótido cambia de tal manera que la nueva secuencia sea distinta (TGTA o TCTG), la eficiencia en el funcionamiento del gen puede disminuir o desaparecer, lo que tiene consecuencias en el funcionamiento del organismo en donde surgió el cambio. A estos cambios en la secuencia de nucleótidos se les conoce como “mutaciones”, las cuales suceden también en la secuencia de nucleótidos de los genes, trayendo consigo un cambio en la secuencia de aminoácidos de una proteína. Por lo tanto, la secuencia y el tipo de unidades que forman al ADN son esenciales para que el código de información que contiene se procese correctamente.

Por su parte, las proteínas son las responsables del funcionamiento de la célula. Existen diferentes tipos de proteínas. Por ejemplo, la bacteria *Escherichia coli*, que habita en nuestro intestino, codifica en su ADN para más de cuatro mil proteínas distintas. Las diferencias entre las proteínas radican en la secuencia de los aminoácidos que las forman. Estas diferencias (y, por lo tanto, la secuencia de aminoácidos) determinan la manera en la que una proteína se pliega en el espacio; el plegamiento determina la función de cada proteína. Otra característica importante que influye en el plegamiento es la distribución de los aminoácidos en la secuencia de la proteína. Por ejemplo, algunas proteínas se localizan y funcionan en el citoplasma de la célula debido a que en su superficie existen aminoácidos que tienen cargas eléctricas (lo que les permite interactuar con el medio acuoso circundante). En cambio, en otras proteínas predominan los aminoácidos que carecen de cargas

eléctricas, lo que resulta en la insolubilidad en un medio acuoso. Estas proteínas (insolubles) se localizan, y funcionan, en las membranas de las células. Por lo tanto, la secuencia de aminoácidos contiene la información que determina cual será el plegamiento, localización celular y función de cada proteína. Esta información puede cambiar si suceden mutaciones en los genes, lo cual afecta la estructura y función de una proteína. Un ejemplo de ello son las enfermedades genéticas, como la anemia falciforme, en donde una mutación en el gen que contiene información para la síntesis de la hemoglobina da lugar a una proteína defectuosa. El resultado del funcionamiento defectuoso de la hemoglobina es una anemia severa en las personas que sufren esta enfermedad. En este caso el significado del mensaje original está modificado (como si deseáramos untar hiel a nuestro pan para endulzarlo). Actualmente, uno de los objetivos de la medicina genómica es detectar los genes mutados que dan lugar a enfermedades genéticas, debido a la síntesis de proteínas defectuosas, para substituirlos con las secuencias que contienen información para la síntesis de proteínas que funcionan adecuadamente.

La secuencia de aminoácidos no solamente determina el plegamiento de una proteína. Existen secuencias cortas en la estructura de una proteína que actúan como señales para que sucedan procesos de modificación proteica. Por ejemplo, algunas proteínas se activan cuando otras proteínas (llamadas cinasas) les unen químicamente un grupo fosfato en el sitio que contiene la secuencia de reconocimiento. En estas condiciones la proteína fosforilada está activa. Inversamente, la proteína activa es desactivada por otras proteínas (que se conocen como fosfatasas) que reconocen el sitio fosforilado para eliminar al fosfato, lo que resulta en la inactivación de la proteína. Este es uno de los muchos mecanismos que regulan la actividad de las proteínas. Actualmente existe interés en identificar la interacción entre diversas proteínas. Este proceso (que se conoce como “interactoma”) implica la interacción entre superficies proteicas (con un plegamiento particular) que son complementarias, y que resultan de secuencias específicas de aminoácidos. Estos procesos dependen de la existencia de códigos de información que están almacenados en las secuencias, cuya interpretación adecuada permite que las biomoléculas se comuniquen entre sí para el funcionamiento óptimo de los seres vivos.

La mosca de la fruta *Drosophila*, genes y enfermedades: lo que es de las moscas, es de los humanos

Mario Zurita Ortega

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La mosca de la fruta o del vinagre *Drosophila melanogaster* ha sido y se ha mantenido como la punta de lanza en los estudios de Biología del Desarrollo en animales y en muchos de los conocimientos de la Genética moderna.

Como ejemplo basta mencionar que usando *Drosophila* fue que se demostró que el material genético está en los cromosomas y que la radiación produce mutaciones en el ácido desoxirribonucleico (DNA). También, en la mosca se descubrieron los genes determinantes en el desarrollo en animales, incluido el humano, y la mayoría de las rutas de señales dentro de la célula y en la interacción entre células. *Drosophila* fue además utilizada como modelo para la secuenciación del genoma humano.

El uso de la *Drosophila* ha sido principalmente importante en el caso de enfermedades

neurodegenerativas, algunas enfermedades hereditarias así como en el estudio del cáncer. Además de la gran cantidad de sofisticadas herramientas genéticas y moleculares, un importante impulso fue la obtención del genoma completo de la mosca. Alrededor del 70% de los genes que hasta el momento se han identificado como relacionados con algún tipo de patología en humanos tienen un gen equivalente en *Drosophila*. Además, el descubrimiento de que el genoma humano solo tiene aproximadamente 3 veces más genes que la mosca aumenta la importancia del uso de *Drosophila* como modelo para entender el funcionamiento de genes que están presentes en ambos organismos y en particular los relacionados a enfermedades.

Existen una gran cantidad de genes que participan en diferentes procesos de diferenciación y en el control del ciclo celular que están involucrados en algún tipo





de padecimiento en humanos que también están en la mosca. Alrededor de dos tercios de los genes que se han identificado involucrados en la generación de algún tipo de cáncer, incluidos oncogenes y supresores de tumores, también están en *Drosophila*. Muchos de estos genes de *Drosophila* también pueden producir tumores en la mosca cuando son afectados por alguna mutación o son sobre-expresados.

La *Drosophila* ha servido también para entender el efecto de mutaciones en genes que al ser afectados en humanos producen diferentes síndromes hereditarios. Millones de personas alrededor del mundo sufren de problemas neurodegenerativos. Este es un problema que está en aumento ya que con el incremento en la longevidad de los humanos este tipo de padecimientos es cada vez más frecuente. El usar a *Drosophila* como modelo de enfermedades que afectan al sistema nervioso es idea del excepcional Físico, Inventor y Biólogo, Seymour Benzer. A principios de la década pasada, el grupo de Benzer identificó una serie de mutantes en diferentes genes de *Drosophila* que presentaban diferentes tipos de problemas en el sistema nervioso. Algunos ejemplos son sumamente espectaculares, por ejemplo, mutaciones en un gen producen un fenotipo esponjiforme y degenerativo similar a la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, enfermedad en humanos que es semejante al “mal de las vacas locas”. *Drosophila* ha mostrado que también es un excelente modelo para el mal de Parkinson, el mal de Huntington y el mal de Alzheimer. Por ejemplo, la expresión en el sistema nervioso de *Drosophila* del gene humano de la alfa-sinucleína, produce efectos neurodegenerativos similares a los que ocurren en pacientes con Parkinson afectados en este

gene. Este gen humano y cualquier otro se pueden introducir en el genoma de la mosca inyectando la secuencia de DNA que tiene la información para esta proteína en embriones tempranos. Este fragmento de DNA se incorpora en los cromosomas de las células que producen los ovocitos en las hembras, de tal manera que se puede transmitir a la siguiente generación de moscas. De esta forma existen moscas transgénicas que son modelo para el estudio de estas enfermedades.

El impacto que está teniendo el uso de *Drosophila* en el estudio de enfermedades en humanos es ya tan grande que importantes compañías biotecnológicas han adoptado a la mosca para encontrar nuevos fármacos para combatir diferentes enfermedades. En la actualidad existen modelos de *Drosophila* para diabetes, para problemas cardiacos (sí, la mosca también tiene un órgano equivalente al corazón), problemas degenerativos musculares, etc.

En conclusión, puedo afirmar que será en *Drosophila* donde se determinará la función de muchos de los genes que han sido identificados en los diferentes proyectos genómicos y que aún no sabemos qué papel tienen. También, puedo asegurar que usando a la mosca del vinagre aprenderemos mucho de las bases moleculares de enfermedades que afectan al ser humano.

Lecturas recomendadas.

Feany M.B. and Bender, W. (2000) A *Drosophila* model of Parkinson's disease. *Nature*, 240, 394-398.

Potter, C., Turenchalk, G.S., and Xu, T. (2000) *Drosophila* in cancer research. *Trends in Genetics*, 6, 33-39.

La ciencia genómica desde tu computadora

Iván Fernández Cruz

Estudiante de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Raúl Arredondo Peter

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Hoy en día los términos ADN (o Ácido Desoxirribonucleico) y genómica están en boca de todos. Pero, realmente ¿qué son?, ¿qué implican? y ¿para qué sirven? En términos sencillos, la genómica es una rama de las ciencias biológicas que se dedica al estudio de la estructura, función y evolución del genoma de los seres vivos. El genoma es la información genética de un organismo, y está formado por el ADN (aunque el genoma de algunos virus está formado por ARN, o Ácido Ribonucleico). En 1953, Watson y Crick descubrieron la estructura del ADN, lo cual permitió el desarrollo vertiginoso de la biología molecular, que, a la postre, permitiría el surgimiento de las ciencias genómicas. El ADN está formado por cuatro tipos de monómeros, llamados nucleótidos, que se conocen como Adenina, Timina, Citosina y Guanina, los cuales se representan con las letras A, T, C y G, respectivamente.

En sus inicios, el objetivo primordial de las ciencias genómicas fue conocer la secuencia completa de nucleótidos que forman el ADN (o genoma) del ser humano. El interés radica en que la secuencia

del ADN contiene, entre otras cosas, la información para que se sinteticen las proteínas necesarias para que un organismo funcione correctamente. A su vez, las proteínas están formadas por secuencias de 20 monómeros distintos llamados aminoácidos, los cuales se representan con letras diferentes (por ejemplo, los aminoácidos histidina, lisina y fenilalanina se representan con las letras H, K y F, respectivamente).

Cuando se secuencia el genoma de un organismo se obtienen cantidades inmensas de información, en la forma de nucleótidos (A, T, C o G), la cual se deposita de forma ordenada en las “bases de datos”. Las bases de datos están a la disponibilidad del público en general a través del internet, así que cualquiera de nosotros con acceso a una computadora conectada a internet puede ingresar a las bases de datos para conocer y utilizar la información que contienen. Una de las bases de datos más consultada es la que se conoce como GenBank, la cual se localiza en el Centro Nacional de Información Biotecnológica de los Estados Unidos de América, aunque también existen otras alrededor del Mundo. GenBank alberga, entre sus

NCBI **GenBank Overview**

PubMed Entrez **BLAST** OMIM Books Taxonomy Structure

Search Protein for cytochrome c AND pan tro Go

NCBI Home
NCBI Site Map
 Submit to GenBank
 Submit an update
 Search GenBank
 GenBank and RefSeq: a comparison
BLAST ←

► **What is GenBank?**

GenBank® is the NIH genetic sequence database, an annotated collection of all publicly available DNA sequences (*Nucleic Acids Research*, 2008 Jan;36(Database issue):D25-30). There are approximately 106,533,156,756 bases in 108,431,692 sequence records in the traditional GenBank divisions and 148,165,117,763 bases in 48,443,067 sequence records in the WGS division as of August 2009.

The complete [release notes](#) for the current version of GenBank are available on the NCBI ftp site. A new release is made every two months. GenBank is part of the [International Nucleotide Sequence Database Collaboration](#), which comprises the DNA DataBank of Japan (DDBJ), the European Molecular Biology Laboratory (EMBL), and GenBank at NCBI. These three organizations exchange data on a daily basis.

Figura 1. Página principal de GenBank. La flecha muestra la opción BLAST.

NCBI Resources How To

Protein
Translations of Life

Search: Protein Limits Advanced search Help

Display Settings: GenPept

Format

- ☐ Summary
- ☐ GenPept
- ☐ GenPept (full)
- ☒ FASTA
- ☐ Graphics
- ☐ ASN.1
- ☐ Revision History
- ☐ Accession List
- ☐ GI List

Apply

SOURCE: Pan troglodytes (chimpanzee)
ORGANISM: Pan troglodytes

Figure 2A. Página del citocromo c del chimpancé. La flecha muestra la opción FASTA que se despliega al hacer click en "Display Settings".

NCBI Resources How To

Protein
Translations of Life

Search: Protein Limits Advanced search Help

Display Settings: FASTA

cytochrome c [Pan troglodytes]

NCBI Reference Sequence: NP_001065289.1

```
>gi|115392119|ref|NP_001065289.1| cytochrome c [Pan troglodytes]
MGDVEKGGKIFIMKCSQCHTVEKGGKHTGPNLHGLFGKTKQAPGYSYTAANKNKGIWGEDTLMEYLE
NPKKYIPGTXMIFVGIIKKBERADLIAYLKATNE
```

Figure 2B. Secuencia del citocromo c del chimpancé en el formato FASTA.

diferentes datos, decenas de millones de secuencias de ADN y proteínas, desde los virus y las bacterias hasta los organismos superiores, como el ser humano. Estas secuencias las depositaron diversos laboratorios alrededor del mundo, incluyendo a algunos que se encuentran en nuestro país. El lector puede acceder, de manera gratuita, a la base de datos GenBank, a través de la dirección <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/>. Entre sus herramientas, GenBank contiene programas que permiten realizar análisis de diversa índole. Por ejemplo, el programa BLAST permite comparar dos o más secuencias de proteínas o de ADN con el fin de observar las similitudes y diferencias, o grado de parentesco, que existe entre ellas.

GenBank contiene otro programa que se llama Covalt, el cual permite utilizar secuencias de proteínas para realizar estudios evolutivos, es decir, de parentesco molecular por descendencia. En términos generales, Covalt alinea la secuencia de aminoácidos de dos o más proteínas, es decir, las compara una

contra la otra, y las agrupa de acuerdo con su similitud. Esto ha permitido utilizar proteínas para conocer la historia evolutiva de los organismos. Un ejemplo es la hemoglobina. Esta proteína transporta el oxígeno a través de la sangre a todo el cuerpo, y es común tanto a las bacterias como a los mamíferos. De esta manera es posible comparar la secuencia de aminoácidos de hemoglobinas muy antiguas, como las bacterianas, con otras recientes, como las del ser humano, e identificar los cambios estructurales y funcionales que sucedieron en estas proteínas a lo largo de más de 3,000 millones de años de evolución.

A continuación se ilustrará, con un ejemplo, el uso de la información y las herramientas informáticas que contiene GenBank. Seguramente el lector ha escuchado o leído sobre nuestro parentesco cercano con los primates, como el chimpancé, orangután y gorila. Pero, ¿alguna vez se ha preguntado si el parentesco va más allá del parecido físico? El análisis de las secuencias en las bases de datos permite obtener una respuesta. Esta

BLAST
Basic Local Alignment Search Tool

Home Recent Results Saved Strategies Help

NCBI/BLAST Home

BLAST finds regions of similarity between biological sequences. [more...](#)

New Aligning Multiple Protein Sequences? Try the COBALT Multiple Alignment Tool. [Go](#)

Basic BLAST

Choose a BLAST program to run.

nucleotide blast	Search a nucleotide database using a nucleotide query <i>Algorithms:</i> blastn, megablast, discontinuous megablast
protein blast	Search protein database using a protein query <i>Algorithms:</i> blastp, psi-blast, phi-blast
blastx	Search protein database using a translated nucleotide query
tblastn	Search translated nucleotide database using a protein query
tblastx	Search translated nucleotide database using a translated nucleotide query

Figure 3. Página principal de BLAST. La flecha muestra la opción "protein BLAST".

► NCB/ BLAST/ blastp suite

blastn blastp **blastx** tblastn tblastx

BLASTP programs search protein subjects using a protein query. [mo](#)

Enter Query Sequence

Enter accession number, gi, or FASTA sequence

MGDVEKGKKIFIMKCSQCHTVEKGGKHKTGPNLHGLFGRKTGQAPGYSYTAANKNKGIWGEDTLM
EYLE
NPKKYIPGTMIFVGIKKKEERADLIAYLKATNE

Query subrange

From

To

Or, upload file No file chosen

Job Title

Enter a descriptive title for your BLAST search

☒ Align two or more sequences

Enter Subject Sequence

Enter accession number, gi, or FASTA sequence

MGDVEKGKKIFIMKCSQCHTVEKGGKHKTGPNLHGLFGRKTGQAPGYSYTAANKNKGIWGEDTLM
EYLE
NPKKYIPGTMIFVGIKKKEERADLIAYLKATNE

Subject subrange

From

To

Or, upload file No file chosen

Program Selection

Algorithm ☒ blastp (protein-protein BLAST)

Search protein sequence using Blastp (protein-protein BLAST)
☐ Show results in a new window

► [Algorithm parameters](#)

Figura 4. Página principal de "protein BLAST".

no es una tarea que sólo los científicos pueden realizar, sino el público en general mediante el uso de las bases de datos. Realicemos un ejercicio que nos permitirá conocer el parentesco molecular del ser humano con otros primates. La proteína a utilizar es el citocromo c, la cual se distribuye ampliamente en los seres vivos, y su función principal radica en la producción de energía. En este ejercicio se comparará la secuencia del citocromo c del chimpancé y la del ser humano, cuyos nombres científicos son *Pan troglodytes* y *Homo sapiens*, respectivamente. El lector puede acceder a la página de GenBank usando la dirección <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/>. En el recuadro "search" se elige la opción "protein" y en el recuadro "for" se escribe "cytochrome c AND pan troglodytes" (Figura 1) y se da click en "GO". Posteriormente aparece una ventana que contiene el resultado de la búsqueda. Se da click en la leyenda que dice "cytochrome c [Pan troglodytes]", y aparecerá una ventana que muestra, entre varias cosas, la secuencia de la proteína, esto

es, los aminoácidos que forman al citocromo c del chimpancé representados con letras del alfabeto (por ejemplo, MGDV, en donde cada letra es un aminoácido). Posteriormente, se da click en la opción que dice "display settings", se selecciona "FASTA" y se da clic en "apply" (Figura 2A), lo que permite visualizar únicamente la secuencia de la proteína (Figura 2B). A continuación se obtiene la secuencia del citocromo c del ser humano. Se abre una ventana nueva para la página de GenBank, en el recuadro "search" se elige la opción "protein", en el recuadro "for" se escribe "cytochrome c AND homo sapiens" y se da click en "GO". Aparecerá una ventana con los resultados de la búsqueda, se da click en el primero, es decir, el que dice "cytochrome c [Homo sapiens]", y se desplegará una ventana similar a la que se obtuvo para el citocromo c del chimpancé. Posteriormente se da click en "FASTA" para desplegar la secuencia de la proteína del citocromo c del ser humano. Ahora el lector tiene las secuencias de los citocromos c del chimpancé y el ser humano. A

▼ Alignments ←

☐ Select All [Get selected sequences](#) [Multiple alignment](#)

```
>lcl|48771 unnamed protein product
Length=105
```

```
Score = 216 bits (549), Expect = 8e-62, Method: Compositional matrix adjust.
Identities = 105/105 (100%), Positives = 105/105 (100%), Gaps = 0/105 (0%)
```

```
Query 1      MGDVEKGKKIFIMKCSQCHTVEKGGKHKGTGPNLHGLFGRKTGQAPGYSYTAANKNKGIIW 60
             MGDVEKGKKIFIMKCSQCHTVEKGGKHKGTGPNLHGLFGRKTGQAPGYSYTAANKNKGIIW
Sbjct 1      MGDVEKGKKIFIMKCSQCHTVEKGGKHKGTGPNLHGLFGRKTGQAPGYSYTAANKNKGIIW 60

Query 61     GEDTLMEYLENPKKYIPGTMIFVGIIKKKEERADLIAYLKKATNE 105
             GEDTLMEYLENPKKYIPGTMIFVGIIKKKEERADLIAYLKKATNE
Sbjct 61     GEDTLMEYLENPKKYIPGTMIFVGIIKKKEERADLIAYLKKATNE 105
```

☐ Select All [Get selected sequences](#) [Multiple alignment](#)

Figura 5. Alineamiento del citocromo c del chimpancé y el humano. "Query" es la secuencia del chimpancé y "Sbjct" es la secuencia del ser humano. La secuencia que se encuentra entre las secuencias "Query" y "Sbjct" muestra las posiciones que son idénticas entre las dos secuencias.

continuación las comparamos entre sí con la ayuda del programa BLAST. Para este fin, se abre una ventana y se accede una vez más a la página de GenBank, se da click en "BLAST" (Figura 1), aparece una ventana nueva y se da click en "protein blast" (Figura 3). Aparecerá una ventana en donde es necesario pegar en el recuadro vacío la secuencia de la proteína del chimpancé (Figura 4). Posteriormente se selecciona en la misma página la opción "Align two or more sequences" y aparecerá otro recuadro vacío en donde se pega la secuencia de la proteína del ser humano. Se da click en "BLAST", y al cabo de unos segundos aparecerá una página con varios datos. Sin embargo, lo que nos interesa por ahora es la parte superior de la

página en donde dice "Alignments" (Figura 5). En esta parte aparecen las dos secuencias alineadas (es decir, una sobre la otra). Al comparar, posición por posición, los aminoácidos de las secuencias alineadas es posible observar que no hay diferencias entre los citocromos c del chimpancé y el ser humano. Por lo tanto, al nivel de la secuencia de aminoácidos del citocromo c, somos idénticos al chimpancé.

Invitamos al lector a que, desde su hogar, salón de clases o un café internet ingrese a GenBank, explore y maneje la información que contiene, se plantee una pregunta e intente responderla mediante el uso de esta base de datos. Esto le permitirá formar parte de la era genómica.

Genes, genomas y metagenomas: de Mendel a Venter

Enrique Merino

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Frecuentemente se relaciona al genoma con “el libro de la vida”. Esta analogía se debe a que ambos pueden ser leídos secuencialmente, de principio a fin, una letra tras otra, y porque en el genoma se encuentra la información necesaria para hacer de cada organismo un ser vivo. El alfabeto con que está escrito este libro es extremadamente sencillo. Consta de tan solo cuatro caracteres a los que se les han asignado las letras A, C, G, T, por el nombre de las bases nitrogenadas a las que hacen referencia: Adenina, Citosina, Guanina y Timina. Dichas bases son parte de los nucleótidos, que a su vez constituyen un tipo de molécula a la que llamamos DNA (por sus siglas en inglés: Deoxyribonucleic Acid). Hasta la fecha hemos leído en su totalidad más de un millar de genomas de organismos diferentes, desde los más sencillos, como el de las bacterias, hasta los más complejos, incluyendo al humano.

¿Qué tan bien entendemos lo que hemos leído en los genomas? ¿Qué tan complejo ha resultado el contenido del libro y cuáles son los elementos conceptuales que hemos desarrollado para su análisis? Aunque cualquier recopilación histórica se enfrenta con el problema de “¿desde dónde empezar la crónica?”, no hay duda de que una de las piedras angulares en nuestro conocimiento fue el trabajo de Gregor Mendel,

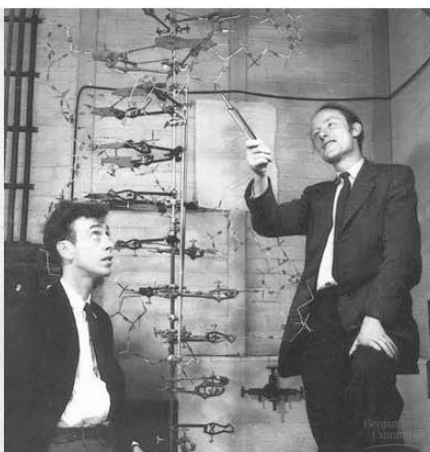
quien en 1865 elaboró las primeras bases matemáticas para la descripción de los procesos de la herencia y la predicción de las características observables de un organismo (fenotipo), a partir de lo que llamó elementos de información hereditaria (genotipo). Unas décadas más tarde, Walter Sutton demostró que los elementos de información hereditarios descritos por Mendel se encontraban en el interior de todas las células y que presentaban estructuras alargadas, a las que llamó “cromosomas”. De manera análoga a los distintos capítulos que contiene un libro, el genoma de un organismo tiene desde uno hasta varios cromosomas. Pocos años después, Wilhelm Johannsen acuñaría el nombre de “genes” para la unidad de información hereditaria contenida en los cromosomas.

Si bien era claro que los genes contenidos en los cromosomas codificaban para la información genética de los organismos, aún quedaban por resolver varias interrogantes: ¿cómo puede ser utilizada esta información para codificar macromoléculas más complejas, como son las proteínas? Las aportaciones conceptuales de diversas investigaciones realizadas durante la segunda mitad de la década de los cincuenta y principios de los sesenta, permitieron a Francis Crick formular el llamado dogma central de la Biología Molecular, en donde se explica que el DNA



Gregor Mendel

Se establecen las primeras bases matemáticas de la herencia (1865)



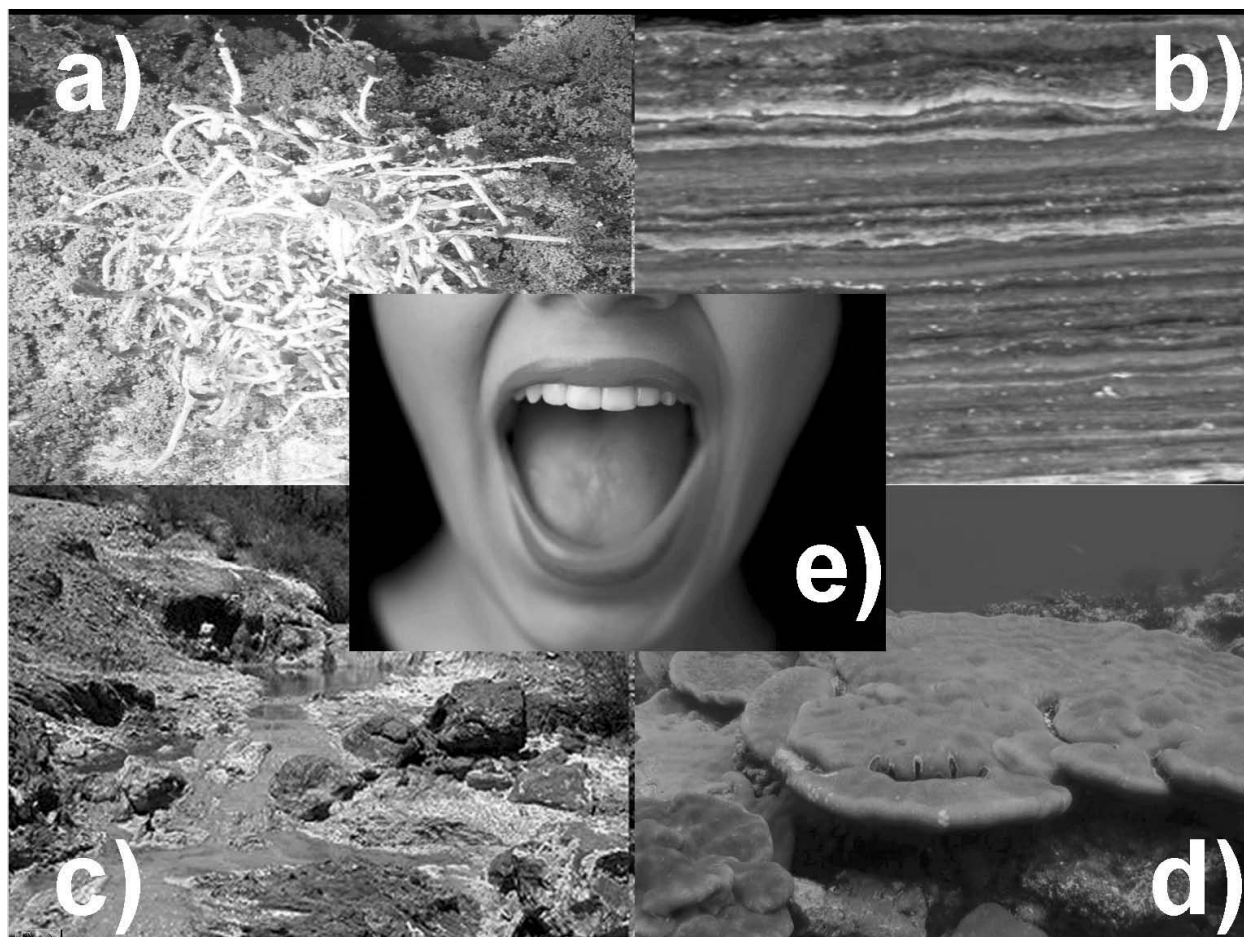
James Watson y Francis Crick

Se resuelve la estructura del DNA (1953)



Craig Venter

Se secuencian los primeros metagenomas (2004)



EJEMPLOS REPRESENTATIVOS DE ESTUDIOS METAGENÓMICOS. Las nuevas metodologías de secuenciación del DNA han permitido que actualmente puedan ser secuenciados simultáneamente los genomas de miles de diferentes organismos dentro de su entorno natural. Este nuevo tipo de secuenciación de metagenomas, permite extender nuestro conocimiento genético y metabólico de organismos que no pueden ser cultivados en el laboratorio para su caracterización. a) Muestras recolectadas en respiraderos hidrotérmicos en las profundidades de un volcán en el Océano Pacífico. Este ecosistema se encuentra entre los ambientes más extremos de la Tierra. b) Biopelícula que crece sobre el agua acidificada por escurrimiento de una mina de hierro abandonada. El ambiente hostil de este entorno hace que la diversidad bacteriana sea muy reducida. c) Comunidad bacteriana de suelo hipersalino en Guerrero Negro. Como puede observarse en la fotografía, la diversidad microbiana varía importantemente con la profundidad de la muestra analizada. d) Comunidades microbianas de aguas profundas del mar. En este tipo de ecosistemas viven organismos responsables del reciclamiento del carbono, nitrógeno y azufre que ayudan a mantener la vida en la Tierra. e) Comunidad microbiana de la boca. En ella pueden vivir más de 600 especies diferentes de bacterias. En muchos casos, los organismos que viven en este ecosistema son responsables del estado de salud del individuo.

puede dirigir su propia síntesis en un proceso llamado replicación, y que en un paso posterior, llamado transcripción, el DNA también sirve como molde para la síntesis del RNA, otro ácido nucleico similar al DNA. Finalmente, la información contenida en el RNA podría ser empleada para dirigir la síntesis de las proteínas en un proceso llamado traducción.

Las proteínas son componentes esenciales de cualquier ser vivo y están formadas por 20 diferentes tipos de aminoácidos. Hoy en día sabemos que la composición y orden secuencial de los aminoácidos determinan la estructura y función de las mismas, que a su vez están predefinidas por la secuencia nucleotídica del DNA. Por lo anterior, una de las primeras inferencias del análisis de la secuencia de un genoma consistió en determinar el posible conjunto de proteínas que tendría el organismo en cuestión. De ahí

el interés que se tiene en secuenciar el mayor número de genomas de la manera más completa incluyendo el nuestro: el genoma humano.

Mucho se ha hablado sobre el proyecto de secuenciación del genoma humano. Su realización ha requerido la colaboración de varios centros científicos internacionales. Cabría preguntarnos si nuestro interés antropocéntrico ha tenido el fruto esperado. Con la esperanza de que la determinación de este genoma ayude a la implementación de nuevas terapias génicas y a la realización del diagnóstico molecular de diversas enfermedades hereditarias, la industria genómica mundial ha invertido más de 60 mil millones de dólares en la investigación del genoma humano. Paradójicamente, menos de cinco por ciento de los tres mil millones de bases del genoma humano codifica para genes. El resto de la secuencia contiene un

número inesperadamente alto de secuencias repetidas que dificultan la labor de identificación de regiones que contienen genes y, en consecuencia, reduce la utilidad de la secuenciación de nuestro genoma.

Es importante considerar que, tanto en el genoma humano como en el de otros organismos superiores, los genes transcritos en moléculas de RNA pueden ser editados y procesados mediante la eliminación de regiones llamadas intrones. Los fragmentos restantes o exones son unidos para dar lugar a RNAs maduros. Dependiendo de este proceso de edición, un mismo gen puede dar origen a diferentes variantes de RNAs que, una vez traducidos, darán origen a sus correspondientes proteínas. Se estima que cerca de 38 por ciento de los genes en el humano son procesados de esta manera y que en promedio dan origen a 3.7 transcritos distintos por gene. Determinar correctamente los sitios de corte de intrones a partir del análisis de las secuencias nucleotídicas es, por tanto, de gran importancia y constituye un gran reto dentro del campo de la Bioinformática como de la Biología Molecular experimental.

En adición a la secuenciación individual de genomas específicos, los avances en las tecnologías de secuenciación han hecho posible que a principios de nuestra década se realice un nuevo tipo de secuenciación: la secuenciación de metagenomas. En este caso, los microorganismos cuyo genoma (DNA) será secuenciado no requieren de ser aislados de

manera individual, sino que muestras de DNA de miles de ellos pueden ser obtenidas directamente de su entorno natural y secuenciadas simultáneamente. Uno de los primeros ecosistemas secuenciados de manera masiva fue el de los microorganismos que viven en el Mar de los Sargazos, una región del océano Atlántico septentrional que se caracteriza por sus aguas tranquilas, y la abundancia de plancton y algas. De acuerdo con el responsable principal de este proyecto y también director del Proyecto del Genoma Humano, Craig Venter, puede existir mayor información genética en el conjunto de organismos que viven en un litro de agua de mar, que la existente en el genoma humano. ¿Qué podemos aprender de un proyecto metagenómico como el anteriormente mencionado? Sin duda alguna, la promesa de este tipo de proyectos, para la comunidad científica, es la caracterización de genes con los que se generen nuevas moléculas que puedan ser utilizadas en la elaboración de fármacos o tipos novedosos de compuestos industriales, o bien la identificación de nuevas vías metabólicas a partir de las cuales se pueda realizar la conversión de la luz solar en energía.

Si bien este siglo ha sido una época caracterizada por grandes cambios científico-tecnológicos que han dado origen a la secuenciación masiva de genomas y metagenomas, es fácil suponer que pronto seremos testigos de nuevos y aún más asombrosos cambios en las llamadas Ciencias Genómicas.

La Medicina Genómica y su potencial para transformar los servicios de salud

Xavier Soberón Mainero

Director del Instituto Nacional de Medicina Genómica
Miembro y Presidente 2005-2006 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

En una contribución anterior en este libro, el Dr. Enrique Merino ha explicado lo que conocemos como ciencias genómicas y la importancia del conocimiento de los genomas completos; esta capacidad reciente que tenemos de compilar todas y cada una de las letras que constituyen el libro genético de un organismo vivo. Yo quiero insistir en que la consecuencia de tener el catálogo de todos los genes humanos (y de todos los genes de miles de microorganismos y decenas de otras especies de plantas y animales) es una verdadera transición cualitativa. Un auténtico cambio de paradigmas. Es cierto, debemos reconocer que el registro de la secuencia genética completa dista mucho de constituir un conocimiento de la biología de un ser vivo, pues representa solamente una “receta” o instrucciones para su armado y funcionamiento, para cuya comprensión cabal se requerirán varias generaciones de científicos. Pero el mero hecho de contar con el referente del total de la información básica de los genes abre un gigantesco abanico de posibilidades.

LA META DE LA MEDICINA GENÓMICA

Desde el inicio del gran proyecto del genoma humano, una de las motivaciones principales para impulsarlo fue el efecto drástico esperado en la práctica de la medicina que tal conocimiento

conllevaría. Recuerdo que en una visita a México en 1989 el Dr. Leroy Hood declaró con absoluta convicción a los periodistas que lo entrevistaban en Veracruz que el desciframiento del Genoma Humano, que en esos años se planteaba como un proyecto de inminente lanzamiento, revolucionaría la práctica de la medicina. Leroy Hood es un investigador visionario que participó en la automatización de los métodos de secuencia de ADN y es fundador del Instituto de Biología de Sistemas en Seattle, siempre adelantado a su tiempo. Veinte años han transcurrido, los primeros diez empleados para lograr el ambicioso objetivo de descifrar el genoma, y nos encontramos plenamente en el escenario planteado por Hood.

La transformación de la medicina cuyos albores estamos ya viviendo se sustenta en la potencia de las nuevas tecnologías, pero tendrá gran profundidad y amplitud de ámbitos de influencia. Veamos.

PROFUNDIDAD DE LA TRANSFORMACIÓN EN MEDICINA. NUEVOS PARADIGMAS.

El contar con la secuencia completa del Genoma Humano no solo permite indagar directamente esta información para intentar entender su significado. También posibilita un sinnúmero de enfoques experimentales que antes serían impensables. Esta diferencia tiene mucho que ver con la escala en que

Tabla 1

Característica	Número o Tamaño	Observaciones
Tamaño total del genoma	Aprox. 3,000 millones de pares de bases	Puede variar el tamaño entre individuos aprox. 1 %
Número total de “genes”	Incierto, aprox. 50,000	Múltiples fenómenos lo complican: edición alternativa, RNA pequeño
Variación entre un individuo y otro	0.1-0.3 % (4 millones de SNPs; 1 millón otros eventos)	80 % eventos de una sola base (SNPs). 70 % de las bases en inserciones o deleciones

NOMENCLATURA: Se entiende por “par de bases” a la unidad o letra básica de información genética; “edición alternativa” y el “RNA pequeño” se refiere a componentes de la expresión genética de reciente descubrimiento; los “SNPs” (single nucleotide polymorphisms) constituyen las variaciones mas frecuentes entre un individuo y otro, y corresponden a eventos simples de mutación que cambian una letra por otra; “inserciones” y “deleciones” se refiere a pérdida o ganancia de información genética.

se pueden generar los datos. En la Tabla 1 se pueden ver algunos de los parámetros establecidos para el genoma humano y para la diversidad genética de nuestra especie.

Las modernas técnicas de caracterización molecular generan miles, o hasta millones, de datos sobre diversidad genética o sobre funcionamiento de los genes en cada experimento. Es bien sabido que en la mayor parte de las enfermedades interviene algún componente de origen genético, desde las llamadas “mendelianas” donde el defecto de un solo gene es responsable del padecimiento, hasta las llamadas “complejas” o “multifactoriales”, que son la mayoría y en donde los efectos genéticos provienen de varios genes y su interacción con el entorno. Es claro que la finura de la moderna caracterización genómica conllevará la reclasificación misma de muchos padecimientos, pues permitirá catalogar los genes que intervienen, aún cuando su efecto sea pequeño. Además, será factible de manera creciente obtener estos datos para cada paciente y para diferentes tejidos en los pacientes.

El solo volumen de los datos, aunado a la compleja relación potencial entre los componentes biológicos que representan, indica que la interpretación de los datos requerirá profesionales distintos a los actuales, expertos en el uso de sistemas informáticos y del análisis de sistemas complejos en el área de la salud. Por otra parte, estos análisis permitirán una capacidad diagnóstica predictiva creciente. Y prevenir es más eficiente que curar.

Los cambios de paradigma que hemos esbozado sugieren que la transformación inducida por la Medicina Genómica será profunda. Es claro, en primer término, que se posibilitará transitar a una visión personalizada y más sistémica e integrativa de la condición de salud-enfermedad. Esto contrasta fuertemente con las características prevalentes en la actualidad: una visión de “enfermedades prototípicas”; y reduccionista, limitada a unos cuantos síntomas y elementos de análisis. La capacidad de diagnóstico sofisticada y personalizada, se acompañará de un aumento en la generación y utilización de agentes terapéuticos más especializados, para subpoblaciones y para modalidades particulares de los padecimientos. Además, se ajustarán medicamentos y dosis dependiendo de la manera de procesarlos de los

pacientes, misma que se podrá inferir en muchos casos de un análisis relativamente sencillo de marcadores genéticos. Estas aproximaciones se conocen con el nombre de farmacogenómica.

Y claramente se puede deducir la otra transformación que se anticipa: al disponer de una capacidad predictiva más precisa y poderosa la enfermedad se combatirá de manera anticipada, con medidas preventivas, en forma creciente.

ÁMBITOS DE LA TRANSFORMACIÓN

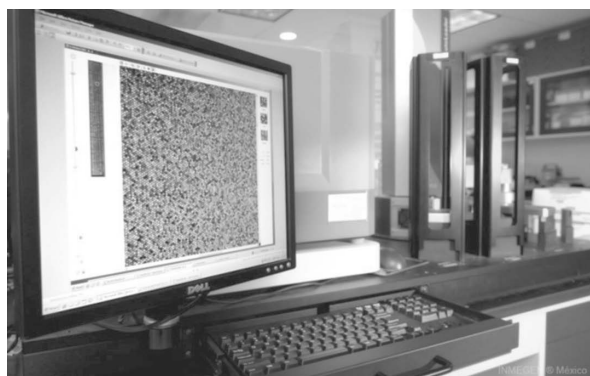
Un reto importante se da en el área de las tecnologías analíticas. Estas tecnologías han sido el motor fundamental de la revolución genómica, pero se hace necesario adaptarlas para diferentes niveles de atención. El rápido paso en la evolución de las plataformas disponibles (conocidas como “bio-chips”, “métodos de secuenciación de siguiente generación”, etc.) requiere una gran capacidad de adaptación y agilidad en la toma de decisiones, pues su avance es extremadamente acelerado.

Por otra parte, es claro que será indispensable sostener un programa muy dinámico de modificación de planes y programas de estudio en las escuelas de medicina. Este es también un reto mayor, tanto por lo incierto de la manera precisa de realizarlo, como por la resistencia que se anticipa por los esquemas prevalentes. Por supuesto, también será menester implementar programas de educación continua para los profesionales de la salud en activo, pues el conocimiento de alternativas diagnósticas y cursos terapéuticos provenientes de enfoques genómicos será un insumo de gran valor para la práctica de la mayor parte de las especialidades.

Otra consecuencia es que será necesario revisar el modo de atención al paciente, pues los elementos mencionados sugieren que el propio paciente tendrá mucho más que hacer y decir respecto al cuidado de su salud. Se tratará de un proceso mucho más participativo, que requerirá complementar a la intervención propiamente clínica con la de orden psicológico y personal, para poner en contexto la información potencialmente perturbadora asociada a las nuevas capacidades predictivas.

En resumen, con el advenimiento de las ciencias genómicas está surgiendo paulatinamente una medicina de 4 Pes: más Personalizada, más Predictiva, más Preventiva y más Participativa. Pero es paradójico que, aunque el revolucionario proceso inducido por la genómica y biología de sistemas deberá hacer avanzar rápidamente tanto el diagnóstico como el tratamiento de muchas enfermedades, subsistirá, tal vez siempre, un rezago entre lo que se comprende y lo que se puede revertir, y entre lo que se predice y se logra prevenir.

Fuera de la perspectiva de este artículo (para tratar en alguna entrega futura), pero digno en cualquier caso de mención, por su capital importancia, es el ámbito de la comunicación de estos avances y del seguimiento y regulación de sus implicaciones éticas, legales y sociales.



¿Qué es la biología sintética?

El genoma fabricado por el Venter Institute

Xavier Soberón Mainero

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 2005-2006 de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Eran las 14:30 del jueves 26 de agosto de 2004 (la fecha es importante de observar). Restaurante San Angel Inn. Me acerco a la mesa en la que ya se encontraban departiendo varios colegas que, como yo, estaban invitados para compartir la comida con el famoso J. Craig Venter. Después de un rato (y un tequila) la conversación continuaba muy animada y giraba alrededor de la expedición que este personaje notable de la ciencia y los negocios biotecnológicos hacía en su yate “Sorcerer II” alrededor del mundo. En algún momento el tema varió ligeramente, hacia el área de investigación que yo cultivo. ¿Y tú que haces?, me preguntó Venter. Al conocer que parte de mi trabajo implicaba la síntesis química del ADN se animó nuevamente y me preguntó si había leído una de sus publicaciones recientes en ese campo. Se trataba de la síntesis total del genoma de un virus bacteriano.

Perdón lector, un segundo. Tal vez te estés preguntando: ¿Qué es eso de la “síntesis total”? ¿Qué es exactamente un “genoma”? Trataré de explicar un poco más desde el principio.

Seguramente recuerdas que el ADN, material químico de la herencia, se encuentra presente en todas las células; su estructura es de una larga sucesión (como un collar de cuentas) de 4 componentes distintos. Su mensaje está codificado en la secuencia precisa en la que se encuentran estos componentes. Pues bien, dado que el ADN es una sustancia química, es susceptible de ser manejada por los químicos. La “síntesis” del ADN consiste en ir tomando cada uno de los 4 componentes (A, G, C y T), de sendos tubos de ensayo, e irlos uniendo uno por uno, con el orden predeterminado, creando así pequeños segmentos del collar de cuentas que constituye el ADN. Hoy día se pueden fabricar en el laboratorio pedacitos de ADN (que llamamos oligos) de hasta 100 “letras” de manera rutinaria. Pero resulta que los seres vivos contienen segmentos de ADN muchísimo más grandes. Cada uno de los 46 cromosomas humanos, por ejemplo, contiene decenas o cientos de millones de letras en su hebra de ADN. Una célula de bacteria, en contraste, contiene “solamente” unos cuantos millones (y las bacterias más simples, menos de medio millón). Y para regresar a donde empezamos, los virus pueden contener unos cuantos miles de bases. Así que la síntesis total de un virus implicaba poner juntos cientos de pedacitos de

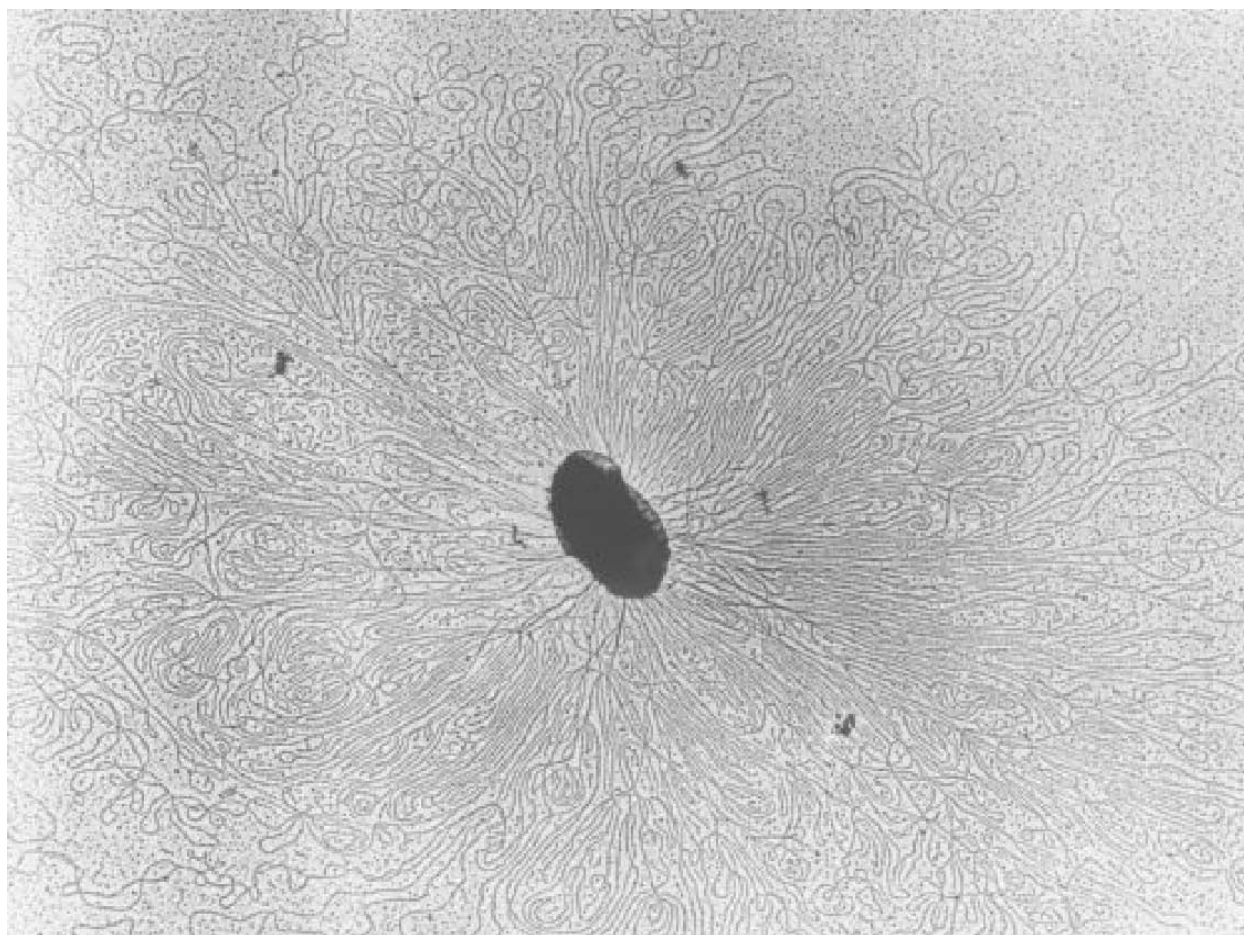
menos de 100 bases hasta construir la hebra completa de 5000 bases constitutiva de todo el virus, es decir la síntesis total de su genoma. A 30 años de iniciarse el campo del ADN sintético esto aún representaba un reto importante.

Cuando Venter me preguntó si había leído su artículo no pude decirle que no. Después de todo J. Craig Venter es un notable científico y empresario, que impulsó, ni más ni menos, el componente comercial del proyecto del genoma humano. Su atractivo entre los inversionistas es legendario y, por cierto, su instituto de investigación acaba de anunciar la semana pasada (febrero de 2008) que ya lograron la síntesis total de un nuevo genoma: ¡ahora el de una bacteria, cuyo tamaño es de 582,970 bases!

La realidad es que yo había solo hojeado el artículo, porque su *abstract* lo resaltaba como un paso para “crear vida”, lo cual me pareció ridículo y alejó mi interés. Después (llegué a mi casa a buscar y leer el artículo) me di cuenta de que representaba una soberbia aportación desde el punto de vista técnico a la síntesis fidedigna de fragmentos grandes de ADN.

En todo caso, Venter me dijo desde entonces que ese artículo reportaba un paso importante hacia su objetivo ulterior, que era sintetizar completamente el genoma de una bacteria y echarlo a andar dentro de una célula a la que le habrían de quitar su propio cromosoma. Más aún, me dijo que esto lo lograrían ¡en menos de dos años! Yo inmediatamente repliqué: ¿cuánto apuestas a que no lo logras? Venter replicó que me apostaba 50,000 dólares. Esto automáticamente terminó con la discusión, pues yo no disponía de esa suma para apostar. Lo triste es que yo hubiera ganado la apuesta. Los artículos del Venter Institute en donde se trasplanta un cromosoma completo de una bacteria a otra, y en donde se verifica la síntesis total de un genoma bacteriano datan de Agosto de 2007 y Febrero de 2008, respectivamente.

Bueno, pero no hemos abordado aún las preguntas del título de esta nota. ¿Qué es la biología sintética y qué significa el reciente anuncio sobre la síntesis total de un cromosoma de bacteria? El concepto general detrás de este campo es que disponemos de las herramientas para diseñar y construir genes (y ahora, genomas), sin restricción alguna sobre la información que queramos codificar en el ADN sintético. Esto, a



Fantasma de célula de E. coli. con el ADN de su cromosoma (genoma) desparramado y sombreado.

su vez, deberá permitir la manipulación irrestricta de sistemas vivos. Esto es, en teoría, cierto, y también bastante perturbador para muchas personas. Por eso de inmediato surgen las voces de alarma, y el anuncio del Instituto Venter desata comentarios en muchos medios. La verdad es que estamos todavía muy lejos de poder diseñar sistemas vivos realmente novedosos. Y no me refiero a los dos años que no aposté con Craig Venter. Me refiero a varias décadas, por lo menos.

Más precisamente, lo que quiero decir es que, aunque el Venter Institute pueda construir un genoma de 500,000 bases puramente sintético, y justificadamente presumir su proeza, eso no quiere decir que pueda diseñar dicho cromosoma. Simplemente lo copiaron de uno natural. La biología sintética se encuentra en este momento en la etapa de

diseñar pequeños sistemas, modificando un gene a la vez, o tal vez creando circuitos genéticos hechos con genes naturales pero modificados en su regulación, por ejemplo.

Otro concepto muy importante es la potencial utilidad de los sistemas basados en biología sintética. Nuevamente, aunque el trabajo de este campo sea admirable y provechoso, yo creo que pasarán muchas décadas antes de que aparezca en el mercado un producto biotecnológico basado en la síntesis total de un cromosoma. Simplemente los seres vivos ya existentes nos llevan demasiada delantera, y utilizarlos tal y como existen o, más frecuentemente, ligeramente modificados mediante el intercambio y reingeniería de algunas de sus partes, seguirá siendo el procedimiento más rápido y eficaz.

¿Es posible la creación de vida artificial?

Gabriel Iturriaga de la Fuente

Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El título suena paradójico: algo o está vivo (es natural) o es artificial (hecho por el ser humano), pero efectivamente estamos ante un hecho novedoso y sorprendente, que quizá sea el que más impacto tenga en las décadas por venir: esto es, la vida creada por nosotros mismos. Si se trata de crear un ser vivo, el sentido común nos aconseja que lo mejor sería empezar por saber qué entendemos por vida. Cuando tratamos de definir el término vida entramos a un terreno pantanoso donde podemos encontrar muchas definiciones dependiendo del autor y su profesión, sea un teólogo, filósofo o científico. De acuerdo con el célebre bioquímico estadounidense y premio Nobel, Albert Lehninger, una manera menos controvertida para definir qué es la vida, es describiendo sus propiedades. En este sentido, podemos decir que un organismo es un sistema que intercambia materia y energía con el entorno, y las utiliza para construir y mantener una estructura compleja, formada por polímeros de carbono (con átomos de nitrógeno, hidrógeno y oxígeno), que se automultiplica y se autoensambla con base en un código que transmite a sus descendientes y que cambia a lo largo del tiempo para adaptarse al ambiente. Esta definición operacional se mantiene como la más aceptada por los científicos; sin embargo, para tener la “receta” para crear la vida, veamos si revisando los logros de la biología podemos encontrar respuestas más concretas.

A largo de la historia, las ciencias biológicas se han encargado de estudiar las partes que componen a los

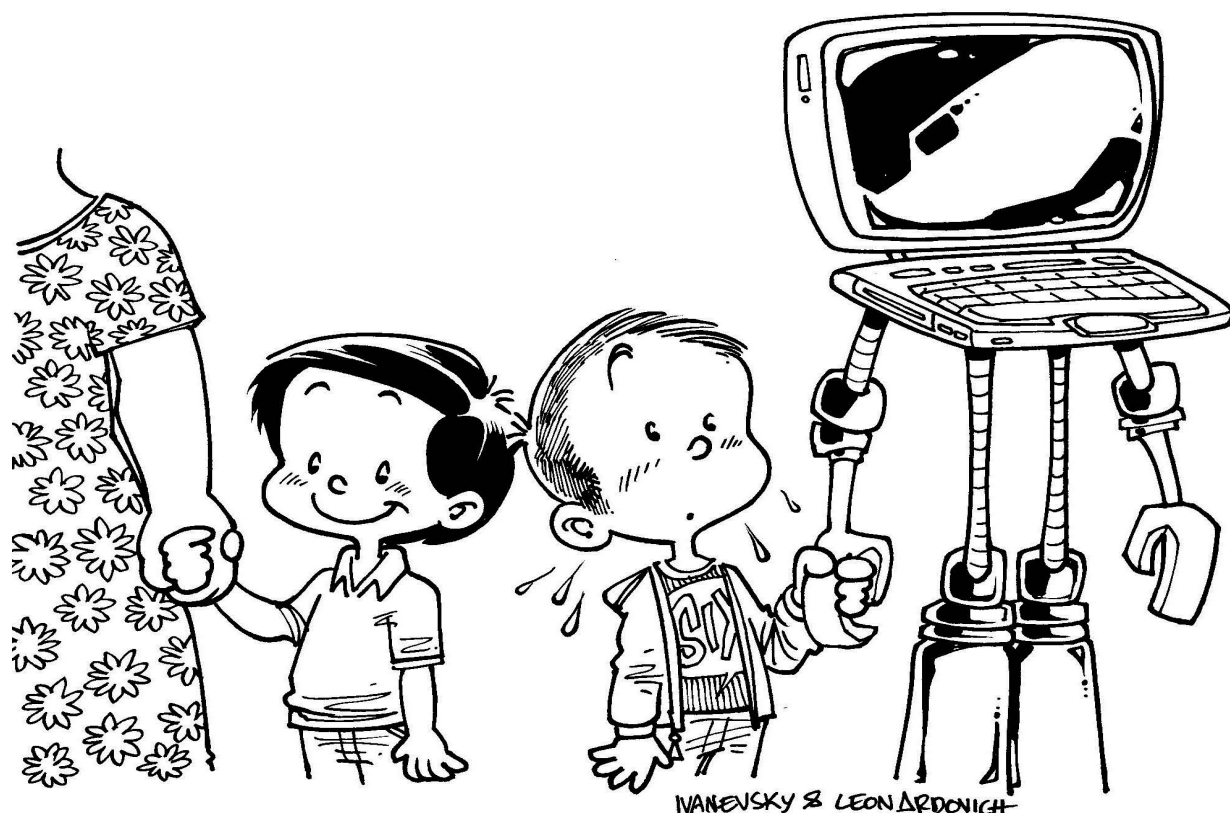
seres vivos, sean órganos, tejidos, células o moléculas, y se han adentrado en el funcionamiento de las partes y del organismo como un todo. Gracias a la genética, la bioquímica y la biología molecular hemos podido entender mejor la función de diversos genes, como por ejemplo de aquéllos involucrados en el desarrollo de un organismo completo a partir del óvulo fecundado, o bien de proteínas como la hemoglobina y otras miles más. Hace 40 años, la ingeniería genética provocó una revolución en la biología, en gran medida porque con esta tecnología podemos conferirles nuevas características a los organismos con la introducción de uno o dos genes de un organismo distinto, lo cual no es posible por cruza, y ha sido de gran impacto económico y social. Ejemplos de todos conocidos son la producción en microorganismos de fármacos de gran valor agregado, como hormonas proteicas, o enzimas para la industria; sin olvidar a las plantas transgénicas que también con uno o dos genes pueden hacerse resistentes a plagas, herbicidas o tolerantes a los embates del clima.

Parte importante del gran avance que ha tenido la biología moderna, se debe a las técnicas para descifrar el lenguaje de los genes, que también se remontan a los años setenta del siglo pasado, y a partir de entonces cada investigador empezó a secuenciar su gen favorito. Fue hasta hace 15 años que las técnicas automatizadas permitieron secuenciar miles de genes en el transcurso de unos cuantos días, dando como resultado la lectura del primer genoma completo de una bacteria. A partir de entonces se ha dado una explosión en el número y complejidad de los genomas secuenciados: del ser humano, de diversas plantas y animales, y de innumerables microorganismos, que a la fecha suman miles de secuencias. Todo esto no sería posible si no se contara con la capacidad de digitalizar esta información en computadoras tremendamente poderosas cuyo diseño también ha evolucionado en las últimas décadas.

Pero una cosa es leer un genoma y modificar algunas características de un organismo, quitando o metiendo algunos genes, y otra es hacer uno nuevo. ¿Sería esto posible? ¿Y cómo? Debemos remontarnos a los años 60 del siglo XX, cuando los científicos franceses François Jacob y Jacques Monod descubrieron las bases de la regulación genética en bacterias, que les valió el premio Nobel. En otras



Dr. Craig Venter, director del instituto que lleva su nombre.



palabras, los procesos que se llevan a cabo en la célula se autorregulan de acuerdo a sus necesidades y en comunicación con el exterior, sirviendo los genes como guías; las células que no lo hacen, se dividen sin control como en el cáncer y pierden esa capacidad de adaptación tan importante en los seres vivos. Desde entonces, se han estudiado una gran cantidad de redes de regulación génica en microorganismos, animales y plantas. Es así como la cantidad de información procedente del genoma permite diseñar modelos sofisticados de regulación y respuesta de la célula. Cuando hace 30 años, gracias al conocimiento de la regulación genética, un grupo de investigación consiguió que las colonias de la bacteria *E. coli* pudieran modificarse para volverse azules, nadie imaginaba que este logro sería tan importante.

En mayo de 2010, el grupo de Craig Venter en EEUU reportó, en la prestigiada revista científica *Science*, haber logrado por primera vez que un genoma sintético (hecho en una máquina), funcionara al ser trasplantado en una bacteria cuyo genoma fue reemplazado por el nuevo. Para valorar el impacto de este trabajo, es menester detenernos un poco en ciertos aspectos claves. En primer lugar, se escogió para este estudio a la bacteria *Mycoplasma mycoides* que pertenece al grupo de las bacterias más pequeñas hasta hoy conocidas, y cuyo genoma completo está bien caracterizado. A partir de este genoma depositado en una computadora, se diseñó la síntesis de un genoma

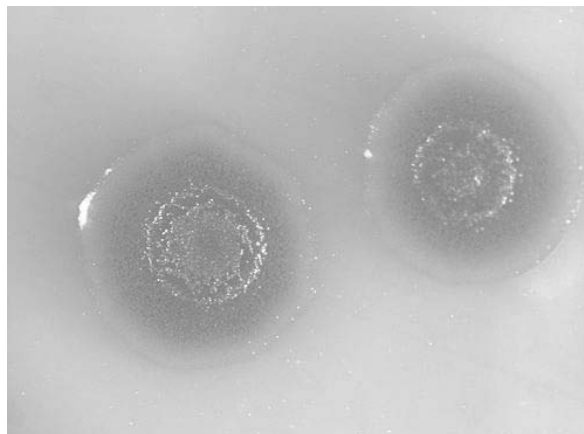
mínimo (100 de sus 485 genes no son indispensables) fuera de una célula, incluyendo algunos cambios, para dejar constancia del diseño artificial. ¡Parece broma, pero los investigadores pusieron frases célebres, su nombre y correo electrónico en el genoma usando el código genético!

El equipo de trabajo utilizó máquinas para sintetizar fragmentos pequeños de ácido desoxirribonucleico (la sustancia química de los genes), los cuales por medio de un tedioso y complejo proceso de ensamblado, en fragmentos sucesivamente más grandes, les permitió llegar a tener el genoma completo. No es la primera vez que se sintetiza un genoma artificial, ya que en años recientes se sintetizó el genoma de algunos virus y de otra mycobacteria (leer el artículo de Xavier Soberón Mainero, “¿Qué es la biología sintética? El genoma fabricado por el Venter Institute”, incluido en este libro), pero el éxito del invento de Venter y sus colaboradores, es que el genoma sintético, al introducirse en otra bacteria distinta, *Mycoplasma capricolum*, logró gobernar a la célula recipiente y convertirse en su propio genoma. En otras palabras, una vez que la célula recipiente de *M. capricolum* portaba el genoma foráneo, al cabo de tres días de cultivo, formó colonias azules como huella de su naturaleza sintética, y perdió su identidad convirtiéndose en *M. mycoides*, gracias a las instrucciones de su nuevo equipo de genes. El genoma de las bacterias hijas se secuenció y resultó

ser, como se esperaba, el de *M. mycoides*; igualmente, las proteínas correspondían al de este genoma. Nunca antes una colonia azul de bacteria había sido tan importante. “Esta es la primera célula en el planeta que tiene a una computadora como madre”, según palabras del propio Venter cuando corrió en la mañana a ver sus cajas Petri con bacterias.

Ciertamente este invento dista mucho de haber creado vida, pero sienta las bases de un nuevo campo de la ciencia y la tecnología, que se ha bautizado como “biología sintética”, cuyas perspectivas futuras son el diseño y fabricación de sistemas biológicos que no existen hoy en día en la naturaleza, así como el rediseño de los sistemas biológicos ya existentes. Esto implica un diseño en varios sentidos: en primer lugar identificar el número mínimo de genes suficiente para crear un organismo autónomo; crear nuevas proteínas con funciones mejoradas o distintas a las existentes; diseñar nuevos circuitos genéticos autorregulables y con capacidad de respuesta a las interacciones con el medio exterior y con otros organismos, para obtener microorganismos programables capaces de realizar operaciones “al gusto”; y desarrollar modelos teóricos que permitan predecir el comportamiento de un sistema complejo. De tal manera que el trabajo de Venter y colaboradores, es el inicio de una nueva era en la que se vislumbra diseñar nuevos organismos para diversos usos. En la medicina tendremos los fármacos inteligentes, la terapia génica y la regeneración de tejidos. Para la protección y cuidado del ambiente, habrá bacterias capaces de degradar contaminantes. Como consecuencia de la escasez de reservas fósiles, la búsqueda de fuentes alternas de energía se está convirtiendo en una prioridad. La biología sintética será una de las claves para el diseño de nuevas rutas bioquímicas que permitan la conversión de la biomasa en fuentes de energía. Por ejemplo, para la producción de hidrógeno, de etanol y la conversión eficiente de residuos biológicos en energía. Venter ya anunció que se propone la producción de petróleo en microorganismos. ¿Debemos creerle? En 1998 declaró que en tres años secuenciaría el genoma humano y lo logró. En aquel momento provocó burlas, ya que un consorcio público de un gran número de investigadores de varios países, habían avanzado en ocho años muy poco en la secuencia del genoma humano.

Sin duda estamos en la puerta de una nueva



Colonias de la bacteria Mycoplasma mycoides (alrededor de 2 mm de diámetro) portando un genoma artificial.

revolución en la biología. Sin embargo, falta un largo camino todavía por recorrer para realmente tener una célula con un genoma totalmente artificial y no “copiado” de otra célula. La biología sintética será una herramienta esencial para comprender el funcionamiento de la maquinaria celular. Aun no entendemos la función del 30% de los genes presentes en los genomas, ni tampoco si el orden en que se encuentran acomodados los genes en el genoma obedece a una razón o es casual. Así como muchas de las leyes de la mecánica e ingeniería provienen de la labor de quitar y poner estructuras por los constructores de la Antigüedad; de manera análoga, los científicos avanzarán mucho en entender las leyes de la biología, quitando y poniendo partes del genoma en una célula.

Como todo nuevo conocimiento, existen nuevos retos y desafíos, con sus consecuentes implicaciones éticas y sociales. Hay riesgos potenciales para el ambiente que deberán evaluarse en su momento. El poner nuevos circuitos biológicos o todo un genoma sintético en una célula, sin duda dará lugar a organismos por simples que sean, con un comportamiento distinto e interacciones impredecibles con otros organismos del ecosistema. El posible mal uso de los organismos sintéticos, ya sea de mala fe o por descuido, pronostica un intenso debate y nuevas legislaciones. Ese es el reto de una nueva tecnología y depende de la sociedad en su conjunto el uso que se le dé.

¿Qué hay detrás del color de la sangre?

Raúl Arredondo Peter

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

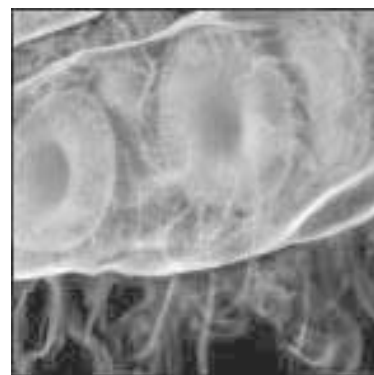
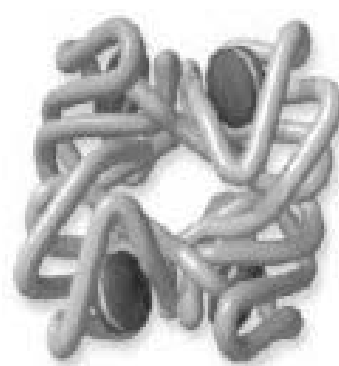
La sangre ha desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. Por ejemplo, diversas culturas atribuían a la sangre propiedades mágicas y poderes religiosos; basta recordar la práctica de algunas culturas antiguas que sacrificaban animales o Seres Humanos para obtener sangre, la cual ofrecían a sus Dioses. El culto por la sangre persiste en las sociedades contemporáneas; por ejemplo, los programas televisivos y las películas con mayor atracción son aquellos que contienen un número elevado de escenas sangrientas. Más aún, la sangre es un parámetro que permite medir la gravedad de una herida, la intensidad de un espectáculo y la personalidad de un individuo. Por ejemplo, es común preguntar a la persona que sufrió una herida “si sangró o no”, si la herida no sangró asumimos -erróneamente- que el daño no es grave; la intensidad del espectáculo en la lucha libre se mide por la presencia y cantidad de sangre (los asistentes demandan “¡ver sangre!”); y cuando un individuo es antipático recibe el calificativo de “sangrón”. La fascinación, culto y respeto por la sangre se debe, en gran medida, a su color rojo. A diferencia de los demás colores, el rojo atrae la atención de inmediato, y por ello es el color que se utiliza en las señales de alarma (en comparación, por ejemplo, con el color amarillo que se utiliza en las señales de advertencia).

La sangre es un tejido fluido en el cuerpo humano (y en los demás organismos vertebrados) que se forma por dos fases: la fase líquida y la fase figurada. La fase líquida de la sangre corresponde a la porción acuosa que contiene elementos en suspensión, como son los nutrientes, las hormonas y los anticuerpos, así como las células que corresponden a la fase figurada. Estas células se dividen en las plaquetas, que participan en la coagulación de la sangre, los leucocitos, o células blancas, que detectan y atacan a los agentes infecciosos y producen a los anticuerpos, y los eritrocitos, o células rojas, que transportan el oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos. Además, la sangre es el sistema principal de comunicación en el organismo, ya que está formada por arterias, venas y capilares que irrigan los órganos y tejidos. Por lo tanto, la sangre es indispensable para el funcionamiento del organismo. Un ejemplo de ello es el transporte por la sangre de los nutrientes que se absorben en el intestino delgado hasta las células de los tejidos. Además de los nutrientes, la sangre transporta a las hormonas que

sintetizan las glándulas, y que se unen a los órganos blanco; ahí las hormonas inducen una respuesta fisiológica, como es la absorción de los azúcares, por el efecto de la insulina que se secreta en el páncreas, o la maduración de las gónadas, por el efecto de las hormonas gonadotrópicas que se secretan en la hipófisis. Otro ejemplo son los leucocitos que circulan en la sangre, los cuales patrullan al organismo para detectar y destruir a los agentes infecciosos (como son las partículas virales y las bacterias) que causan las enfermedades, y a las células cancerosas que dan lugar a los tumores.

Los ejemplos que se describen en el párrafo anterior explican la razón por la cual la sangre es un líquido vital, pero aún queda pendiente explicar la razón por la cual la sangre es de color rojo. Entre los elementos figurados, las células más abundantes de la sangre son los eritrocitos: cada mililitro (que se abrevia “ml”) de sangre de una persona adulta y sana contiene alrededor de 5 mil millones de eritrocitos. Los eritrocitos son células que se especializan en sintetizar hemoglobina, la cual es una proteína que une reversiblemente al oxígeno (es decir, la hemoglobina une al oxígeno en los pulmones y lo libera en los tejidos). Cada eritrocito contiene alrededor de 280 millones de moléculas de hemoglobina, por lo tanto, cada mililitro de sangre contiene alrededor de 1.4 trillones de moléculas de hemoglobina, lo que equivale a 0.15 g de hemoglobina. La hemoglobina es una proteína que contiene una molécula orgánica en la forma de un trébol de cuatro hojas, que se conoce como el grupo hemo, y que mantiene en el centro a un átomo de hierro (cuyo símbolo químico es Fe); el oxígeno se une al Fe de la hemoglobina. El Fe es de color pardo rojizo o rojo, así que la sangre es de color rojo debido a la abundancia de hemoglobina (¡150 g por cada litro de sangre!) y a la existencia de átomos de Fe en la hemoglobina.

A estas alturas de la lectura, tal vez el Lector se pregunte ¿por qué existe tanta hemoglobina en la sangre? La respuesta radica en la solubilidad del oxígeno en las soluciones acuosas y en la necesidad de las células para “respirar” oxígeno (el cual es indispensable para oxidar los alimentos y obtener energía para los procesos metabólicos). La solubilidad del oxígeno en la sangre es muy baja: a una presión de 100 milímetros de mercurio (que se abrevian como “mmHg”), que es la presión que existe en los



Fotografía izquierda. La obra clásica El Conde Drácula, de Bram Stoker (1847-1912), se basa en el gusto insaciable de Drácula por la sangre de sus víctimas (¿habría tenido Drácula el mismo gusto por la sangre si ésta fuera de un color distinto al rojo o si fuera incolora?). Fotografía inferior derecha. Eritrocitos circulando en el interior de un vaso sanguíneo; nótese el color rojo de los eritrocitos debido a la abundancia de hemoglobina en su interior. Fotografía superior derecha. Molécula de hemoglobina; la proteína está representada por las estructuras en forma de salchicha, y el grupo hemo, que contiene a un átomo de Fe, está representado por un disco de color rojo; nótese la existencia de cuatro grupos hemo y átomos de Fe en el interior de la molécula de hemoglobina.

pulmones (la presión atmosférica al nivel del mar es 760 mmHg), la solubilidad del oxígeno es 0.3 ml por 100 ml de sangre. Un individuo que se encuentra en reposo absoluto, es decir, viviendo a partir del metabolismo basal (sin moverse), requiere 7 ml de oxígeno disuelto en 100 ml de sangre. Esta cantidad es 23 veces mayor que la cantidad de oxígeno que estaría disuelta en la sangre (y disponible para las células) a la presión de los pulmones. Por supuesto, la solución a este problema para un físico, químico o ingeniero consiste en aumentar la presión a 7 atmósferas, lo que permitiría disolver 7 ml de oxígeno en 100 ml de sangre. Sin embargo, esto no es posible biológicamente cuando se trata de un individuo. Por fortuna, la Madre Naturaleza diseñó (durante 2 a 3 mil millones de años de evolución) un sistema que permite disolver grandes cantidades de oxígeno en la sangre. Este sistema consiste en la existencia de grandes cantidades de hemoglobina en la sangre: 0.15 g de hemoglobina por cada mililitro de sangre. Gracias a esto, en la sangre se disuelven 20 ml de oxígeno en 100 ml de sangre, a una presión de 100 mmHg; es decir, debido a la hemoglobina, la solubilidad del oxígeno en la sangre aumenta 66 veces. Por lo tanto, la supervivencia y buena salud de un individuo dependen

de que en su sangre circulen muchos eritrocitos, y de que cada eritrocito contenga muchas moléculas de hemoglobina, ya que gracias a ello es posible transportar la cantidad de oxígeno que es necesaria para la combustión de los nutrientes y la obtención de energía.

De lo que se expuso en los párrafos anteriores, ahora es claro lo que la sangre representa para el individuo y su entorno social. Probablemente, de manera instintiva o empírica, las civilizaciones antiguas (al igual que las personas que tienen fascinación hacia las películas “sangrientas”) rindieron (o rinden) culto a la sangre porque sus propiedades representan la quintaesencia de la vida. En la actualidad la sangre es indispensable en la medicina práctica para sanar a las personas. Esta sangre es necesaria para reponer la sangre que pierde un individuo cuando sufre un accidente o es operado, la cual se obtiene mediante las transfusiones sanguíneas. Desafortunadamente, la cantidad de sangre que existe en los bancos de sangre es (por mucho) insuficiente para cubrir la demanda de los hospitales, y por esta razón con frecuencia las instituciones de salud invitan a la población a donar sangre. El eslogan publicitario de estas campañas es acertado: “Dona Sangre Porque la Sangre es Vida”.

La melanina: un pigmento con múltiples aplicaciones

Guillermo Gosset Lagarda

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La melanina es el pigmento responsable de dar el color a la piel, cabello y el iris de los ojos. Su función principal en el ser humano es proporcionar protección contra el efecto dañino de los rayos ultravioleta (UV) de la luz solar. El nombre melanina se deriva de la palabra griega “melanos” que significa “oscuro”. Es bien sabido que la exposición al sol causa un incremento en la síntesis de melanina en la piel, dando el efecto llamado “bronceado”. Este pigmento es producido por acción de una proteína llamada tirosinasa. La tirosinasa es una enzima, es decir, una proteína con la capacidad de acelerar una reacción química, que en este caso se trata de la conversión del aminoácido tirosina en melanina. A este proceso se le llama melanogénesis. Además del humano, la mayoría de los animales, algunas plantas y bacterias pueden producirlo. En estos organismos, cumple funciones adicionales a la protección contra la luz UV. En algunos reptiles, la coloración proporcionada por este pigmento les ayuda a confundirse con su entorno y así evitar ser detectados por sus predadores, este es el fenómeno llamado mimetismo. Por otro lado, se ha encontrado que en insectos la melanina tiene un papel antibiótico que los protege en caso de heridas. En el calamar, la tinta que produce para escapar de sus enemigos está constituida principalmente por melanina.

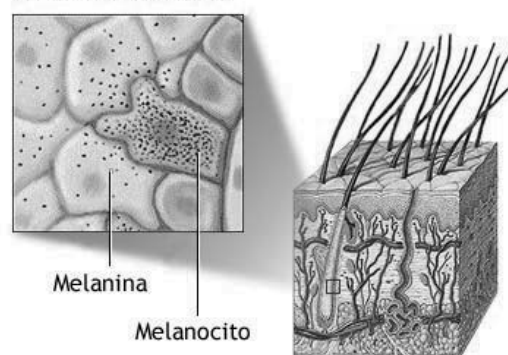
La melanina es un compuesto químico complejo e interesante y por esto ha sido estudiada a través de los años. Esto ha permitido identificar algunas de sus propiedades físicas y químicas. Se sabe que tiene la capacidad de absorber un amplio rango de radiaciones electromagnéticas que incluyen desde la luz visible (por esto su color es oscuro), pasando por la luz UV y llegando hasta los llamados rayos X. Por otro lado, se ha reportado que tiene la capacidad de unir átomos de diferentes metales. También puede conducir electricidad, debido a esta propiedad se le considera un semiconductor. Finalmente, se ha determinado que posee actividades antioxidantes y antivirales. Todas estas propiedades hacen de la melanina un material atractivo para ser utilizado en diferentes aplicaciones.

En este momento, ya se pueden encontrar varios productos comerciales que contienen a la melanina como ingrediente activo. Entre ellos se encuentran cremas que funcionan como filtros solares para la protección contra la luz UV. También se utiliza en

cosméticos para desvanecer defectos o secuelas de enfermedades dérmicas como el vitiligo. Por otro lado, la incorporación de la melanina a materiales plásticos, ha permitido la producción de lentes oscuros para sol con la capacidad de bloquear la luz UV. Otra aplicación muy especializada es su utilización para recubrir el interior de lámparas fluorescentes. Con esto se evita totalmente el escape de luz UV, lo que normalmente ocurre en un bajo nivel en este tipo de lámparas. Este tratamiento evita que se puedan dañar objetos en museos o bibliotecas. En el campo médico, se ha demostrado que la melanina puede ser ingerida por pacientes, funcionando como medio de contraste en estudios de rayos X del sistema digestivo. Aquí cabe señalar que una cantidad controlada de melanina puede ser ingerida sin causar ningún problema, ya que no es digerida ni absorbida por el organismo. Algunos de nosotros ya hemos consumido melanina, al disfrutar un buen plato de calamares en su tinta.

Se espera que en el futuro próximo puedan aparecer nuevas aplicaciones y productos basados en la melanina, lo cual incrementará la demanda para este pigmento. Existen varias fuentes naturales y métodos para obtenerla. La extracción a partir de tejidos de origen animal o vegetal es una opción de bajo costo para su obtención. Sin embargo, una gran desventaja de este método es que el producto obtenido generalmente tiene una baja pureza y su composición puede variar en cada lote. Por otro lado, este producto también se puede generar por métodos químicos, lo que garantiza su pureza, pero a un costo muy alto. Por esta razón, desde ya algunos años, diversos grupos de

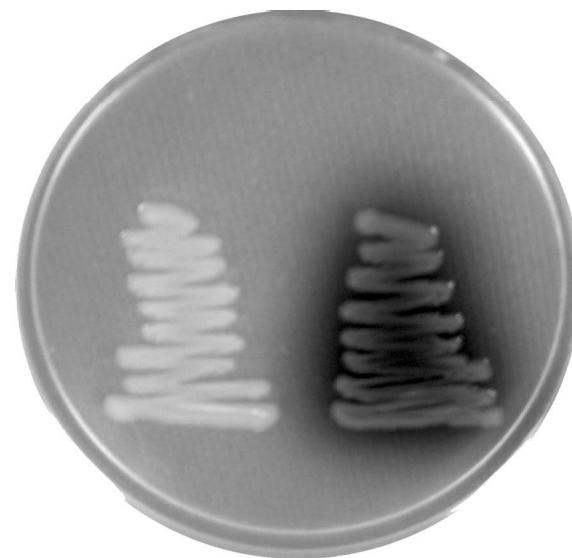
Folículo piloso joven



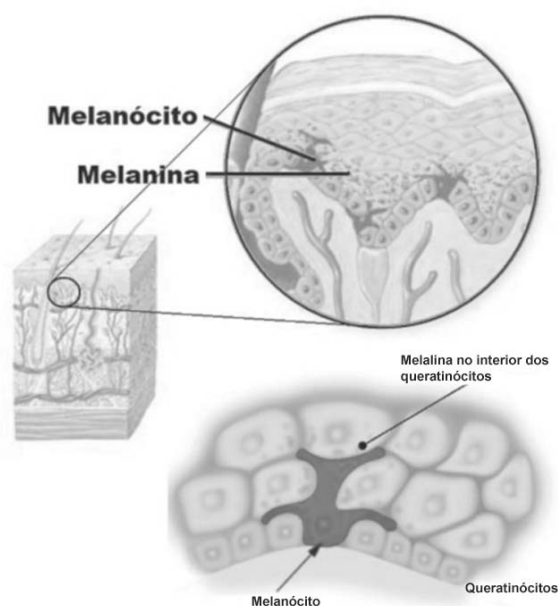
investigación han explorado métodos alternativos para poder obtener este pigmento con alta pureza y a un costo relativamente bajo. Algunos microorganismos tienen la capacidad natural para producir melanina. Sin embargo, no es sencillo o económicamente viable cultivarlos para fines de producción. Por otro lado, existen otras especies de microbios que son utilizados por la industria para producir diversos compuestos de interés. Esto incluye a levaduras y algunas bacterias. Entre éstas se encuentra *Escherichia coli* (*E. coli*), una bacteria que normalmente habita en el intestino del humano. *E. coli* puede ser considerado el organismo del cual tenemos el mayor conocimiento sobre su genética y bioquímica. Innumerables grupos de investigación la han estudiado desde hace ya muchos años; lo que conocemos de ella se ha recopilado en cientos de libros y miles de artículos científicos. Su estudio ha ayudado a entender procesos biológicos fundamentales relacionados con la genética y la bioquímica, que no sólo se aplican a bacterias sino también a otros organismos, incluyendo el ser humano.

E. coli es una bacteria que puede ser cultivada fácilmente en un laboratorio o a un nivel de producción industrial. Sin embargo, carece de la capacidad para producir melanina.

Esto es así porque no produce la enzima tirosinasa, debido a que no contiene la información genética para sintetizarla. Las bacterias (y todos los demás seres vivos) tienen su información genética almacenada en una o más moléculas de ácido desoxirribonucleico, frecuentemente abreviado ADN. Esta información se encuentra representada por genes, que son segmentos dentro de la cadena de ADN. En su gran mayoría, cada gen posee la información para que la célula pueda sintetizar una proteína específica. En *E. coli* se ha



determinado que su ADN contiene 4,288 genes que pueden dar lugar a la síntesis de un número igual de diferentes proteínas. Desafortunadamente para nuestro interés, ninguna de las 4,288 proteínas es la enzima tirosinasa que se requiere para sintetizar la melanina. ¿Cómo lograr que *E. coli* sintetice melanina si carece de la enzima tirosinasa? La solución a este problema la ofrece la ingeniería genética. Esta disciplina consiste en un conjunto de métodos experimentales que permiten al investigador transferir genes de un organismo a otro, así como modificar directamente la información presente en el ADN. El primer paso para lograr que *E. coli* sintetice la melanina consistió en identificar a un donador del gen para la tirosinasa. Los candidatos donadores eran algunas de las especies de bacterias que naturalmente producen melanina, ya que esto indicaba que contenían la enzima tirosinasa y por lo tanto, poseían el gen respectivo. Se eligió utilizar a la bacteria del suelo *Rhizobium etli* (*R. etli*) como donadora, ya que estudios previos habían determinado que poseía el gen *melA*, el cual contiene la información para la síntesis de la tirosinasa. Utilizando los métodos de la ingeniería genética, se extrajo el gene de *R. etli* y se insertó a *E. coli*. El resultado de este experimento puede verse en la figura que acompaña este texto. En el lado izquierdo se presenta una colonia de *E. coli* sin modificar, en tanto que del lado derecho se muestra una colonia de *E. coli* modificada por ingeniería genética que ha recibido el gen *melA* de *R. etli*. El color oscuro se debe a la síntesis de melanina. A partir de la colonia de *E. coli* que contiene el gen de la tirosinasa, se han realizado cultivos en medios líquidos donde se logró que se sintetizara melanina a una concentración de seis gramos por litro. Estos resultados son los primeros pasos que permitirán desarrollar procesos industriales para la síntesis de melanina por bacterias y así satisfacer la demanda para aplicaciones presentes y futuras.



Hemoglobinas vegetales: proteínas rojas en organismos verdes

Raúl Arredondo Peter

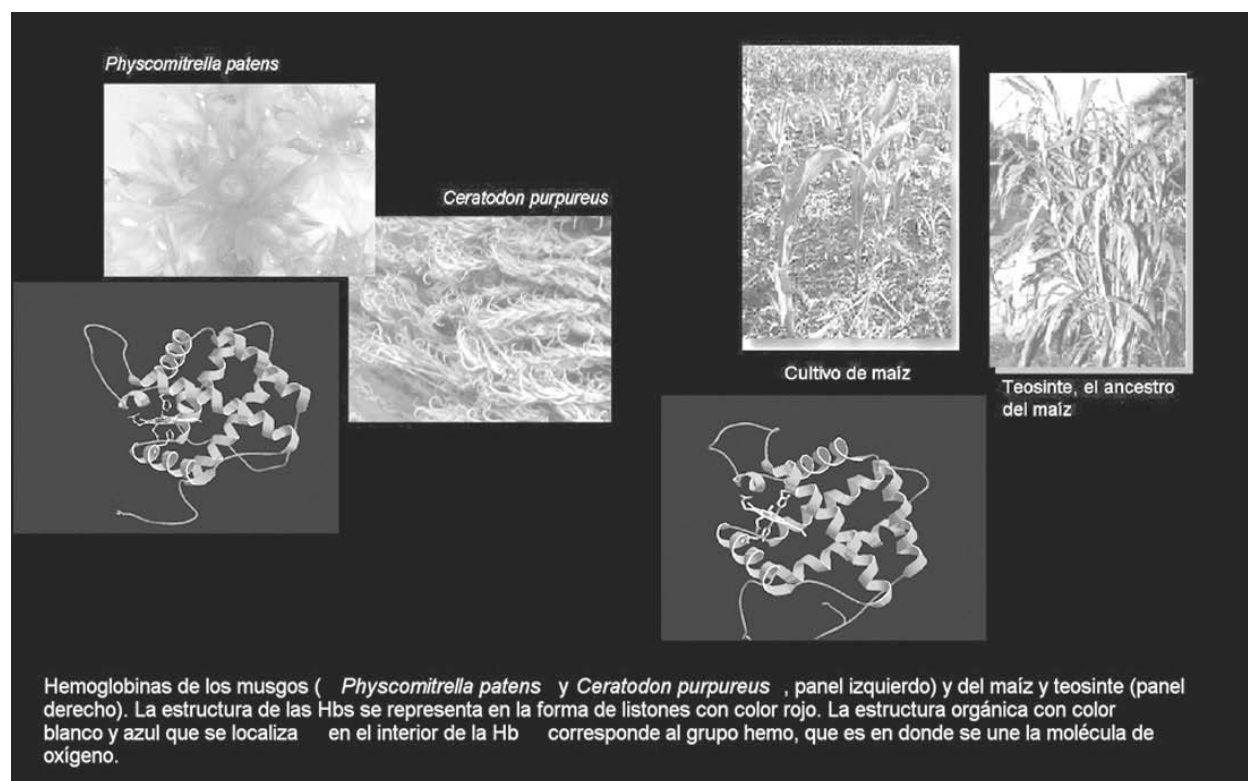
Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La hemoglobina, que en lo sucesivo se abreviará como Hb, es una proteína conocida por todos ya que confiere el color rojo a la sangre. Esta proteína se localiza en el interior de los glóbulos rojos que circulan en la sangre, y su función es unir el oxígeno en los pulmones para transportarlo hasta los tejidos. Ahí, la Hb entrega el oxígeno a otra proteína, la mioglobina (que en lo sucesivo se abreviará como Mb), la cual, a su vez, lo transporta hasta las mitocondrias para que la célula obtenga la energía que es necesaria para su funcionamiento. Esta energía permite que en los organismos aerobios (es decir, en aquellos que consumimos oxígeno) se lleven a cabo procesos metabólicos y fisiológicos, como es el movimiento muscular, la transmisión de los estímulos nerviosos y la interpretación de dichos estímulos en el cerebro -lo cual sucede en el momento en el que el lector enfoca las imágenes de este artículo e interpreta su contenido.

El funcionamiento de los organismos aerobios consume grandes cantidades de energía, lo que requiere del aporte de grandes cantidades de oxígeno.

Esto se lleva a cabo gracias a la existencia de concentraciones altas de Hb en la sangre y Mb en los músculos (al igual que la Hb, la Mb es de color rojo, lo que confiere el color rojo a los bisteces que se compran en la carnicería). Debido a la importancia fisiológica y abundancia en los tejidos de los mamíferos, la Hb y Mb se han estudiado con mucho detalle. Sin embargo, la mayoría de los estudios acerca de estas proteínas se han llevado a cabo en animales vertebrados (incluyendo a los Seres Humanos). No obstante, en la actualidad se sabe que las Hbs son proteínas que surgieron en las etapas tempranas de la evolución de la vida en nuestro planeta, es decir, hace unos 3,500 millones de años, y desde entonces las Hbs han evolucionado con los organismos que las sintetizan. Por esta razón las Hbs no sólo existen en los animales vertebrados, sino también en las bacterias, hongos, protozoarios, plantas y animales invertebrados.

En este momento tal vez el lector se pregunte con sorpresa: ¿Hbs en las plantas?, pero... ¡si las plantas son verdes! Efectivamente, las plantas son verdes



debido a que sus hojas contienen grandes cantidades de clorofila (cuyo color es verde), sin embargo, las plantas también contienen pigmentos que son distintos a la clorofila, como son los carotenos (que originan a la vitamina A) que confieren el color anaranjado a las zanahorias. Entre estos pigmentos se encuentra la Hb, aunque, con algunas excepciones (a las que nos referiremos a continuación), su concentración en los tejidos de la planta es muy baja. Esto explica porqué, a diferencia de la sangre de los vertebrados, las plantas son verdes y no rojas.

Las Hbs se descubrieron en las plantas hace poco más de 60 años por un investigador Japonés de nombre Hideo Kubo. Este investigador analizó el pigmento rojo que se encuentra en el interior de los nódulos de las raíces de la soya, y descubrió que las características de este pigmento son idénticas a las características de la Hb de los vertebrados, por lo que concluyó que este pigmento es una Hb vegetal. Actualmente, a esta Hb vegetal se le conoce como leghemoglobina (que en lo sucesivo se abreviará como Lb) debido a que se localiza exclusivamente en los nódulos de las plantas leguminosas que fijan el nitrógeno. Las leguminosas son bien conocidas por todos ya que incluyen a plantas como la soya, el frijol y el trébol. Una característica importante de este grupo de plantas es que sus raíces son infectadas por bacterias benéficas del suelo, lo que da lugar a la formación de estructuras más o menos esféricas que se conocen como nódulos radicales. Dentro de los nódulos, las bacterias reducen el nitrógeno de la atmósfera para producir amonio, que es la forma asimilable del nitrógeno que se incorpora en los componentes moleculares de la planta. Así, mediante este proceso las bacterias producen un “fertilizante biológico” para la planta, de manera similar al proceso industrial por el que se producen los “fertilizantes químicos” que se utilizan para fertilizar a los cultivos agrícolas. Los procesos biológico e industrial de fijación de nitrógeno consumen una gran cantidad de energía (lo cual explica el alto costo de los fertilizantes). Biológicamente, las bacterias que fijan el nitrógeno consumen (respiran) grandes cantidades de oxígeno para producir amonio, sin embargo, la cantidad de oxígeno disuelto en el interior de los nódulos es muy baja. Por fortuna para estas bacterias la planta sintetiza grandes cantidades de Lb, la cual une y transporta el oxígeno (de manera similar al transporte del oxígeno por la Hb en la sangre) que es necesario para el metabolismo aerobio de las bacterias y la fijación del nitrógeno. Efectivamente, si el lector desentierra cuidadosamente una planta leguminosa (por ejemplo, un trébol, que es frecuente en los jardines) observará que en la raíz se localizan los nódulos radicales, y que éstos son de color rojo, rosa o pardo (el color es más evidente en el interior del nódulo si éste se corta por la mitad). Este color se debe a la gran cantidad de Lb que existe en los nódulos radicales. Por lo tanto, es correcto decir que “existen plantas con órganos verdes (las hojas) y rojos (los nódulos radicales)”.

Además de la Lb, en las plantas existe otro tipo de Hb, la cual se relaciona estrechamente con la Lb. A esta Hb se le da el nombre de Hb no simbiótica ya que se localiza en diversos órganos de la planta, es decir, en órganos no simbióticos (como son las raíces, los tallos y las hojas). A diferencia de la Lb, que solamente se sintetiza en las plantas que fijan el nitrógeno, la Hb no simbiótica se sintetiza en plantas primitivas, como son los musgos, y evolucionadas, como son las angiospermas. Esto sugiere que las Hbs no simbióticas son ubicuas en las plantas terrestres, y que las Lbs evolucionaron a partir de las Hbs no simbióticas.

Desde hace una década, el grupo de trabajo del autor de este artículo y sus colaboradores han estudiado las propiedades de las Hbs no simbióticas. Los resultados han sido sorprendentes, ya que las Hbs no simbióticas se caracterizan por unir el oxígeno con mucha fuerza y no liberarlo. Es decir, estas proteínas no liberan el oxígeno para el metabolismo aerobio de la célula, por lo que la pregunta intrigante durante varios años ha sido: ¿cual es la función de una Hb que no libera el oxígeno? Las investigaciones recientes sugieren que una función de las Hbs no simbióticas es unir al óxido nítrico y modular los niveles de esta molécula en las células y los tejidos. Esta función es importante debido a que el óxido nítrico modula una gran cantidad de procesos celulares, como es la respuesta de los organismos a las condiciones de estrés. En este sentido, se ha encontrado que la concentración de Hbs no simbióticas aumenta cuando las plantas crecen en condiciones de estrés, por ejemplo, en condiciones de inundación o en ausencia de luz. Por esta razón a las Hbs no simbióticas se les conoce como “proteínas de respuesta al estrés”.

El conocimiento básico que se ha acumulado durante el estudio de las Hbs vegetales ha sido de utilidad en aplicaciones biotecnológicas. Por ejemplo, se ha intentado utilizar a las Hbs no simbióticas como sensores de oxígeno en componentes de aparatos electrónicos, como proteínas que confieren resistencia a cultivos transgénicos en inundaciones, como substitutos sanguíneos y como componentes de productos farmacéuticos. De esta manera, la existencia de Hbs en las plantas resulta no sólo sorprendente, sino que permite entender mejor aún a las Hbs y, a partir de estos conocimientos, a otros grupos de proteínas para, posiblemente, utilizar este conocimiento en aplicaciones a nuestra vida cotidiana.

Lecturas y material adicional. El lector interesado encontrará mayor información sobre este tema en la página electrónica del laboratorio del autor de este artículo en la dirección URL <http://web.fc.uaem.mx:8080/proftc/arredondo/arredondo.htm>

Reconocimientos. El trabajo de investigación que se realiza en el laboratorio del autor de este artículo está financiado por PROMEP-SEP y CONACYT.

Los huevos fritos y las enfermedades conformacionales

Ramón Garduño Juárez

Instituto de Ciencias Físicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

¿ENMARAÑÓ USTED ALGUNAS PROTEÍNAS ESTA MAÑANA?

PROBABLEMENTE SÍ, SI PREPARÓ HUEVOS FRITOS.

La clara de huevo es un sistema coloidal que contiene aproximadamente un 88% de agua y un 11% de proteínas, donde la más abundante es la ovoalbúmina. Las cadenas de las proteínas de la clara de huevo están enrolladas adoptando una forma esférica. Al freír o cocer un huevo, el calor hace que las cadenas de proteína se desenrollen y se formen enlaces que unen unas cadenas con otras dando lugar a formas amorfas. Este cambio de forma da a la clara de huevo la consistencia y color que se observa en un huevo cocinado. Este proceso se conoce con el nombre de desnaturalización, y que aparte del empleo de calor, éste se puede producir batiendo las claras, o por medio de agentes químicos como alcohol, sal, acetona, etc., ocasionando un coágulo debido a un mal plegado de las mismas.

En forma similar, muchas proteínas del cuerpo humano pueden cambiar de forma dentro de las células. Normalmente las proteínas mal plegadas son eliminadas del cuerpo por mecanismos muy complejos. Sin embargo, debido a la edad, a defectos genéticos o al estilo de la vida moderna, estos mecanismos dejan de funcionar correctamente y estas proteínas no son eliminadas eficientemente. Cuando esto ocurre, las proteínas mal plegadas se pueden convertir en agentes tóxicos por su acumulación, dando lugar a la aparición de nuevas enfermedades como aquellas ligadas al uso de pesticidas (Mal de Parkinson), al fumar (Enfisema Pulmonar y varios cánceres), a la obesidad (Diabetes Mellitus) o a la longevidad (Mal de Alzheimer), sólo por mencionar algunas. Otras están vinculadas con algunos componentes de los alimentos “balanceados” para el ganado bovino (Encefalitis espongiforme bovina, mejor conocida como el Mal de las Vacas Locas), que generan proteínas modificadas, estructuralmente capaces de inducir a proteínas correctamente plegadas a cambiar de forma. Estas proteínas son conocidas como priones y su descubrimiento le mereció el Premio Nobel 1997 a Stanley Prusiner (1942-). El prión, no es un microorganismo, una bacteria o un

virus, es un constituyente normal de la célula, es una proteína cuya anomalía está en la estructura tridimensional. La única diferencia entre lo que sería el agente de la enfermedad y la proteína normal es la estructura tridimensional.

Inmediatamente después de este descubrimiento en 1982, se empieza a revisar una cantidad de información, y aparece el mismo tipo de problema en una gran cantidad de enfermedades conocidas desde hacía mucho tiempo, pero que no tienen el componente infeccioso que tienen las enfermedades de los priones. En todas ellas hay proteínas anormales que, como la clara de huevo cuando se calienta, forman coágulos dentro de las células o fuera de ellas, lo que causa una gran cantidad de patologías. Este fenómeno se encuentra en una gran cantidad de enfermedades que los médicos llamaban enfermedades amiloidóticas, por el tipo de precipitado que se forma en los tejidos, y que ahora se están llamando enfermedades conformacionales, haciendo alusión a la estructura tridimensional, a la conformación de una proteína. Este descubrimiento hace urgente la revisión de los conocimientos sobre la estructura de las proteínas y averiguar a qué se debe un plegamiento anómalo.

Las proteínas son macromoléculas, o polímeros, que están formados por una sucesión de unidades llamadas aminoácidos, las que se unen como las perlas en un collar, con la diferencia que las perlas pueden ser de diferentes tamaños y colores, y con diferentes propiedades. Imaginemos que algunas se pueden atraer entre sí, otras repeler, y que esto sucede entre cientos de perlas hasta que se llega a una estructura tridimensional natural única, conocida como estado nativo, como si el “collar de perlas” quedara enrollado siempre de la misma manera cuando se pusiera en una caja pequeña. Esta estructura única es la que permite que la proteína funcione apropiadamente. Para fabricar proteínas, las células utilizan “máquinas” moleculares conocidas como ribosomas que enlazan aminoácidos uno a otro, formando largas cadenas lineales. Como cordones de zapato, estas cadenas se doblan una sobre otra de varias formas (es decir, se pliegan). Pero, a diferencia de lo que ocurre con el cordón del zapato, éstas no forman nudos de corbata ni moñitos, sin embargo son capaces de adoptar formas diversas dignas de obras artísticas.

A principios de la década de 1960 se hizo un



IMAGEN CRISTALOGRAFICA A la izquierda, proteína prion normal; a la derecha, una anormal.

descubrimiento asombroso cuando Christian Anfinsen (1916-1995) estudió una proteína después de desnaturalizarla por calentamiento, y al enfriarla notó que ésta volvía a las condiciones iniciales, es decir la proteína recuperaba la función que tenía al principio. Esta experiencia le hace merecedor al Premio Nobel 1972 al generar el siguiente concepto: “Toda la información necesaria para que una proteína adquiera su estructura tridimensional está en la sucesión de aminoácidos, en las propiedades, las características de cada uno de los elementos de ese collar de perlas”.

El estudio de cómo se pliegan las proteínas es una investigación básica en búsqueda de conocimiento sobre la elaboración de proteínas en los seres vivos a partir del código genético. Gran parte de la investigación básica es posteriormente aplicada. En este caso en particular las aplicaciones están esperando este conocimiento, ya que urgen soluciones en el área de la salud y la alimentación. El propósito de estudiar

cualquier enfermedad humana es encontrar maneras de tratarla. La historia del plegamiento de proteínas no ha llevado aún a tratamientos para las enfermedades involucradas. La clave es encontrar una molécula pequeña -un medicamento- que pueda bien estabilizar la estructura plegada normal o bien interrumpir la vía que lleva a la proteína mal plegada. Claro que antes de que podamos hacer eso debemos tener un mayor conocimiento de cómo se pliegan las proteínas. El conocer la estructura tridimensional de proteínas es un desafío mayúsculo debido a la complejidad del proceso del plegado mostrada por medio de experimentos. Las simulaciones por computadora pueden iluminar parte del camino, pero matemáticamente hablando este es un proceso muy difícil de resolver, pero existe la esperanza que con la aplicación de la inteligencia artificial quizás encontremos las respuestas muy pronto. Este será el tema de una comunicación posterior en este espacio.

Comprender cómo entendemos; los retos de las neurociencias

Jean-Louis Charli

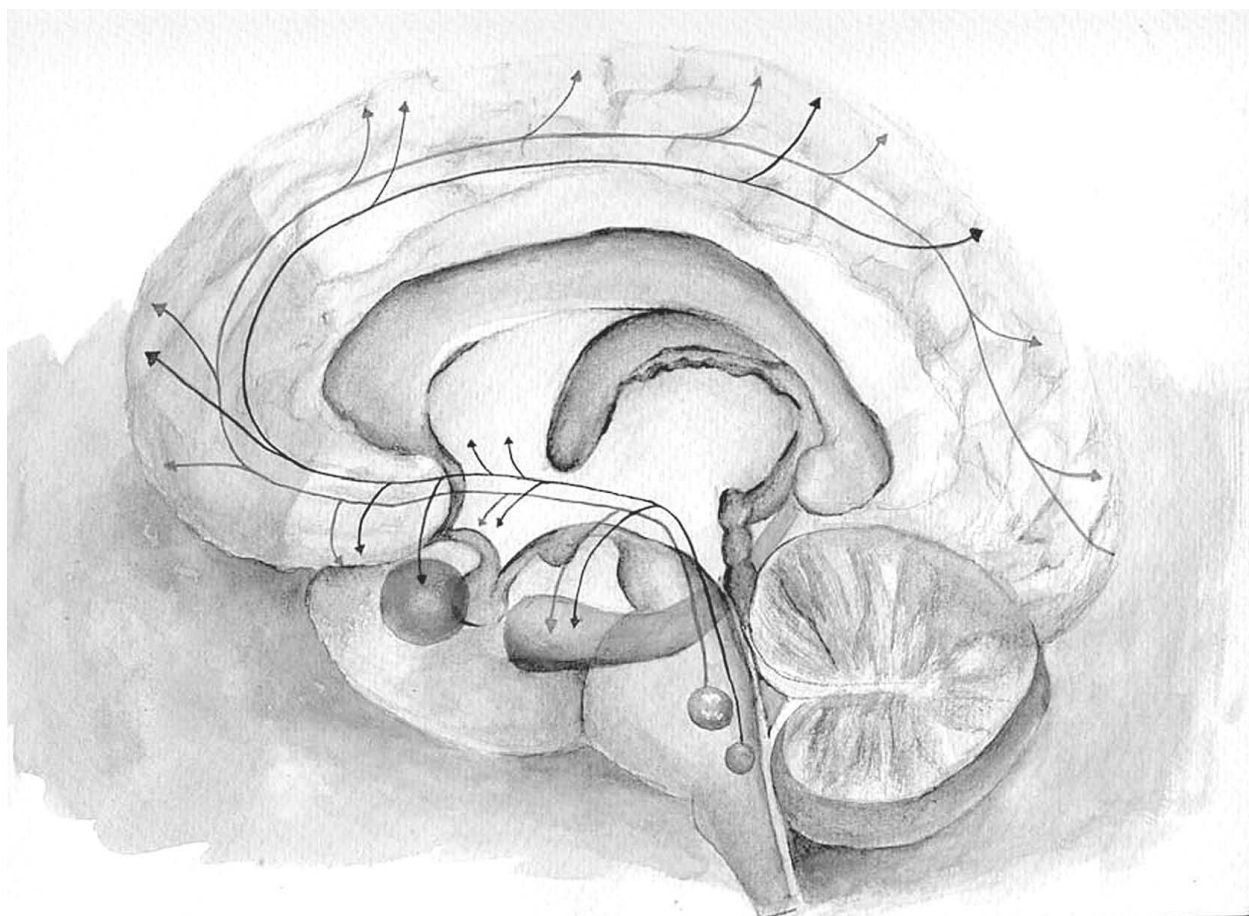
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

¿Te has preguntado alguna vez de dónde provienen nuestras asombrosas capacidades? ¿Cómo es que podemos caminar, ver, soñar, pensar,...? Desde la antigüedad se ha propuesto al cerebro del hombre como el sitio de las sensaciones y la inteligencia; uno de los filósofos que apoyó esta idea fue Hipócrates en el siglo V a.C. Sin embargo, una tradición más antigua consideraba al corazón como el centro del intelecto; así por ejemplo Aristóteles, en el siglo IV a.C., sólo le otorgaba al cerebro la capacidad de enfriar los fluidos que bombea el corazón. El abandono de esta convicción fue paulatino, y estuvo asociado a los descubrimientos sobre la estructura y función del cerebro. Actualmente sabemos que el cerebro

nos permite responder a estímulos provenientes de nuestros sentidos, controlar nuestros movimientos, aprender y recordar, generar emociones, entre muchas otras capacidades.

Nuestro cerebro, localizado en la cavidad craneana, es parte de lo que se llama el sistema nervioso central, uno de los sistemas encargados de coordinar las actividades de los animales. El sistema nervioso central se comunica con los órganos periféricos (por ejemplo, nuestros ojos) a través de nervios que salen del cerebro y de la médula espinal, nervios que constituyen parte del sistema nervioso periférico.

Galeno, en el siglo II, inició el estudio anatómico del sistema nervioso al reconocer al cerebro, y mostrar



Amauta García Vázquez

la existencia de cavidades que lo atraviesan llenas del líquido cerebro espinal. Sugirió que la circulación del fluido en las cavidades y los nervios permitiría registrar las sensaciones e iniciar los movimientos. Por mucho tiempo, la atención se mantuvo centrada en esta teoría. Uno de los proponentes ulteriores fue Descartes quien en el siglo XVII, junto con otros, llegó a sugerir que el cerebro de los animales funcionaba como una máquina. Esta teoría fue desechada al momento de descubrir un nuevo fenómeno, la electricidad de origen biológico.

Hasta el siglo XIX se iniciaron los estudios científicos (basados en observación y experimentación) sobre el funcionamiento del sistema nervioso. Se demostró que el cerebro está formado de células, tal como es el caso para otros tejidos. Las propiedades especiales del sistema nervioso se deben en gran parte a las características de uno de los tipos de células que lo componen, las neuronas, y a su patrón de organización. Los científicos Golgi, y Ramón y Cajal, estudiaron la estructura de las neuronas del cerebro con la ayuda del microscopio óptico. Mostraron que las neuronas tienen una región central, de la cual se desprenden unas extensiones que se ramifican, llamadas dendritas, y otra extensión única, a veces muy larga, llamada axón, que termina en un ensanchamiento que se llama terminal nerviosa. Este axón permite transmitir muy rápidamente impulsos eléctricos desde la región central hasta la terminal nerviosa. De ahí la información codificada en estos impulsos puede ser transmitida a otras células del sistema nervioso a través de un proceso de comunicación química.

Asociados en paralelo, los axones forman los nervios. Hoy en día reconocemos que nuestro cerebro está constituido por cien billones de neuronas, agrupadas en núcleos y redes que comunican entre sí distintas áreas. Ramón y Cajal demostró que las neuronas están organizadas de manera muy variable, de acuerdo a la región estudiada. Otros estudios sugerían que las grandes funciones del sistema

nervioso tienen localizaciones particulares. Así, el Dr. Broca correlacionaba la pérdida del habla en un paciente con una lesión, que detectaba, después de la muerte del paciente, en una región particular de la corteza cerebral, la parte mas superficial de nuestro cerebro. Hoy sabemos que cada región del sistema nervioso tiene un rol peculiar en lo que somos.

Estas redes neuronales, su actividad eléctrica y sus sistemas de comunicación entre células, son el soporte físico sobre el cual se establecen funciones tan dispares como la percepción, la generación de emociones y el control motor. Uno de los retos fundamentales de las ciencias que estudian al cerebro, las neurociencias, es entender cómo las neuronas se generan, producen su actividad eléctrica y cómo se comunican entre sí. Otro reto es comprender cómo las propiedades de sistemas de neuronas permiten la elaboración de funciones complejas. Técnicas modernas permiten vislumbrar que múltiples zonas cerebrales se activan en nuestro cerebro al momento de realizar una tarea específica, pero esta cartografía no explica por el momento nuestros comportamientos. Por otro lado, las redes neuronales son plásticas; o sea, hasta en la vida adulta su existencia, estructura y propiedades varían de acuerdo a la actividad previa. La plasticidad de estas redes parece implicada en los procesos de aprendizaje, un área de investigación muy intensa actualmente. Además, como ocurre con otros órganos, nuestro cerebro se puede enfermar; por ejemplo, podemos entrar en depresión al perder algún ser querido. Así, otro reto de las neurociencias es saber lo que pasa cuando se enferma el cerebro y proponer al médico alguna terapia. Finalmente, muchas de las actividades que efectúa el cerebro son inconscientes, pero algunas llegan al nivel consciente. Entender cómo se genera la consciencia de nuestras acciones o emociones es un reto todavía más difícil. Abundaré sobre como los científicos abordan algunos de estos retos en otras contribuciones.

Plasticidad cerebral

L. Enrique Sucar

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Cuando una máquina se descompone, normalmente tenemos que componerla para que vuelva a funcionar, reparando o sustituyendo las partes defectuosas. Si pierde alguna de sus funciones, es prácticamente imposible que otras partes de la máquina realicen dichas funciones. Por ejemplo, si dentro de una computadora falla un circuito, en general la computadora falla, ya que no hay forma de que automáticamente otro circuito tome la función de la parte defectuosa.

A diferencia de las máquinas fabricadas por el hombre, los sistemas biológicos son mucho más robustos, y pueden continuar funcionando incluso cuando parte de ellos ya no lo hace. Un insecto sigue caminando si pierde una pata, una libélula sigue volando si le falta un ala, y nosotros podemos sobrevivir sin un riñón o una pierna o un brazo.

Esta adaptabilidad y flexibilidad son particularmente impactantes en el cerebro. Cada parte del cerebro tiene una función específica, así, hay partes dedicadas a la percepción visual, al lenguaje, a las funciones motoras, etc. Sin embargo, se ha

comprobado que cuando algunas de estas regiones del cerebro sufren un daño, pueden otras partes re-tomar su función, a través de un fenómeno conocido como “plasticidad cerebral”.

Una de las enfermedades más comunes que causan daños cerebrales son las embolias, también conocidas como “enfermedad vascular cerebral” o EVC. Al sufrir una embolia, ya sea hemorrágica -al tener una hemorragia en el cerebro - o isquémica -al bloquearse una arteria-, la persona frecuentemente pierde la capacidad de movimiento de las extremidades (brazo y pierna) de un lado, ya sea izquierdo o derecho; el lado opuesto al hemisferio cerebral donde sufrió el daño. En ocasiones también pueden afectarse sus capacidades de lenguaje y otras facultades.

En los últimos años se ha demostrado que un importante porcentaje de las personas que han sufrido una embolia pueden recuperar el movimiento, en buena medida, a través de la plasticidad del cerebro. Pero esta recuperación implica un gran esfuerzo de la persona afectada, que tiene que realizar un prolongado periodo de rehabilitación. La rehabilitación consiste

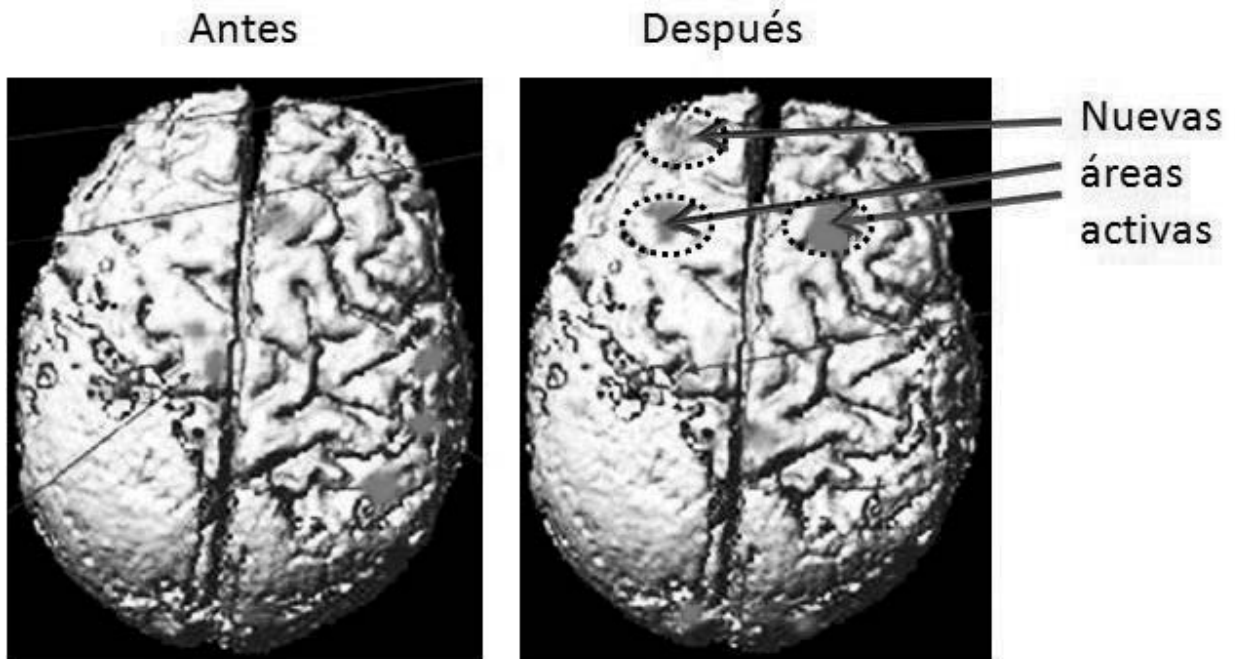


Ilustración del efecto de la plasticidad cerebral. Estas imágenes de fMRI muestran la actividad en el cerebro cuando un paciente que ha sufrido una embolia realiza ciertos movimientos con la mano. Las zonas del cerebro activas se muestran zonas “rojas” (manchas oscuras) en las imágenes; la imagen izquierda fue tomada antes de la terapia y la de la derecha después. Observamos claramente como hay nuevas zonas activas en la imagen derecha, y, en general, es mayor la actividad cerebral.

básicamente en ejercitar los miembros afectados, realizando diversos ejercicios guiados por un terapeuta. De esta forma van recuperando poco a poco sus capacidades motrices básicas como caminar, manipular objetos, hasta poder regresar a llevar una vida normal.

Sin embargo, ¿Cómo saber si esto se debe a la plasticidad cerebral? ¿Hay alguna manera de verificar si cierta región del cerebro toma la función de la región afectada? La resonancia magnética funcional (fNMR, por sus siglas en inglés) puede ayudarnos a responder estas preguntas. A través de medir la cantidad de glucosa en el cerebro mientras la persona realiza cierta actividad, mediante la fNMR podemos “ver” que regiones están activas en el cerebro.

Recientemente se realizó un estudio en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía (INNN), en colaboración con el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con un grupo de pacientes que habían sufrido una EVC. Todas las personas siguieron un programa de terapia durante siete semanas, y tuvieron una importante mejora en el movimiento del miembro superior afectado. La terapia la llevaron a cabo mediante un sistema computacional en el cual el paciente interactúa con un ambiente

virtual a través de movimientos de la mano. Dicho sistema, denominado “Terapia por Gestos”, además de ayudar a la rehabilitación del brazo afectado, mantiene al paciente motivado, ya que a través de una serie de juegos el paciente se recupera y a la vez se divierte.

A cada paciente en el estudio se le realizó una fNMR antes de iniciar la terapia y al final de la misma; mientras realizaban cierto movimiento con su mano afectada. Al analizar las imágenes antes y después de la terapia, podemos observar una diferencia significativa. Mientras las imágenes iniciales muestran apenas algunos puntos de actividad, en las imágenes después del periodo de rehabilitación se pueden observar regiones mucho más amplias de actividad, las cuales podemos asumir que corresponden a las neuronas que han tomado la función de la parte afectada. En la figura se muestran las imágenes de resonancia magnética funcional antes y después de la terapia para uno de los pacientes, donde las zonas de color rojo (se ven como pequeñas manchas en las imágenes en blanco y negro) corresponden a las zonas activas.

La plasticidad es sólo una de las increíbles capacidades de nuestro cerebro, el cual apenas empezamos a estudiar, y que seguramente nos depara muchas sorpresas al adentrarnos en el entendimiento de este maravilloso y complejo órgano.

El cerebro humano, uno de los misterios más grandes del mundo

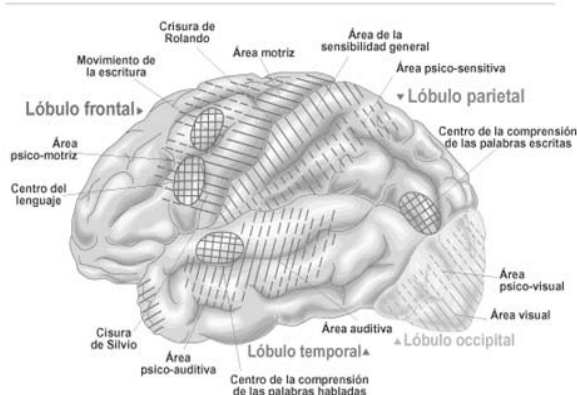
Markus Müller

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Cada año el frente de investigación es más amplio y los investigadores en todo el mundo tratan de resolver una gran diversidad de problemas, de ciencia básica y aplicada. Dependiendo de las normativas de los gobiernos y de las demandas de la industria, se privilegian ciertos temas, mientras en otros el interés (y el apoyo económico) decae. Sin embargo, existe un conjunto de problemas fundamentales que nunca han perdido su popularidad a lo largo de la historia y que han atraído la atención del hombre, probablemente desde el inicio de la humanidad.

En este ensayo deseo conducir nuestra atención a un sistema en particular, que también atrajo el interés de los científicos desde hace muchos siglos: el cerebro humano. Alrededor de 500 a.C., el filósofo griego Anaxágoras ya atribuía al cerebro la ubicación del alma y de la razón (y no al corazón como lo creyó Aristóteles). Anaxágoras pensaba que el cerebro funciona como una especie de glándula, produciendo las ideas y emociones en forma de un líquido. Esta hipótesis careció de pruebas experimentales u observaciones porque en aquel tiempo estaba prohibido diseccionar seres humanos. Este tabú lo rompieron Herófilo y Erasístrato cerca de 200 años más tarde, observando que había ciertos “cables delgados” (los nervios) que conectaban los músculos de los brazos y piernas con el cerebro, una observación que comprueba la teoría de que el cerebro funge como el órgano central que coordina en este caso los movimientos. Desde entonces, la ciencia que llamamos neurofisiología experimentó una evolución impresionante y los científicos de diferentes tiempos acumularon una gran cantidad de información sobre el cerebro humano.

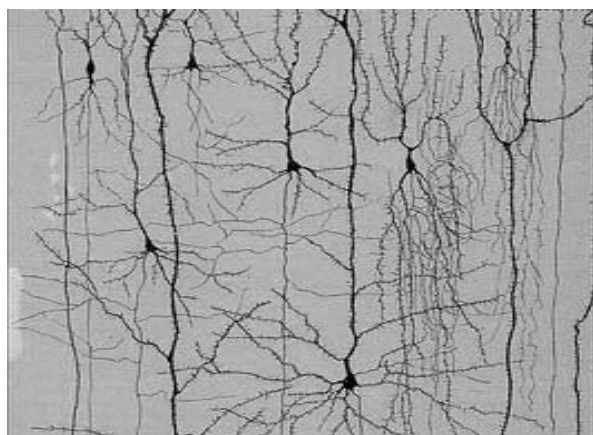
Centros nerviosos del cerebro



Se sabe que el cerebro consiste de aproximadamente 100 billones (es decir 100 mil millones) de células llamadas neuronas y cada una de ellas está conectada con otras 10,000 a 100,000, formando así una red gigantesca. Para imaginar el tamaño de esta telaraña, la longitud total del cableado de esta red sería de aproximadamente 10 millones de kilómetros. Con este cable se podría dar vuelta al ecuador de la tierra alrededor de 250 veces.

Con justa razón, muchos científicos dicen que el cerebro humano es probablemente el sistema más complejo en todo el universo. Pero ¿de qué manera esta red procesa información y coordina las múltiples funciones de nuestro cuerpo? Por ejemplo, ¿qué hace el cerebro cuando ejecutamos un pequeño cálculo, digamos 16×17 ? Y ¿cómo genera el sistema nervioso central emociones como el amor o la agresión?

Veamos primero un poco más en detalle cómo funciona una unidad de esta red, una neurona. Resulta que cada neurona tiene su propia dinámica que se expresa sobre todo a través del llamado “potencial de acción”. Debido a la magnitud del estímulo eléctrico que recibe por sus múltiples conexiones, la membrana celular de la neurona abre ciertos canales iónicos, provocando así un flujo de cargas a través de ellos. De esta manera, la diferencia de potencial eléctrico entre el interior y exterior de la membrana puede ser de aproximadamente 100 mili-Volts. Para la vida cotidiana este voltaje parece ser muy pequeño, considerando que la red de la luz provee 110 Volts, que es mil veces más grande. Sin embargo, como las fluctuaciones del potencial medidas en la membrana usualmente son de unos pocos mili-Volts, para la neurona la magnitud del potencial de acción es sumamente grande. Como este fenómeno sucede súbitamente durante pocos mili-segundos, los científicos también dicen que las neuronas “disparan”. Este disparo, provocado por la suma de las señales de entrada de la neurona, se transmite a su vez a todas sus neuronas vecinas y contribuye de esta manera al estímulo que ellas reciben. Esta comunicación puede provocar que las neuronas en una cierta región de la corteza se disparen de manera sincronizada, mientras que sólo unos momentos después, la dinámica del mismo conjunto de células parece ser completamente desordenada. Así, la actividad neuronal de la corteza muestra fluctuaciones aleatorias muy rápidas, en la cual continuamente aparecen patrones de actividad colectiva con una cierta estructura espacial que se



diluye unos pocos instantes después, para dar lugar a la formación de nuevos complejos de neuronas sincronizadas.

Se cree que este fenómeno de sincronización es crucial para el procesamiento de información y se pueden localizar regiones en el cerebro en las cuales la actividad neuronal está muy sincronizada mientras el cerebro ejecuta ciertas tareas. Aún más, los neurofisiólogos han elaborado mapas del cerebro que indican en cuales partes del cerebro se administran las diferentes funciones. Así se conoce, por ejemplo, la región motriz, las regiones que coordinan los sentidos, el centro cerebral de lenguaje, las regiones que son activas cuando elaboramos el calculito mencionado arriba, o también las regiones responsables de nuestros sentimientos. Desafortunadamente, esta cartografía no puede ser muy precisa, porque los mapas funcionales varían considerablemente, no solamente entre diferentes personas, sino también con la edad de un individuo.

Sin embargo, las técnicas experimentales han llegado a tal precisión que un grupo de científicos reportó recientemente que se lograron “leer” los pensamientos de una persona, simplemente midiendo el patrón de actividad de su cerebro. Aunque parece a una historia de ciencia ficción, este logro es en cierta forma puro empirismo. Los científicos “entrenaron” primero a una computadora para que pudiese reconocer el patrón de actividad cerebral cuando la persona pensaba por ejemplo en la palabra “cerebro” y distinguirlo del pensamiento de la palabra “ciencias”. De esa manera, la computadora identificó en más del 90% de los casos la palabra correcta dentro de un conjunto finito y bien definido de palabras.

Pero, ¿eso significa que nuestra memoria funciona de manera parecida al disco duro de mi computadora? Es decir, ¿la palabra “ciencias” está guardada *estáticamente* en un lugar bien definido de nuestro cerebro, tal que las neuronas de esa región *únicamente* disparan de manera sincronizada cuando pensamos en esta palabra, mientras que titilan de manera irregular cuando pensamos en otra palabra?

Pero qué sucede cuando uno sufre, por ejemplo, un accidente automovilístico en el cual justo esta región

queda dañada, ¿ya no se puede recordar ni memorizar la palabra “ciencia”?, ¿y eso sucedería no solamente para cada una de las tantas palabras que conocemos, sino también para cualquier movimiento muscular, para cada percepción auditiva o visual y también para cada una de nuestras emociones? Es decir, ¿para cada una de estas tareas hay un lugar específico que muestra actividad neuronal sincronizada sí y solo sí se ejerce una acción en particular? La respuesta es ¡no!. Si ese fuese el caso, probablemente ni el enorme número de neuronas de nuestro cerebro serían suficientes para elaborar todas las tareas esenciales para nuestra sobrevivencia. Evidentemente, nuestro cerebro funciona de manera más flexible, tal que no solamente el cableo entre las neuronas cambia y se ajusta continuamente, sino aparentemente también la función de las diferentes neuronas. Esa flexibilidad llega a tal grado, que un cerebro gravemente lesionado en un accidente podría recuperar casi toda su funcionalidad cuando las partes no afectadas “aprenden” a ejecutar las tareas que anteriormente procedían de las regiones destruidas (siempre y cuando la persona sea suficientemente joven en el momento del accidente).

Entonces, ¿qué aprendemos realmente de experimentos como los descritos arriba sobre el funcionamiento del cerebro? ¿por qué se mueven mis dedos de manera coordinada tecleando este artículo, cuando ciertos grupos de neuronas de mi cerebro disparan de manera sincronizada? ¿por qué y cómo se me ocurren ideas (o ¡más bien! ¿por qué muchas veces no se me ocurren?) ¿de dónde vienen y porqué? ¿de qué manera se guarda información, como por ejemplo la fecha de nacimiento de mi esposa? y ¿cuáles son los mecanismos que me causan un susto súbito cuando de repente me doy cuenta que su cumpleaños fue ayer? No se sabe todavía la respuesta a estas preguntas. El cerebro humano, el sistema que determina nuestra razón, el órgano que alberga nuestra personalidad, sigue siendo un misterio. Quizá el misterio más grande del mundo.

El autor de este artículo agradece las correcciones y valiosas sugerencias por parte del Dr. Joaquín Sánchez Castillo.

BIOTECNOLOGÍA DE LA "A" A LA "Z"

Prólogo

Durante las últimas décadas se ha registrado un vertiginoso progreso de la biotecnología, lo que ha impactado en una gama muy amplia de actividades humanas, como la salud, la agricultura, la producción de alimentos, la generación de biofármacos, la producción de biocombustibles, y la protección ambiental, entre otras.

En esta sección, una de las tres que conforman el Tomo II de la obra *La Ciencia, desde Morelos para el Mundo*, se revisan diversos temas de biotecnología, y se realiza un recorrido por las múltiples áreas de especialidad de los biotecnólogos que laboran en el Estado de Morelos. De esta manera, se recopila de forma privilegiada la valiosa experiencia de científicos notables, esforzados en divulgar sus saberes con objeto de interesar al lector e inspirar a las nuevas generaciones en este fascinante campo del conocimiento humano.

A propuesta del entonces presidente de la Academia de Ciencias de Morelos (ACMor), el Dr. Enrique Galindo Fentanes, el 9 de julio de 2007 dio inicio en el diario *La Unión de Morelos* la serie de publicaciones semanales, “ACMor en la Unión”, con su aportación inaugural en esta sección, la “A” de la Biotecnología, que relata los orígenes de esta disciplina, cuando se cultivaban microorganismos para producir cerveza y pan, y nos transporta hasta la actualidad, en que el uso de diversos tipos de células y tecnologías de punta permite generar una vasta variedad de productos que enriquecen nuestra vida cotidiana.

Los autores de otras contribuciones de esta sección nos ilustran cómo los microbios son indispensables en el planeta, ya que pueden transformar la materia orgánica en productos necesarios para la vida, y son utilizados con éxito en la fabricación de biofertilizantes (fijadores de nitrógeno) al establecer

simbiosis con las plantas y mejorar, sin contaminar el ambiente, el rendimiento de cultivos como el frijol. También nos explican cómo, entre diversas comunidades bacterianas, se libran encarnizadas batallas biológicas en beneficio del ser humano; nos maravillan con relatos de bacterias y organismos que sobreviven en condiciones extremas de temperatura, de salinidad o de radiactividad, o bien sin agua por décadas, y pueden "revivir" en cuestión de horas.

Otros trabajos explican cómo mediante el uso de biorreactores y bioprocesos para el cultivo de microorganismos, se han generado espesantes y gomas empleados en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética, química, y hasta para la extracción secundaria de petróleo, permitiendo así la transición de una industria química basada en procesos tradicionales, a otra fundada en la obtención de biomateriales mediante procesos biocatalíticos. Se detallan las grandes bondades de aplicación de estas metodologías, al complementar el conocimiento biológico con los fenómenos de transferencia de masa y mezclado que tienen lugar al interior de un biorreactor, y que permiten obtener productos de interés comercial a precios asequibles. Resaltan cómo las metodologías de imágenes son una herramienta fundamental para su entendimiento a nivel microscópico, y cómo la aplicación de los catalizadores biológicos (enzimas) dosificados en los detergentes, permiten la eliminación de grasas y otros productos.

En otro conjunto de aportaciones, se discute el gran impacto alcanzado por las aplicaciones modernas de la biotecnología y el hito marcado hace más de dos décadas por el desarrollo de la biología molecular, al lograr manufacturar insulina humana utilizando células de microorganismos como vectores de producción: hoy existen más de

200 medicamentos biotecnológicos en el mercado y casi el doble en desarrollo. Así mismo, se resaltan las aplicaciones obtenidas mediante sistemas virales para el desarrollo de medicamentos.

Otros trabajos describen la importancia de las toxinas de alacranes y los grandes avances en las investigaciones realizadas en el Estado de Morelos que impactan en la salud pública; logrando productos biotecnológicos que benefician no sólo al país, sino al mundo entero. Se resaltan los logros de colegas del Instituto de Biotecnología, que en colaboración con compañías biotecnológicas nacionales han desarrollado exitosos productos como el faboterápico “Alacramyn”, antiveneno de nueva generación utilizado contra alacranes, que no produce los efectos indeseables de medicamentos tradicionales obtenidos de suero de caballo, y se describen los “parasitoides”, o insectos cuyas larvas se alimentan de los cuerpos de otros insectos, de arañas o ciempiés, y que constituyen un fenómeno similar al que se aborda en la saga cinematográfica *Alien*.

Los autores discuten con objetividad algunas preocupaciones relativas al debate sobre los alimentos transgénicos y explican que, a la fecha, no hay evidencias de que los organismos genéticamente transformados generen alergias o intoxicaciones en humanos, pero sí ofrecen beneficios indudables, como la disminución en el uso de pesticidas para el control de plagas, al utilizar plantas transgénicas que producen sus propias toxinas insecticidas.

En otro contexto, exponen estrategias de frontera para resolver problemas agrícolas y nutricionales; como es el empleo de la genómica funcional para conocer los genes que se expresan en los diferentes órganos del frijol, y cuáles genes le permiten a esta leguminosa contender con situaciones de estrés ambiental.

También discuten los beneficios de explotar la presencia natural de agentes de control biológico, como los hongos del género *Trichoderma* en el cultivo de la nochebuena o *Poinsettia*.

El carácter ancestral de la biotecnología en México se enfatiza en trabajos aportados, que ofrecen un análisis crítico sobre la producción de pulque en el país y que concluyen que, lejos de tener un futuro incierto, este producto seguirá siendo parte de nuestra cultura por mucho tiempo, debido a su consumo tradicional y al surgimiento de nuevos mercados internacionales.

Otras contribuciones se han enfocado a cubrir el alfabeto biotecnológico hasta la letra Z, y destacan el carácter tecnológico de esta disciplina. Así, se detallan las propiedades curativas de la flora local para el tratamiento del cáncer y de enfermedades mentales, y se explica cómo las plantas medicinales forman parte de una identidad que define a México como nación.

Como se describe de forma representativa en esta sección, la biotecnología integra diversas disciplinas que utilizan las propiedades del mundo viviente para fabricar productos o proveer servicios. Debido a su rápido crecimiento, se considera que el siglo XXI es el de la biotecnología, pues sin duda su aplicación enriquece la calidad de vida humana y el medio ambiente e impulsa vigorosamente la prosperidad de las naciones. Se puede esperar que en un futuro próximo habrá aportaciones novedosas realizadas por colegas de la Academia de Ciencias de Morelos y confiamos en que serán oportunamente divulgadas en el diario *La Unión de Morelos*.

María Luisa Villarreal
Alfredo Martínez

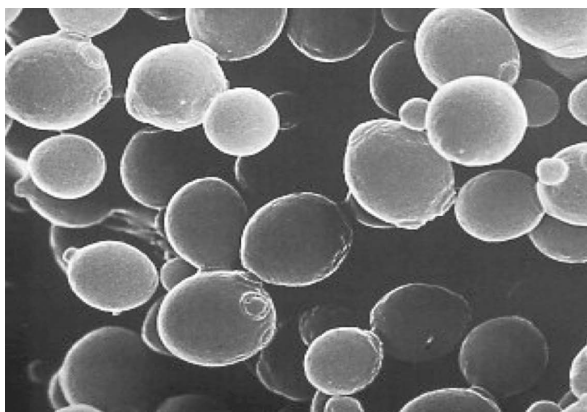
Microbios, fermentaciones y biotecnología

Enrique Galindo Fentanes

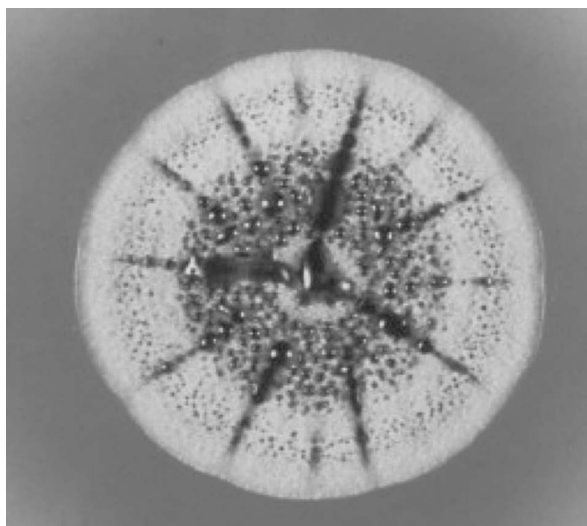
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 2007-2008 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Los microbios o “microorganismos” sin duda han sido los protagonistas más importantes (aunque probablemente anónimos) de la biotecnología. Puede decirse que la biotecnología se inició con el cultivo controlado de microorganismos. Leeuwenhoek (en Holanda) fue el primero que los vio, aunque fueron Pasteur (en Francia) y Koch (en Alemania) quienes por primera vez demostraron que los microorganismos eran responsables de actividades biológicas específicas, tales como la fermentación alcohólica y el agente causal de algunas enfermedades.

Los microorganismos más utilizados en biotecnología son las bacterias, las levaduras y los hongos. Las bacterias son los más sencillos de ellos, miden menos de una micra (que es una milésima parte de un milímetro) y se reproducen por bipartición (esto es, una bacteria genera dos de ellas, sin saber cual es la progenitora). Bajo condiciones ambientales favorables, las bacterias se reproducen muy rápidamente: la población puede duplicarse ¡cada 20 minutos! Las bacterias (y particularmente una de ellas, *Escherichia coli*, que vive regularmente en el intestino humano) se encuentran entre los seres vivos cuyo material genético se conoce en su totalidad y en donde se han desarrollado ampliamente las técnicas de ingeniería genética. Existen muchos procesos biotecnológicos que usan el cultivo de bacterias. En algunos casos, las bacterias mismas constituyen el producto. Ejemplos de ello lo son las bacterias lácticas que se usan como probióticos (esto es, estimuladores de crecimiento y/o aprovechamiento de alimentos en animales). En varios casos, las bacterias se usan para producir sustancias que constituyen el producto biotecnológico. Un ejemplo es el caso de algunas gomas que se usan



Levadura Saccharomyces cerevisiae vista al microscopio electrónico.



Colonia del hongo productor de penicilina.

como texturizantes en la industria alimentaria. Otro ejemplo lo constituyen los aminoácidos, usados en alimentación animal y como componente de los caldos de pollo industrializados. Las bacterias que han sido transformadas por ingeniería genética se usan para producir, por ejemplo, insulina humana y las enzimas que se usan en los detergentes biológicos.

Las levaduras son microorganismos más complejos y más grandes que las bacterias (miden alrededor de 10 micras) y se reproducen por gemación, esto es, puede distinguirse a las progenitoras. Las levaduras son los microorganismos que la humanidad ha usado desde tiempos inmemoriales (aun antes de saber que eran levaduras) para producir cerveza, vino y pan. Las levaduras (principalmente la levadura de pan, *Saccharomyces cerevisiae*) actualmente también se usan como “maquinarias” para producir sustancias por ingeniería genética. Por ejemplo, la vacuna recombinante contra la hepatitis B se produce usando esta levadura.

Los hongos son microorganismos aún más complejos que las bacterias y levaduras. Son organismos pluricelulares que crecen en largos segmentos (llamados “hifas”) y que tienen ramificaciones. Estas estructuras pueden llegar a medir del orden de milímetros. Los hongos tienen muy amplias capacidades biosintéticas y se usan para producir la mayor parte de los antibióticos que se generan por fermentación (como la penicilina), así como enzimas, vitaminas, aromas, etc.



Además de las bacterias, las levaduras y los hongos, existen otras entidades biológicas que, sin ser microorganismos, se cultivan por técnicas de fermentación. Entre ellos se incluyen a las células vegetales y animales, tejidos como raíces o piel, e incluso nemátodos. Con estos sistemas biológicos, los problemas de cultivo son más críticos, ya que requieren condiciones muy especiales para su desarrollo.

El concepto “fermentación” fue acuñado por Pasteur para describir el desarrollo y actividad de microorganismos bajo condiciones anaerobias (i.e. en ausencia de oxígeno, como es el caso de la producción de alcohol). Sin embargo, actualmente “fermentación” tiene un significado más amplio y se refiere a las técnicas de cultivo de microorganismos (o células u organismos en suspensión) bajo condiciones controladas. En consecuencia, un “fermentador” es un recipiente en donde se promueve el crecimiento de células u organismos con el fin de producir un producto específico, el cual puede ser el microorganismo, célula u organismo *per se*, o bien alguna sustancia producida por ellos.

El fermentador tiene los objetivos fundamentales de mantener la esterilidad (que permita el cultivo exclusivo de la especie biológica de interés) y el de proporcionar las condiciones ambientales (i.e. temperatura, nutrientes, etc.) óptimas para el objetivo en particular del proceso. Existen algunos aspectos que son importantes para lograr fermentaciones exitosas a nivel industrial. Uno de ellos que resulta crítico es lo que se llama el “escalamiento” del proceso. Escalar un proceso consiste fundamentalmente en

reproducir (y en ocasiones mejorar) lo que se logró en el nivel de investigación (generalmente en matraces o fermentadores de laboratorio) en fermentadores de nivel industrial, los cuales tienen volúmenes de entre los cientos y los miles de metros cúbicos. Con el escalamiento también se pretende que el producto se pueda producir de la forma más barata posible. Gracias a estas técnicas es que contamos, por ejemplo, con antibióticos (como la penicilina) de muy bajo precio.

El proceso biotecnológico no culmina con la fermentación. Una vez producida la sustancia u organismo de interés, es necesario -en mayor o menor medida- separar, extraer, concentrar y purificar el producto en cuestión del “caldo” de fermentación. Estas operaciones pueden ser incluso más complejas (y más costosas) que las de fermentación. Esta es una de las razones por las que algunos productos biotecnológicos (principalmente en el ramo farmacéutico) son de muy alto valor agregado.

Libros recomendados:

“Los cazadores de microbios”. Paul de Kruif, Ediciones Leyenda, México (1999).

“La biotecnología”, Agustín López-Munguía, Colección Tercer Milenio, CONACULTA, México (2000).

“El Secreto de la Vida”, Joseph Levine & David Suzuki, Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM; Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C., México (2000).

Microbios, geles y espesantes

Carlos Peña Malacara

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Enrique Galindo Fentanes

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Miembro y Presidente 2007-2008 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

La mayoría de la población sabe que es posible encontrar microbios en todas partes y generalmente se les asocia con enfermedades, algunas de alto riesgo para el hombre. Sin embargo, existe un gran número de microbios que constituyen una fuente inagotable de nuevos productos, los cuales son útiles para diferentes propósitos. Tal es el caso de las bacterias productoras de los polímeros llamados “polisacáridos microbianos”. Los polisacáridos son moléculas de gran tamaño constituidas fundamentalmente de azúcares y que tienen la capacidad de alterar el comportamiento de flujo del agua (por ejemplo, viscosificando soluciones o formando geles). Con base en estas propiedades son ampliamente usados en industrias como la de alimentos, farmacéutica, textil y química.

Estos polímeros tienen una amplia diversidad en su estructura química, que se deriva principalmente de la naturaleza del tipo de azúcar de la que están constituidos. Existe una amplia gama de microbios que producen polisacáridos. Es el caso de *Leuconostoc mesenteroides*, una bacteria que puede encontrarse en los cultivos de la caña de azúcar y que produce el DEXTRANO, un polisacárido que se usa en el

campo de la medicina como sustituto del plasma de la sangre y en la elaboración de soportes en el campo de la química analítica; por ejemplo, para separar compuestos que tienen pesos moleculares diferentes mediante procedimientos llamados técnicamente “cromatografía”. Bacterias como *Xanthomonas campestris*, que son causantes de enfermedades en ciertas plantas, producen la XANTANA, un polisacárido usado ampliamente en la industria alimentaria, farmacéutica y petrolera, donde se utiliza como agente viscosificante. Sobre la hojarasca a la sombra de los árboles, es posible que se encuentre creciendo *Azotobacter vinelandii*, una bacteria aeróbica, o sea que requiere oxígeno para desarrollarse, y que es capaz de asimilar el nitrógeno directamente del aire (de donde deriva su nombre, Azoto = nitrógeno) que comúnmente vive en el suelo y que produce el polisacárido ALGINATO, del cual entraremos en detalle a continuación.

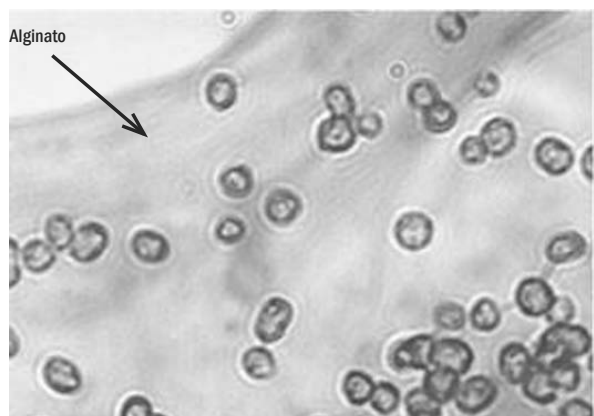
Los alginatos son principalmente usados en la industria como agentes gelificantes y viscosificantes, formadores de películas para la protección de alimentos, estabilizantes y espesantes. Este polímero



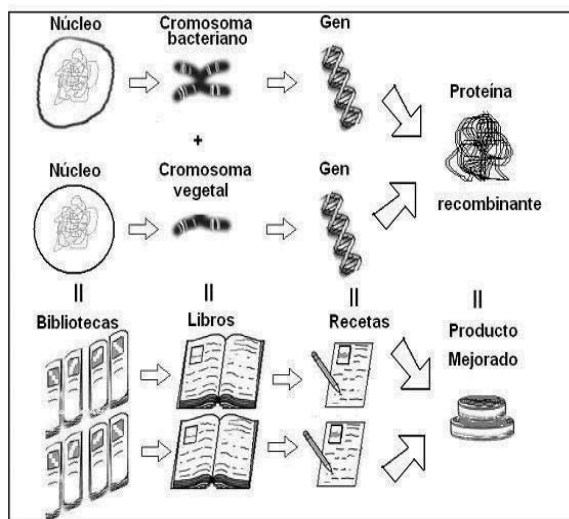
Batería de fermentadores de laboratorio, en donde se cultivan microorganismos.

se usa en la preparación de helados para conferirle un aspecto cremoso y suave. En pastelería se usa como relleno, gracias a sus características gelificantes. Cabe decir que en la industria textil, se usa en el teñido de telas, como espesante para la pasta que contiene la tinta, para mejorar la fijación, el brillo y el rendimiento de los colorantes. En medicina se utiliza en la elaboración de moldes para impresiones dentales y para atrapar ó “inmovilizar” células de diferentes órganos, como el páncreas y el hígado, para el tratamiento de enfermedades como la diabetes.

La producción del alginato a partir de células de *Azotobacter* se realiza de la siguiente manera: la bacteria es cultivada por medio de “fermentación sumergida”, esto es, en un medio líquido en el que están suspendidas las bacterias y al que se le inyecta aire filtrado en recipientes llamados fermentadores o biorreactores. Una de las ventajas de usar este tipo de recipientes es la posibilidad de manipular y controlar diferentes variables que influyen en el crecimiento de la bacteria, en la producción y en la calidad del alginato. Al ser *Azotobacter* una bacteria que requiere oxígeno para su crecimiento, el oxígeno disuelto en el medio juega un papel muy relevante en la síntesis del alginato. Por ejemplo, cuando la cantidad de oxígeno disuelto es muy baja, la bacteria acumula cantidades importantes de otro polímero, el polihidroxibutirato (PHB), un polímero plástico que usa la bacteria como material de reserva y que puede ser usado para producir plásticos biodegradables. Al incrementar la cantidad de oxígeno en el líquido en donde se está cultivando, el microorganismo produce de manera más eficiente el alginato y por lo tanto se obtienen mayores cantidades de polímero. El oxígeno no sólo afecta la cantidad de alginato, ya que además influye en las características químicas del polímero. Gracias a estudios minuciosos de nuestro grupo de investigación, sabemos que tanto el tamaño de la molécula (peso molecular) como su composición (tipo de azúcares), pueden ser manipulados por la cantidad de oxígeno disuelto en el medio. Cabe decir que el peso molecular y la composición del polímero determinan la capacidad viscosificante y gelificante y por lo tanto, la calidad del producto.



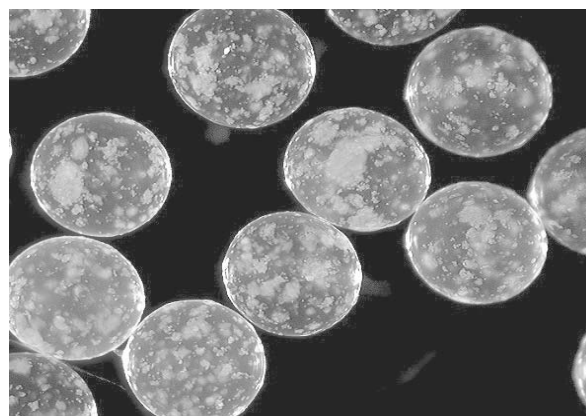
Células de “*Azotobacter*” produciendo alginato



JUAN L. GARCÍA ROJAS

Una estrategia para mejorar la producción de alginatos y lograr productos con características químicas específicas, es el uso de técnicas de ingeniería genética para la creación de nuevas cepas o variedades de la bacteria. Estas cepas son diseñadas por genetistas especialistas y la producción de alginato se optimiza en fermentadores de diversas escalas. Mediante este tipo de estrategias se han podido sintetizar alginatos con un peso molecular muy alto, por arriba del que comúnmente tienen los alginatos comerciales actuales, provenientes de algas marinas. Estos productos bacterianos de gran tamaño exhiben una capacidad viscosificante superior a la que se puede obtener con los alginatos de algas, de tal manera que las cantidades que se requieren para alcanzar cierto nivel viscosificante en alimentos o productos farmacéuticos, sería menor que cuando se usa el alginato comercial convencional.

Los anteriores son sólo algunos ejemplos de lo que es posible hacer con el conocimiento generado en el campo de los polisacáridos microbianos y abre nuevas posibilidades para diseñar procesos para la síntesis de alginatos hechos a la medida, y por lo tanto de alta calidad y valor agregado.



Gels de alginato con células hepáticas inmovilizadas

El pulque, una bebida con un gran pasado y ¿un futuro incierto? (Primera parte)

Adelfo Escalante

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Guillermo Gosset

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El pulque es una bebida fermentada tradicional alcohólica que se produce como resultado de la fermentación de la savia (aguamiel) de varias especies de magueyes pulqueros que se dan en casi todo el país. La principal área de cultivo del maguey y producción del pulque se presenta en los Estados centrales de México: Estado de México, Michoacán, Querétaro, Morelos, la zona rural del D. F., Hidalgo y Tlaxcala, siendo la zona limítrofe entre estos dos últimos Estados en donde el cultivo de maguey es más intenso. Para la elaboración del pulque, se utiliza aguamiel fresco colectado diariamente por la mañana o por la tarde de magueyes que han sido “tratados” previamente, es decir, aquellas plantas que una vez que han alcanzado la edad adecuada, se “castran” antes de que nazca el quiote (tallo comestible de la flor del maguey) y con esto favorecer un crecimiento mayor de la planta. Tradicionalmente el aguamiel se colecta utilizando el acocote, especie de calabazo o bule con el cual se succiona la savia que se acumula en la cavidad hecha en la “castración” del maguey. El aguamiel colectado se transporta tradicionalmente en bolsas de cuero, pero de forma común se utilizan también recipientes de plástico, hasta los tinacales (tradicionalmente recipientes de madera y piel, pero ahora de manera muy común, se utilizan recipientes de plástico), en los que se desarrolla propiamente la fermentación.

El proceso de fermentación inicia con la adición de la “semilla”, la cual es preparada de diversas maneras dependiendo del productor y es en algunos casos, un secreto muy bien guardado. Una vez establecida la semilla, se inoculan las tinas y la fermentación termina tradicionalmente considerando el desarrollo de viscosidad y la producción de alcohol. El producto final, listo para su consumo, es una bebida viscosa, efervescente y con un grado alcohólico de 4 hasta 7 ° G.L. Dependiendo del gusto se consume suave, fuerte o maduro o bien con la adición de jugos o su mezcla con frutas, vegetales o algunos cereales.

El pulque es una bebida con una historia muy arraigada a diversos sectores de la sociedad mexicana desde la época prehispánica. Aunque no se sabe a ciencia cierta a partir de que momento se inició su producción sistemática, se sabe que los aztecas heredaron de las culturas precedentes muchos de los conocimientos sobre el cultivo del maguey y la

producción del pulque, llegando a alcanzar esta bebida un papel muy importante en la sociedad y religión. Así por ejemplo, llegó a ser parte importante del tributo impuesto a los pueblos bajo dominio. Está ampliamente documentada la celebración por parte de los mexicas de ceremonias dedicadas a deidades, en las que el pulque jugaba un papel muy importante y en las que esta bebida era consumida en grandes cantidades por hombres y mujeres de todas las edades (incluso niños) y, aparentemente, pertenecientes a diferentes sectores de la sociedad. La relación del consumo del pulque con aspectos religiosos, se propone que fue una estrategia de la clase gobernante mexica para normar el hábito tan arraigado del consumo de esta bebida, particularmente hacia la clase religiosa y gobernante.

Después de la conquista y con la destrucción y erradicación de la estructura religiosa mexica, el consumo y producción del pulque, lejos de decaer, alcanzó niveles muy importantes. En un principio su producción y consumo se daba principalmente entre los indígenas, pero con la incorporación de los hispanos a la producción del pulque, el mercado dominado por los indígenas fue completamente desplazado. De este modo, los españoles comenzaron a crear haciendas pulqueras con lo que el cultivo de magueyes pulqueros y la producción de esta bebida llegó a contribuir de





forma muy importante a la economía de la Nueva España, llegando a ser, a finales del S XVIII la quinta “Renta” de importancia para la Real Hacienda de la Colonia. Para este momento, se introducían a la Ciudad de México unos 100,000 barriles, de 250 litros cada uno, anualmente.

El esquema de producción, distribución y venta del pulque se vio severamente afectado por el movimiento de Independencia, llegando a disminuir su introducción a la Ciudad de México a 30,000 barriles. Sin embargo, para mediados del siglo XIX, ya se consideraba nuevamente como una de las principales actividades económicas, llegando a tener esquemas de control sobre su producción en haciendas pulqueras, distribución y venta, muy similares a los existentes durante la época Colonial. En los primeros años del siglo XX, el uso del ferrocarril tuvo un impacto muy importante sobre el tiempo de distribución del pulque desde las haciendas hasta los comercios expendedores, teniendo como consecuencia un incremento de forma importante en el mercado consumidor. Sin embargo, e irónicamente, al igual que lo que ocurrió 100 años antes con el inicio de la lucha de Independencia, la Revolución de 1910, tuvo el mismo efecto devastador sobre la producción del pulque. El uso militar de los trenes y la confiscación y destrucción de las haciendas pulqueras afectaron gravemente su producción y consumo.

A partir de 1920, la producción y consumo de pulque mostró nuevamente un importante repunte, pero el resultado de la introducción de la cerveza al país a finales del siglo XIX y principios del siglo XX hizo que lentamente se arraigara la costumbre de consumir esta bebida, lo que fue desplazando el gusto de nuevas generaciones hacia el pulque, situación aunada a una campaña en la que se resaltaban diversos aspectos

sanitarios negativos asociados al carácter artesanal y tradicional de la producción del pulque. Esta situación aunada a la disminución de la superficie destinada para cultivo del maguey, mermó de forma muy importante su producción. En la actualidad, el proceso de elaboración del pulque sigue siendo un proceso completamente artesanal permaneciendo prácticamente sin cambios: un proceso desarrollado bajo condiciones no asépticas y en donde los microorganismos involucrados en el desarrollo de la fermentación son una mezcla compleja que está naturalmente asociada al aguamiel, al desarrollo de la semilla, y de aquellos microorganismos incorporados al proceso como resultado de la recolección del aguamiel, su transporte, inoculación y manipulación.

No existen datos exactos sobre la producción actual de pulque, debido principalmente al carácter artesanal de su producción en pequeños volúmenes en regiones en las que aún se produce y consume. Sin embargo, desde hace algunos años diversos empresarios nacionales y extranjeros han realizado importantes inversiones para producir pulque enlatado o embotellado (Pulquemex, Pulque Poliqhui, Néctar del Razo, Pulque Azteca), y cuyo principal mercado son los Estados Unidos. Bajo este esquema de producción, el aguamiel es comprado a productores de la región pulquera-magueyera del Estado de Hidalgo (Tlaxcala para el caso de Pulque Azteca) (de 1,800 a 2,000 litros de aguamiel por semana), una vez en la planta de producción se desarrolla la fermentación, se pasteuriza el producto y se enlata o embotella, para posteriormente ser exportado. Con respecto al nivel de producción de pulque, existen diferentes datos de acuerdo a la fuente: entre 250 mil cajas y 800 mil botellas por año... (continua).

El pulque, una bebida con un gran pasado y ¿un futuro incierto? (Segunda parte)

Adelfo Escalante

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos.

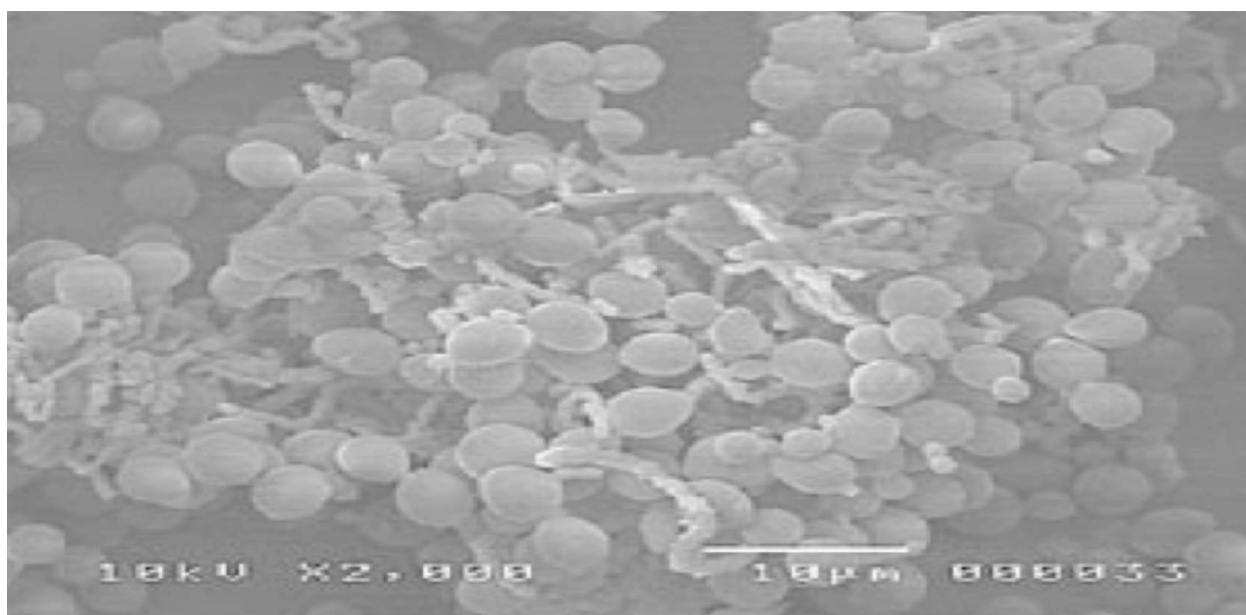
Guillermo Gosset

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos, A. C.
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Uno de los principales problemas en este exitoso esquema de industrialización del pulque, es la disponibilidad de magueyes a partir de los cuales se extrae el aguamiel. El crecimiento de esta planta es muy lento: tarda de 7 a 10 años en alcanzar su madurez y una vez en esta etapa se castra para iniciar la extracción del aguamiel. Cada planta puede producir hasta 6 litros de aguamiel diarios y después de 4 a 6 meses la planta se seca y muere. De acuerdo a datos del INEGI, en el 2005 para el Estado de Hidalgo, existía una superficie sembrada de magueyes pulqueros de 5,731 hectáreas (unos 2,000 magueyes por hectárea, un total de 11,462,000 magueyes en esta superficie). La facilidad de propagación del maguey en diferentes tipos de suelo y la creación de viveros para su cultivo (por ejemplo, creación de un vivero en la localidad de Zinguilucan, Hgo., para producir 400 mil magueyes), aseguraría la disponibilidad de esta planta para la obtención de aguamiel. Los diferentes esfuerzos desarrollados para industrializar la elaboración del pulque muestran un panorama prometedor y un futuro no tan incierto para esta importante bebida, aunque con un esquema muy distinto de lo que ha sido

su producción tradicional a lo largo de varios siglos de historia. La producción tradicional de pulque es una actividad de gran importancia para muchos grupos de la población en regiones en las que se produce esta bebida. Aunque no existen datos actuales precisos sobre el nivel de su consumo, en algunas regiones se sabe que es consumido por 51% de bebedores rurales en contraste con solo un 29% de consumidores urbanos. Existen dos causas principales que favorecen su consumo: una es su naturaleza alcohólica asociada a su consumo tradicional sobre otras bebidas embriagantes y de forma también importante, su uso como complemento para la dieta diaria de grandes grupos de población, particularmente de bajos recursos económicos.

Tradicionalmente se le han asociado al pulque diversas cualidades medicinales y nutricionales desde épocas prehispánicas, entre las que destacan la prevención de trastornos gastrointestinales, anorexia, infecciones renales, astenia y baja producción de leche durante la lactancia. Asimismo, se ha determinado que es una fuente importante de diversas vitaminas. El alcohol (etanol) presente en el pulque no representa una fuente importante



A OJO DE MICROSCOPIO | Microorganismos en el pulque.

de energía, pero, por el contrario, se ha propuesto que puede existir una relación entre el consumo de grandes cantidades de pulque y el desarrollo de enfermedades como la cirrosis hepática, particularmente en aquellas regiones de alto consumo. Por otro lado, el estudio de la microbiología de esta bebida representa un aspecto muy importante que podría aportar información de interés sobre los posibles efectos benéficos de su consumo.

Los primeros estudios sobre la microbiología del pulque datan de finales del siglo XIX. Sin embargo, no es sino hasta el período de 1925-1932, que gana relevancia científica a nivel internacional cuando P. Linder reporta el aislamiento de una bacteria productora de etanol a la que nombró como *Termobacterium mobile*, bacteria que en la actualidad se denomina como *Zymomonas mobilis*, la cual es considerada de gran interés industrial, por su capacidad de producir elevados niveles de etanol. Varios trabajos sobre la microbiología del pulque desarrollados por los doctores Alfredo Sánchez-Marroquín y Miguel Ulloa, describen diversas especies de bacterias y levaduras encontradas en esta bebida, siendo *Z. mobilis* y la bacteria ácidoláctica *Leuconostoc mesenteroides*, aquellas que se reportan con mayor frecuencia en diversos trabajos, junto a otras bacterias ácidolácticas identificadas como miembros del género *Lactobacillus* y levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*. De estos microorganismos, se ha considerado que la levadura *S. cerevisiae* y la bacteria *Z. mobilis* son los responsables de la producción de etanol durante la fermentación, mientras que la bacteria láctica *Leuconostoc mesenteroides* es responsable de la producción de una goma (polisacárido), responsable de la viscosidad característica de esta bebida. Estos microorganismos han sido considerados como fundamentales para el desarrollo de la fermentación del pulque.

Sin embargo, a partir de la década de los 1980, existe un vacío muy importante en los estudios microbiológicos sobre el pulque. Recientemente, se ha redefinido al pulque como un ambiente en el cual se desarrollan tres tipos de fermentación de interés biotecnológico: fermentación alcohólica, que permite la producción de etanol; fermentación ácida, producción de ácido láctico y acético y; una fermentación “viscosa”, producción de polisacáridos. Estas características, aunadas a la presencia de compuestos de tipo prebiótico (sustancias que favorecen el crecimiento de microorganismos benéficos en el intestino), tales como la inulina en el aguamiel y durante las primeras etapas de la fermentación, ha tenido como consecuencia que desde hace algunos años, varios grupos de investigación se enfocaran nuevamente al estudio de la microbiología del pulque. Como resultado de estos trabajos se han aislado especies de bacterias y levaduras que producen enzimas de interés industrial: la enzima dextranasacarasa por ejemplo, es producida por *Leuconostoc mesenteroides*. Esta enzima es la responsable de la síntesis de un polímero del azúcar glucosa llamado dextrana, la cual tiene importantes aplicaciones en diversos campos de la industria; y la enzima inulinasa producida por una especie de la levadura *Kluyveromyces*. Esta enzima es utilizada para la degradación de la inulina.

Se han identificado y aislado de muestras de pulque de la localidad de Huitzilac, Morelos, algunas bacterias lácticas que han demostrado ser resistentes a condiciones de crecimiento en las que se han adicionado sustancias que simulan las condiciones de acidez del estómago (Facultad de Química, UNAM). Estos resultados preliminares, sugieren la capacidad de estas bacterias de tener algún posible efecto probiótico (bacterias lácticas benéficas del intestino), como resultado del consumo de pulque, sugiriendo que aquellas propiedades nutricionales que tradicionalmente se le asocian al pulque tienen un soporte científico.

Recientemente, en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, Campus Morelos, se desarrolló un estudio, en el que se identificaron por diferentes técnicas las bacterias presentes en el aguamiel y durante una fermentación del pulque de 6 horas. Los resultados permitieron identificar en el aguamiel a bacterias lácticas del género *Leuconostoc* y después de agregar la semilla se observó la presencia de bacterias lácticas del tipo de lactobacilos acidófilos, bacterias que son de interés por su capacidad de tolerar condiciones de acidez. La figura que acompaña este artículo es una fotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de algunos de los microorganismos presentes en el pulque. Se pueden observar de forma importante células de forma esférica que corresponden muy probablemente a levaduras, principales microorganismos productores de alcohol (etanol) durante la fermentación. Se observan células esféricas (cocos) de menor tamaño agrupadas en filamentos y algunas agrupadas en pares. Estas estructuras corresponden probablemente a bacterias lácticas del género *Leuconostoc*. La muestra se tomó de una fermentación de 6 horas realizada en nuestro laboratorio, a partir de pulque y aguamiel de Huitzilac, Morelos.

En este trabajo se identificaron también otras bacterias consideradas como no deseables durante toda la fermentación (por ejemplo enterobacterias, normalmente asociadas con algunos tipos de infecciones). Es importante destacar que la presencia de bacterias benéficas (como las bacterias ácido lácticas) y de bacterias no deseadas, es una característica observada en otras bebidas fermentadas tradicionales mexicanas como es el pozol, bebida no alcohólica que se consume de forma importante en el sureste de nuestro país.

Estos estudios permiten tener una idea de la diversidad de bacterias presentes en la fermentación tradicional del pulque. Aun falta determinar qué bacterias se consideran como importantes para la fermentación y cuáles podrían ser los posibles efectos benéficos asociados a su consumo cuando se ingiere esta bebida.

Los ejemplos presentados en estos dos artículos sobre el estado actual de la producción y el estudio del pulque, hacen suponer desde nuestra perspectiva, que esta bebida tradicional lejos de tener un futuro incierto, seguirá siendo parte de nuestra cultura por mucho tiempo más, ya sea en su consumo tradicional o en los nuevos mercados para los que se está produciendo de forma industrializada.

Las tres etapas de aplicaciones de la biotecnología y la industria química limpia (Primera parte)

Xavier Soberón Mainero

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 2005-2006 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

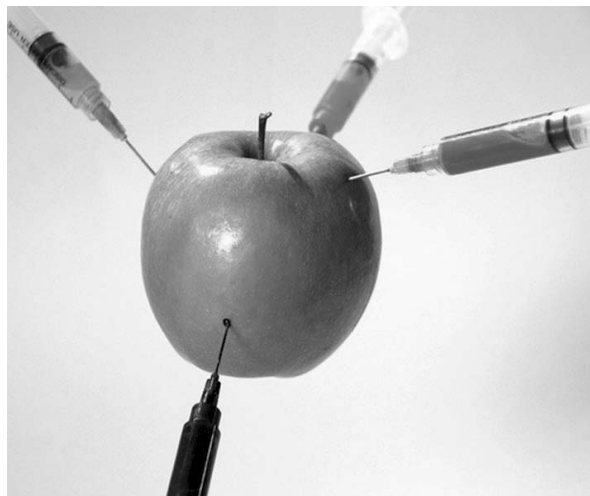
La biotecnología, que podemos definir como el uso de organismos vivos para el bienestar humano, ha estado con nosotros desde la antigüedad. La actividad de domesticar plantas y animales o el hacer quesos, vinos y yogurt no son otra cosa que tecnologías biológicas, por cierto con resultados cruciales para la sobrevivencia humana y sin duda con gran capacidad para contribuir a nuestro bienestar. Pero hay que notar que esta biotecnología estaba circunscrita a los procesos que se fueron descubriendo por accidente y luego se fueron perfeccionando por procedimientos empíricos. Fue solamente con el desarrollo de la ciencia profesional, es decir los últimos dos siglos, que se dieron las bases para el desarrollo de una biotecnología realmente basada en el conocimiento científico, de la cual son ejemplo las fermentaciones

para productos especiales, tales como los antibióticos y los productos naturales. Pero, ¿qué hay de nuevo en la biotecnología al inicio de este siglo XXI?

La nueva biotecnología, que surge de la capacidad de modificar con gran versatilidad el material genético, o sea, de la ingeniería genética, ha estado presente desde inicio de los años ochenta. En los 25 años que ha estado presente esta capacidad tecnológica se reconocen tres etapas más o menos diferenciadas en cuanto al tipo de productos que han ido surgiendo de su empleo.

Durante la primera década, aproximadamente, los productos que fueron llegando al mercado fueron los medicamentos. El más conocido, emblemático de la nueva biotecnología, fue la insulina humana producida en bacterias, desarrollo que, por cierto,





fue conseguido por un equipo de investigadores que trabajaban en California, entre los que se contaba el Dr. Francisco Bolívar Zapata, quien labora ahora en la UNAM, y específicamente en Cuernavaca, Morelos. Hoy en día hay más de 200 medicamentos biotecnológicos en el mercado, y alrededor de 400 en proceso de desarrollo y registro. Los medicamentos biotecnológicos constituyen, de hecho, el segmento de mayor crecimiento en la industria farmacéutica.

En una segunda etapa, que se inicia en la década de los noventa, predominaron en la atención de los empresarios y el público las aplicaciones biotecnológicas del sector agrícola, con la nueva tecnología de plantas transgénicas. Esta tecnología terminó conociéndose como organismos genéticamente modificados u OGMs. Las primeras aplicaciones de los cultivos basados en OGMs se han orientado a aplicaciones factibles y propias de la agricultura intensiva, incluyendo resistencia a plagas

y a herbicidas. Sin embargo, es reconocido por toda la comunidad científica que el potencial de la tecnología transgénica para impactar otras cualidades de los cultivos, tales como su resistencia a sequía o salinidad, así como su valor nutricional y vida de anaquel es enorme. Desafortunadamente esta tecnología ha sufrido de ataques muy intensos por parte de diversos grupos de interés, y su empleo, así como el análisis y el control de riesgos relacionados, se han visto severamente distorsionados.

Pero la tercera ola de aplicaciones de la biotecnología, propia del inicio del siglo XXI, se identifica con los procesos industriales. En este caso nos estamos refiriendo a los procesos denominados bio-catalíticos. En otras palabras, los procesos que emplean los componentes cruciales de la química de los seres vivos, las llamadas enzimas. Estas sustancias son la clave de la capacidad de transformación química del mundo vivo. Cada enzima es capaz de provocar una reacción química particular, de manera altamente eficaz y específica. Algunas de las enzimas con las que podemos tener más familiaridad son las que ya se emplean en procesos de nuestra vida cotidiana, tales como las empleadas en los detergentes “biológicos”. Aquí se utilizan enzimas que degradan los componentes principales de la “mugre”, que son proteínas y grasas. Otras aplicaciones actuales no tan conocidas incluyen reacciones específicas para la obtención de antibióticos derivados de penicilina, y hasta para la producción de químicos de uso industrial, como el antiespumante llamado acrilamida.

¿Cuales son las características de esta área de la biotecnología, qué investigaciones actuales permitirían su desarrollo intenso, que áreas tendrán el mayor impacto en la economía contemporánea? Estas serán preguntas que responderemos en la segunda y última parte de esta entrega.



Las tres etapas de aplicaciones de la biotecnología y la industria química limpia (Segunda parte)

Xavier Soberón Mainero

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 2005-2006 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Si le pido que observe a su alrededor seguramente verá objetos diversos: el periódico que tiene entre sus manos o la pantalla de la computadora donde se despliega este texto, el escritorio o mesa que tiene cerca, la silla donde está sentado. Tal vez pocas veces ha imaginado cuántos productos químicos participan en la fabricación de estos objetos; desde los materiales con los que se construyen, las pinturas que los recubren, los componentes usados en su procesamiento. En la industria química se utilizan varios miles de compuestos fundamentales que

resultan indispensables para la vida moderna. Pero existe algo más a nuestro alrededor que vale la pena notar desde el punto de vista de la química. Tal vez hay una planta en la habitación donde se encuentra, y si no, pues nos podemos fijar en usted mismo. Me refiero a la naturaleza química de cualquier ser vivo. Todos sabemos que los seres vivos estamos compuestos mayoritariamente de agua, pero lo que no es agua es una mezcla complejísima de decenas de miles de diferentes sustancias químicas. La gran mayoría de estas sustancias son elaboradas





por los propios seres vivos a partir de unos cuantos compuestos muy simples. Por ejemplo, una bacteria de las que denominamos autótrofas puede elaborar unos diez mil compuestos distintos a partir de menos de diez componentes básicos: agua, bióxido de carbono, amoníaco, fosfato, sulfato y unas cuantas sales minerales adicionales. Por ello resulta pertinente decir que los seres vivos son verdaderos maestros de la química. Lo que también interesa mucho notar es que esta “industria química” de los seres vivos ha estado presente en la tierra desde hace miles de millones de años y, por definición, es una química que no degrada el ambiente. Nuestra industria química, sin embargo, es proverbialmente una de las actividades humanas que mayores problemas ambientales plantea. Nos preguntamos entonces, si será posible utilizar algunas de las capacidades de transformación química de los seres vivos para mejorar las características de la industria química de las sociedades humanas. Y esta sería una de las tareas importantes de la biotecnología.

Para la sociedad, tal vez la característica más sobresaliente de los procesos biocatalíticos es que son fundamentalmente mas limpios que los tradicionales, pues emplean soluciones acuosas y temperaturas y presiones cercanas a las ambientales. Además, el catalizador, la enzima, es una sustancia biológica (específicamente una proteína) totalmente biodegradable e inofensiva con el ambiente.

Pero el potencial de la biocatálisis para la producción de todo tipo químicos es verdaderamente gigantesco, y es sólo recientemente que las condiciones científico-técnicas y económicas se han conjugado para posibilitar su desarrollo. En primer lugar, la ingeniería genética nos ha permitido conocer la identidad de millones de genes de organismos vivos, especialmente a partir de los llamados “proyectos genómicos” de los últimos diez años. Una proporción importante de estos genes ordenan la manufactura de enzimas, de manera que ahora podemos, mediante el trasplante de estos genes a organismos de laboratorio, producir grandes cantidades de los biocatalizadores. En segundo lugar, nuevas técnicas de ingeniería de proteínas nos están permitiendo modificar las enzimas para adaptarlas mejor a las necesidades humanas. Un ejemplo notable de esto es la adaptación de las enzimas de los detergentes, mencionadas en la primera parte de esta nota, para que trabajen adecuadamente en las condiciones de la lavadora de ropa ¡Bien diferentes a las del interior de una célula viva! Finalmente, existe una fuerte presión social para promover esta nueva química “verde”, así que se tienen incentivos para ir operando una reconversión de las plantas industriales.

Se trata, en suma, del inicio de una transición para la industria química, desde una basada en el petróleo y los procesos tradicionales a otra basada en la biomasa y los procesos biocatalíticos.

Viaje al interior de un biorreactor: imágenes y su análisis (Primera parte)

Gabriel Corkidi Blanco

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Cuando tenía diez años, recuerdo haber visto una película que se llamaba 'Viaje Fantástico'. Se trataba de una misión cuyo objetivo era salvarle la vida a un importante personaje, al cual se le había formado un coágulo en el cerebro. Así, una nave con cuatro tripulantes fueron 'miniaturizados' para poder ser 'inyectados' por medio de una jeringa, al torrente sanguíneo del personaje. Recuerdo que la nave viajaba entre glóbulos rojos y blancos, librando la barrera hemoencefálica, hasta llegar al coágulo que disolvieron con un rayo láser (hace 40 años, los láseres eran de ciencia ficción!). Hoy, 40 años después, ¡me encuentro haciendo investigación en un tema llamado 'Visión por computadora'. Una de mis últimas 'misiones' ha sido aplicar este tipo de técnicas de análisis de imágenes digitales para tratar de entender cómo se generan y dispersan las burbujas de aire y las gotas de aceite en un tanque, cuyo contenido se agita a altas velocidades usando dispositivos mecánicos (llamados impulsores). Este tanque se llama 'biorreactor'. En este tanque se pueden cultivar microbios, incluyendo un hongo que produce sustancias que tienen importantes aplicaciones en la agricultura y en la industria farmacéutica y alimentaria. En la agricultura, los compuestos producidos por este hongo pueden

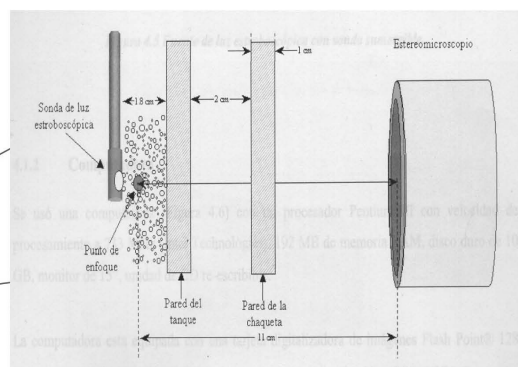
usarse como fungicida biológico (no contaminante), en la industria farmacéutica como antibiótico y en la alimentaria como aromas frutales (de coco y durazno).

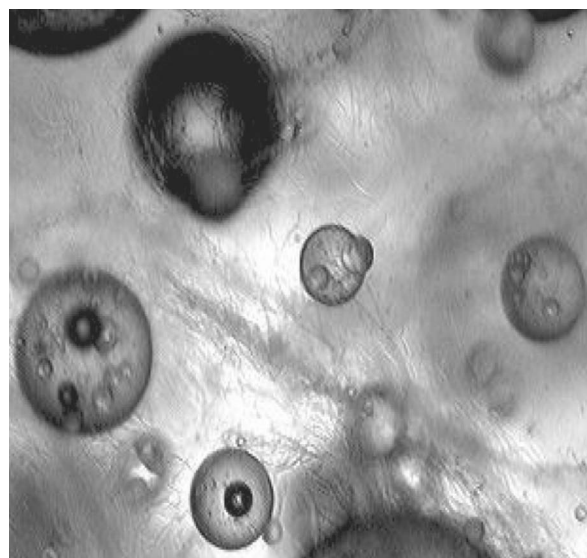
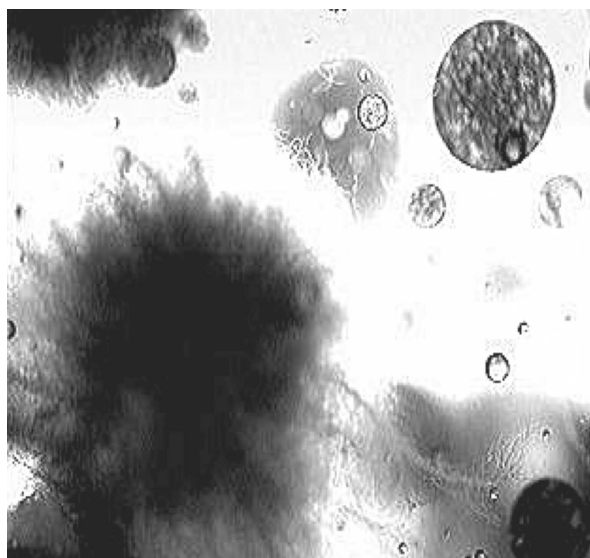
Por esta razón, es muy importante poder producir a gran escala este hongo llamado *Trichoderma harzianum*. Para producir este hongo, se necesita una especie de licuadora que agita constantemente la mezcla de nutrientes que deben de llegar al hongo para reproducirse. Esta 'licuadora' debe tener características muy especiales para poder controlar de manera óptima los factores que intervienen en el crecimiento del hongo. Uno de estos factores es el tamaño de las burbujas de aire que proveen de oxígeno al hongo, así como el tamaño de las gotas de aceite de ricino que que lo proveen de nutrientes. Mientras más pequeño es el tamaño de gota y de burbuja, más eficiente será la transferencia de oxígeno y nutrientes, y por lo tanto la reproducción del hongo. El tamaño de estas gotas y burbujas depende en gran medida del tipo de agitación producida (velocidad, forma de impulsores que agitan la mezcla, etc).

El viaje al interior del biorreactor para filmar y analizar los eventos micrométricos que ocurren puede lograrse usando técnicas de Visión por Computadora. La Visión por Computadora es una rama de la



Visualización de las dispersiones



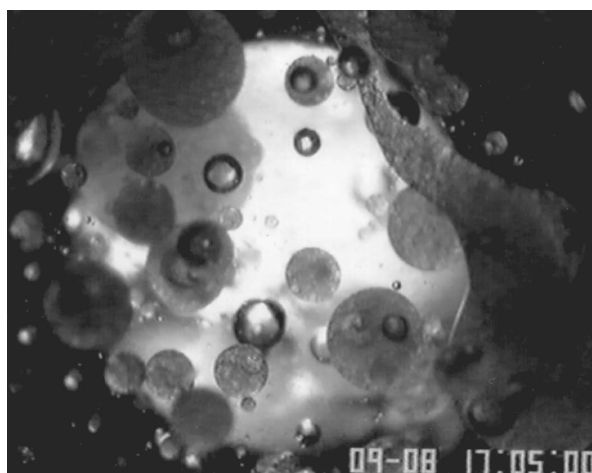


Inteligencia Artificial que tiene por objetivo modelar matemáticamente los procesos de percepción visual en los seres vivos y generar programas que permitan simular estas capacidades visuales por computadora. Sus antecedentes se remontan a los años veinte, cuando se mejoró la calidad de las imágenes digitalizadas de los periódicos, enviadas por cable submarino entre Londres y Nueva York.

Para poder observar y filmar los eventos que ocurren dentro del biorreactor, se tiene que considerar que los objetos que queremos medir tienen un tamaño entre 100 y 500 micras, y por otra parte, que la velocidad a la que se están moviendo está relacionada con el agitador del biorreactor el cual gira entre 200 y 500 revoluciones por minuto. Lo primero que se hizo fue construir un modelo de tanque a escala en vidrio para poder observar a través de las paredes transparentes. Instalamos cerca de la pared del tanque un microscopio especial, llamado estereomicroscopio. La primera vez que acercamos el estereomicroscopio al biorreactor, no pudimos observar absolutamente nada. Era obvio que de entrada hacía falta luz para iluminar la escena que queríamos filmar. Pusimos focos muy

potentes, pero las gotas y burbujas pasaban tan rápido frente a la lente, que lo único que se podía observar era una gran mancha gris. Entonces, instalamos una cámara de televisión en una entrada del microscopio, y además sumergimos en el líquido una guía de luz de fibra óptica que posicionamos justo enfrente de la lente del microscopio para poder 'iluminar' los objetos que pasaban entre esta guía y la lente. Empezamos a ver cosas que aparecían en la pantalla del monitor, pero estos objetos aparecían 'movidos', es decir, pasaban tan rápido frente a la cámara de TV, que estos aparecían borrosos y deformados, como cuando uno trata de tomar una foto de un coche a alta velocidad. Entonces, en vez de los focos potentes, conectamos un estroboscopio que emite ráfagas de luz 'flash' muy potentes, pero de duración ultra corta (cada 'flash' tiene una duración de 9 microsegundos), por lo que la escena se iluminó en períodos tan cortos que se lograba 'congelar' las imágenes de las gotas y burbujas que se movían a altas velocidades (efecto que ocurre por ejemplo en las discotecas cuando la imagen de las personas se 'congela' por instantes, a pesar de que están moviéndose rápidamente).

Con esta configuración de equipo, logramos por fin adquirir y observar imágenes muy impresionantes de los fenómenos que estaban ocurriendo dentro del tanque como son el detalle de las gotas de aceite (semi-transparentes) y de las burbujas de aire (en color negro). La primera pregunta fue ¿por qué las burbujas se ven negras? La respuesta tiene que ver con la diferencia de índices de refracción entre el agua y el aire, que es mucho mayor que entre el aire y el aceite. Los rayos de luz se refractan mucho más entre la interfaz agua-aire, provocando este efecto. También pudimos observar otros fenómenos muy interesantes como pequeñas gotas o burbujas que aparecen aparentemente en el interior de las gotas de aceite, fenómeno del cual hablaremos en la segunda parte (a continuación). Más información sobre nuestro trabajo en: www.ibt.unam.mx/labimage.



Viaje al interior de un biorreactor: imágenes y su análisis (Segunda parte)

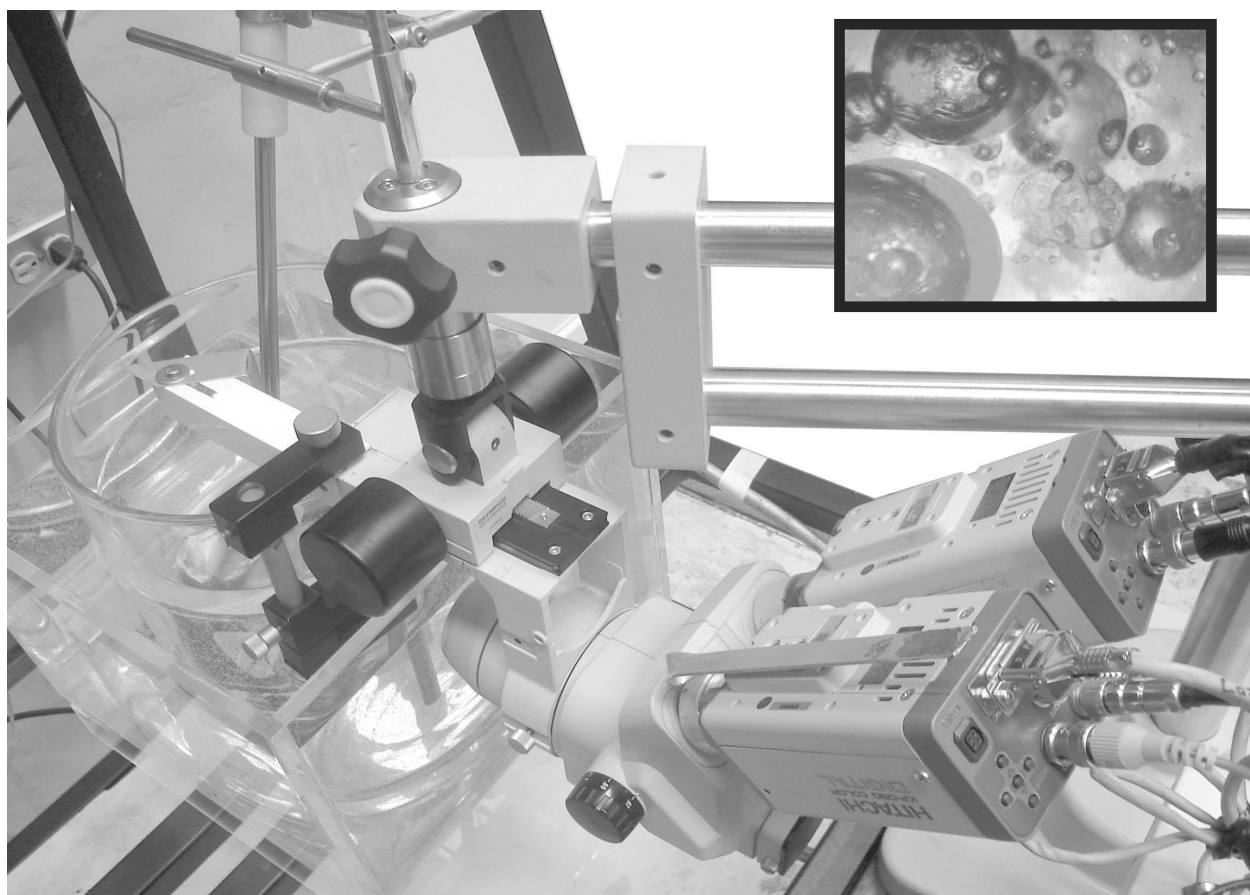
Gabriel Corkidi Blanco

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El ser humano, así como muchas otras especies tienen la capacidad de percibir la ‘tercera dimensión’ del ambiente que nos rodea. Por ejemplo, si uno trata de ensartar un hilo por el ojal de una aguja, con mucha precisión el hilo puede apuntar de manera certera hacia el agujero. ¿Pero qué pasa si tratamos de hacerlo con un ojo cerrado? Para entender mejor este problema, uno puede hacer una prueba cerrando un ojo y estirando los dos brazos lateralmente, tratar de unir los dedos índice de cada mano, moviendo los brazos rápidamente. Repitiendo esto varias veces, seguramente las puntas de los dedos no alcanzaron a tocarse en algunas ocasiones. Hacerlo ahora con los dos ojos. Es claro con esta prueba, que un solo ojo no puede percibir con precisión la información de posición tridimensional de lo que nos rodea.

En nuestro artículo anterior, observábamos un fenómeno muy interesante que ocurría dentro de un biorreactor. Pudimos distinguir pequeñas gotas o burbujas que aparentemente se localizaban en el interior de las gotas de aceite. ¿Por qué es tan interesante este fenómeno? Estas gotas son las que proveen de nutrientes al hongo que queremos cultivar. La superficie externa de la gota es la que se pone en contacto con el hongo para transferirle los nutrientes, por lo que el tamaño de esta superficie estará relacionado a la eficiencia de esta transferencia. Asimismo, las burbujas que se encuentran dentro del aceite, no podrán transferir oxígeno al cultivo por estar capturadas dentro del aceite.

¿Pero cómo podemos estar seguros de que lo que estamos observando no se trata de una ilusión óptica?



Sistema de dos cámaras para tomar imágenes estereoscópicas.

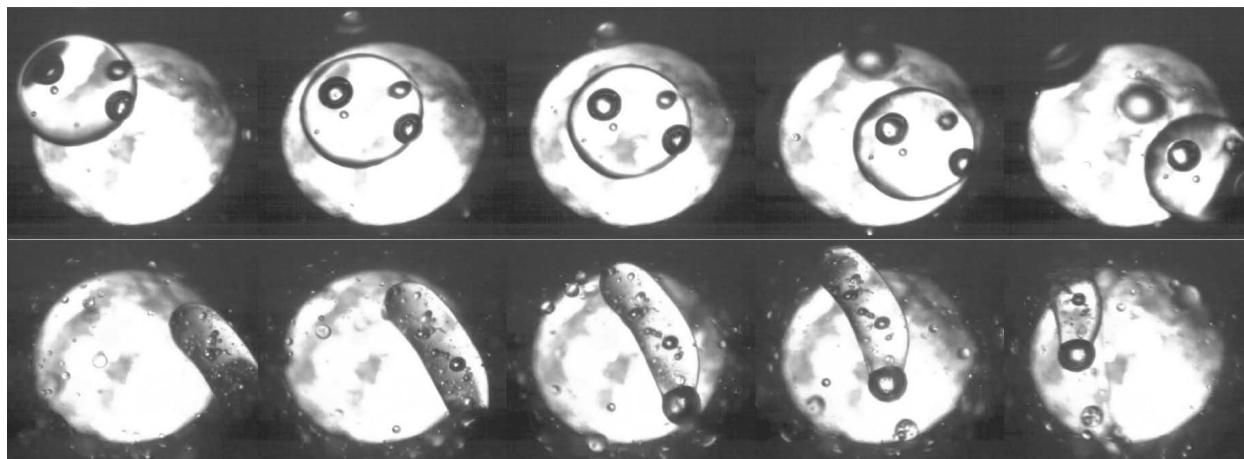
Al observar este tipo de imágenes, uno se puede preguntar si lo que aparentemente se ve ‘adentro’ realmente lo está, o se trata de una superposición de planos focales, en otras palabras, ¿cómo podemos realmente saber si estas aparentes gotas están ‘adentro’, ‘adelante’ o ‘atrás’ de la gota de aceite? La confusión que puede provocar este aspecto en los cálculos de transferencia de nutrimentos, si no se toma en cuenta la información de la posición tridimensional de gotas y burbujas, nos puede llevar sin duda a resultados radicalmente diferentes en cuanto a las hipótesis que se han planteado. Por estas razones, llegamos a la conclusión de la necesidad de poder adquirir la información tridimensional de la posición espacial de las gotas y burbujas, de manera que se pueda analizar con certeza su posición en el espacio.

Para lograr esto, decidimos aprovechar características especiales que nos brinda el estereomicroscopio. Este aparato permite observar objetos microscópicos (como cualquier microscopio), pero desde dos ángulos de vista diferentes, así como los ojos observan un mismo objeto desde dos puntos de vista espacialmente diferentes. Esto permite, por triangulación, tener la información de la profundidad a la que se encuentra cada punto que forma cada gota y cada burbuja (y por lo tanto su ubicación en el espacio tridimensional en el que se está moviendo). De esta manera, pudimos adquirir pares de imágenes estereoscópicas que si se observan con lentes estereoscópicos (un lado rojo y el otro cyan –siendo este último el color generado al mezclar el verde y el azul–), podrá apreciarse cómo ciertas microgotas que aparentemente se encuentran dentro de las gotas de aceite no lo están y viceversa. Claro que sería impráctico y muy cansado usar estos lentes para analizar estas imágenes, pero lo importante es que con esta información tridimensional, podemos ya entrenar a la computadora para que realice estos cálculos de manera automática, sin tener que usar los lentes.

Filmación de cine de alta velocidad. Para terminar esta contribución, me gustaría platicar sobre las últimas técnicas de Visión por Computadora que estamos utilizando para filmar secuencias de imágenes

que nos permiten no sólo ver un instante (foto instantánea) de un proceso complejo de mezclado, sino un video-cine que permita mostrar los mecanismos que pueden intervenir en la formación de las gotas y burbujas, como podrían ser colisiones entre ellas o interacciones con los impulsores que mezclan, por ejemplo. La estrategia de adquisición debe de ser completamente diferente para este caso. Utilizamos un endoscopio como el que utilizan los médicos para hacer observaciones, por ejemplo del tracto digestivo, el cual puede sumergirse en el tanque para ver los eventos que ocurren. El endoscopio es un dispositivo óptico conformado por un tubo de 10 mm de ancho, por 50 cm de largo. En la punta del endoscopio hay unas lentes que enfocan la imagen al extremo del tubo que está fuera del tanque. En este extremo se acopla una cámara de TV, pero esta vez, no cualquier cámara, ya que los eventos que queremos filmar de forma secuencial –es decir, sin perder la trayectoria de las gotas y burbujas entre cuadros de video– ocurren a velocidades tales, que una cámara convencional sólo capturaría imágenes ‘sueltas’ del proceso. Para poder filmar estos eventos, acoplamos al endoscopio una cámara digital de alta velocidad muy especial y de alto costo, que puede capturar más de 5,000 imágenes por segundo. Con este sistema se logró la toma de secuencias de imágenes en diversas zonas del tanque, incluyendo las de mayor turbulencia. La alta velocidad de adquisición (5,130 imágenes/segundo) permitió visualizar de manera detallada las estructuras complejas que se forman en estas zonas.

Podemos concluir que este viaje al interior del biorreactor, para poder filmar los eventos micrométricos que ocurren en su interior, ha sido una aventura llena de retos. Esperamos que este viaje haya podido ilustrar de manera concreta la utilidad y potencial de las herramientas que provee la Visión por Computadora, y subrayar el valor del trabajo interdisciplinario que promueve la interacción de grupos de trabajo de diversas disciplinas, implicando el planteamiento y solución de problemas originales y relevantes. Más información sobre nuestro trabajo en: www.ibt.unam.mx/labimage.



Secuencia de imágenes tomadas con la cámara de alta velocidad. Cada imagen difiere en pocos milisegundos respecto a la anterior.

Una batalla biológica entre microorganismos para beneficio del hombre

Pedro Mendoza de Gives

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Parasitología Veterinaria, INIFAP
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Como en una película de ciencia ficción o una película de terror, en la naturaleza existen organismos de diferentes grupos taxonómicos que viven acosados biológicamente por individuos de otras especies y durante toda su vida se encuentran en un estado constante y permanente de intimidaciones y amenazas biológicas. Estas relaciones se dan no sólo entre organismos superiores sino que también entre microorganismos diversos, y lo más interesante es cuando se forman eslabones biológicos que involucran tanto a microorganismos como a individuos superiores incluyendo al hombre.

Los individuos en la naturaleza tienen que enfrentar el hecho de que en la búsqueda por satisfacer sus necesidades biológicas existe a su alrededor una gran bio-diversidad de especies, que al igual que ellos intentan desesperadamente alcanzar sus funciones vitales en las que la necesidad, no solo por el alimento, sino también por un espacio vital, los convierten en enemigos naturales, desencadenándose una intensa lucha biológica en la que el vencedor es el organismo con las máximas cualidades de adaptación.

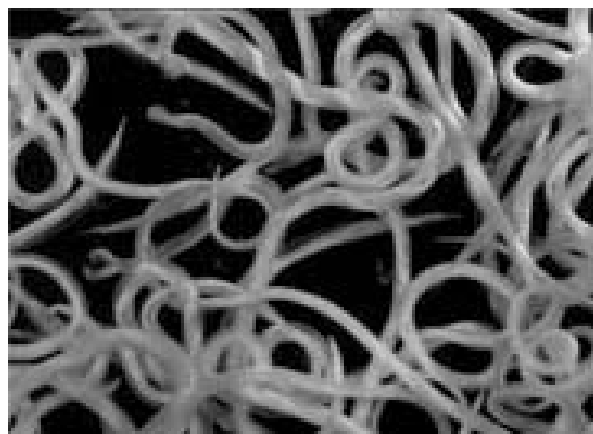
Durante el desarrollo de diversas asociaciones biológicas en la naturaleza, se establecen eslabones biológicos que conforman una gran diversidad de cadenas alimenticias. Estas asociaciones biológicas

diversas determinan la dinámica poblacional con una tendencia hacia una armonía entre los individuos.

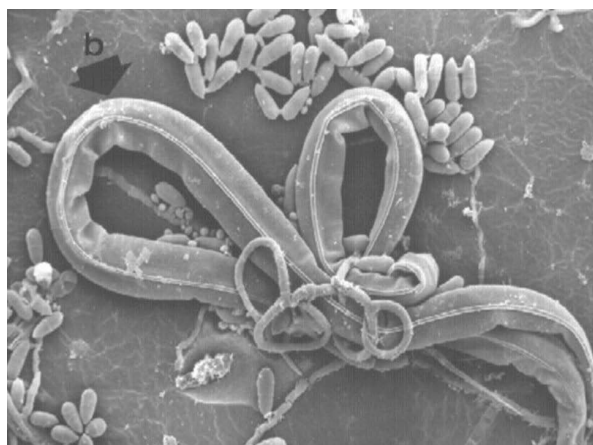
Las bacterias son entes biológicos de gran importancia para el desarrollo de otros individuos. Algunas bacterias favorecen el desarrollo de organismos actuando como promotores poblacionales. En contraste, otras bacterias producen metabolitos letales para individuos de otras poblaciones como insectos o nemátodos. Del mismo modo, existen hongos que producen sustancias que limitan el desarrollo de otros hongos u otras bacterias; sin embargo, esos mismos hongos sirven para alimentar o promover el desarrollo de insectos o ácaros. Algunos organismos se ven involucrados con organismos superiores, incluyendo a animales de consumo o al mismo hombre. Por ejemplo, existe un grupo de protozoarios y bacterias que habitan el aparato digestivo de muchos animales, principalmente de los rumiantes, y que son responsables del desdoblamiento o degradación de los forrajes al producir enzimas celolíticas que los animales no son capaces de producir. Éste es solo un ejemplo en donde se establece una íntima relación de mutuo beneficio entre los rumiantes y estos microorganismos. Por otro lado, hay un grupo de bacterias que son indispensables para incorporar nutrientes del suelo hacia la raíz,



Los corderos jóvenes parasitados con lombrices pueden morir súbitamente de anemia.



Aspecto de lombrices del ganado que chupan sangre del estómago y pueden llegar a matarlos de anemia.



Microfotografía mostrando un hongo atrapando a dos larvas de parásitos de borregos. El hongo forma anillos en los que captura y mata a los parásitos para alimentarse de ellos. Estos hongos pueden considerarse amigos del hombre porque ayudan a controlar las parasitosis del ganado.



Un nemátodo "caníbal" mordiendo el cuello de otro nemátodo para matarlo y comérselo. Estos caníbales están siendo estudiados para matar a los parásitos del ganado y evitar que los animales pierdan peso, se enfermen y puedan morir. Los nemátodos caníbales pueden considerarse amigos del hombre pues ayudan a proteger a los animales de las lombrices.

actuando como promotores del desarrollo vegetal. Algunas plantas poseen sustancias tóxicas, o bien hay otras con olores o sabores desagradables que les ayudan a protegerse de diversas plagas agrícolas. Asimismo, algunas plantas producen sustancias que les ayudan a protegerse de muchas enfermedades y que han sido utilizadas para beneficio del hombre al curar una amplia variedad de padecimientos a través de la medicina tradicional. Comunidades de microorganismos que participan en procesos fermentativos han sido utilizados de manera tradicional por el hombre para la elaboración de una gran diversidad de alimentos y bebidas, incluyendo quesos y cervezas; además de ser utilizados para la producción de materiales de uso común en la industria farmacéutica. Algunos organismos son benéficos para el hombre ya que actúan como enemigos naturales de los parásitos de animales o del hombre. Por ejemplo, existe un grupo de hongos clasificados como "entomopatógenos" que invaden y destruyen a un grupo de ectoparásitos que afectan tanto a los animales como al hombre. De manera similar, existe un grupo de hongos microscópicos que capturan

y matan a larvas de nemátodos que normalmente contaminan el pasto y son ingeridos por los animales, estableciéndose una parasitosis que puede inclusive matar a los animales jóvenes.

Algunas bacterias producen toxinas que son letales para una gran diversidad de plagas agrícolas e inclusive para insectos de importancia en salud pública. Estos organismos son considerados como benéficos ya que de manera natural ayudan a controlar diversas enfermedades parasitarias de plantas y animales e inclusive podrían llegar a tener un importante impacto potencial en la salud pública.

La ciencia y la tecnología son las encargadas de explorar este mundo maravilloso que se encuentra escondido en el suelo y que está lleno de una riqueza biológica extraordinaria que puede llegar a beneficiar a la humanidad; no solo en la alimentación, sino en la cura de una gran variedad de enfermedades que hasta ahora solamente se pueden controlar con medicamentos de naturaleza química, con grandes desventajas, no solo en los costos, sino en las implicaciones ambientales y el deterioro de la salud pública a nivel mundial.

Por fortuna existen los microbios

Jesús Caballero-Mellado

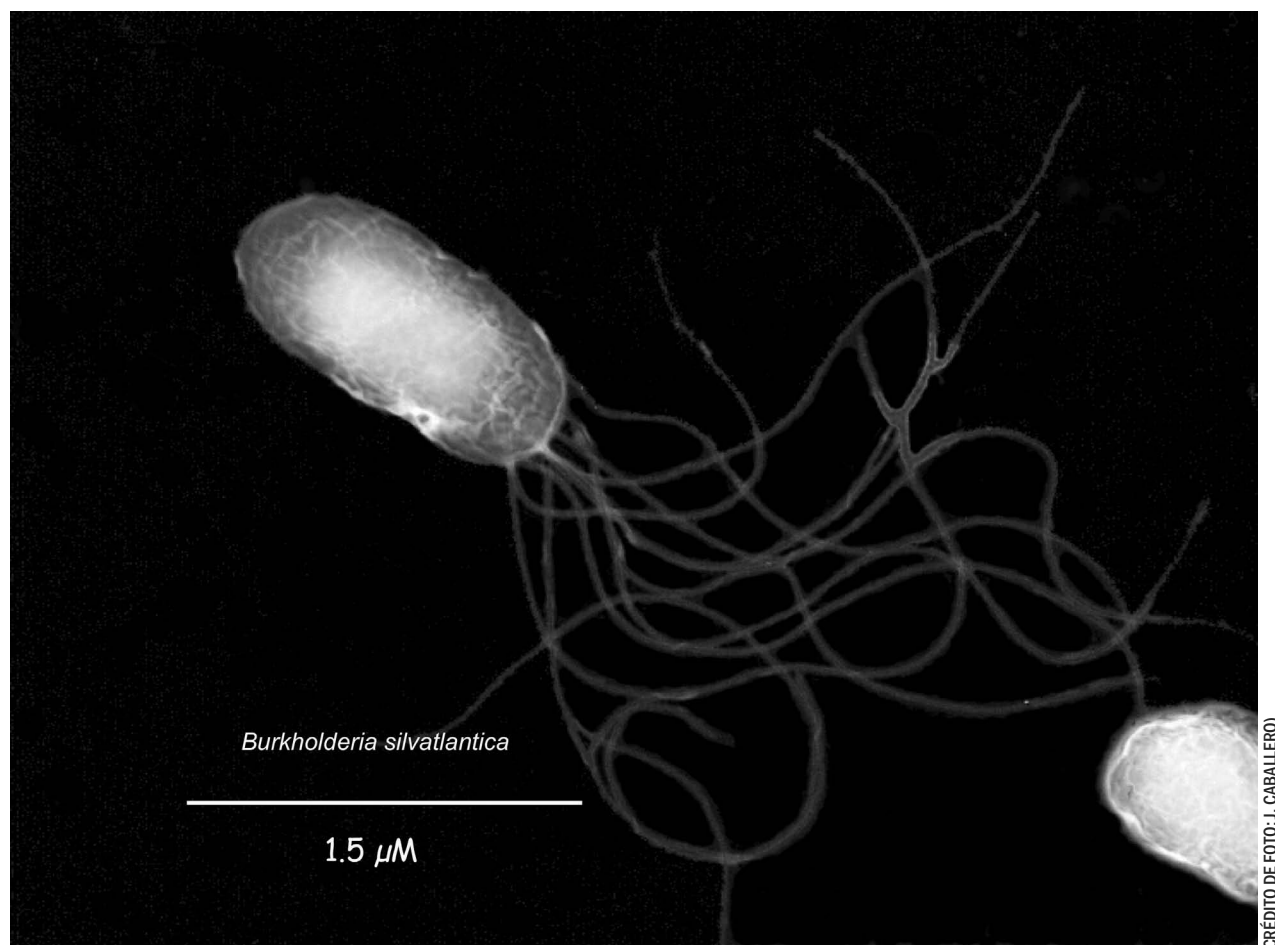
Centro de Ciencias Genómicas, UNAM-Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Existe la idea generalizada entre las personas, sin importar su posición social o nivel de estudios, que TODOS los microbios son perjudiciales, que son los responsables de muchas de las enfermedades del hombre, de los animales y de las plantas, e incluso muchas veces los responsables de su muerte. Por fortuna esta idea es equivocada, muy lejos de ser verdad; muy pocos microorganismos de entre todos los conocidos pueden causar daño a la salud de las personas, de los animales o de las plantas. De hecho, la vida en el planeta depende de los microbios. Son los responsables de todas las transformaciones de la materia orgánica a minerales y gases necesarios para la vida, así como la transformación de gases y minerales a formas que las plantas usan para su crecimiento. Estas transformaciones son lo que se conoce como ciclos biogeoquímicos, la interpretación moderna y científica del pasaje bíblico (Génesis 3:19): “polvo eres y en polvo te convertirás”. Sí, todos los organismos (microorganismos, plantas, animales y personas) al morir son transformados por la actividad de los microbios en “polvo”, llamémosles minerales y gases, que las plantas usan para crecer y producir flores, frutos y semillas que los animales y las personas usan como alimento. Cuando se aplica materia orgánica a los cultivos agrícolas como los abonos, por ejemplo estiércol de vaca, borrego o gallina, o las llamadas compostas, las plantas no los usan directamente para crecer, necesita primero ser transformada en “polvo”. Por esta razón no vemos el estiércol en el campo después de algunas semanas, no vemos árboles y montones de hojas o animales muertos en el campo, en el bosque o en la selva (ver Figura 1), por esta razón sólo raramente se encuentran animales prehistóricos enterrados. Los músculos (materia orgánica) y los huesos de las personas y de los animales, así como la corteza de los árboles, las raíces y las hojas de todos los vegetales son transformados en “polvo” por los microbios; sin los microorganismos no existiría la vida en nuestro planeta, son necesarios para que se recicle la materia y la vida continúe.

A pesar de la importancia que los microorganismos tienen para mantener la vida en nuestro planeta, son muy pocos los que se conocen. Por ejemplo, se estima que conocemos entre el 1-3% del total de las



Figura 1. Evolución de la descomposición de un conejo muerto en el campo. El video completo puede verse en: <http://www.youtube.com/watch?v=jrSHku6-LFo&NR=1>



CRÉDITO DE FOTO: J. CABALLERO

Figura 2. Micrografía (tomada con un microscopio electrónico) de una bacteria con flagelos. Compárese el tamaño de la bacteria con la línea que tiene una longitud de 1.5 milésimas (micras) de milímetro. Esta bacteria habita sobre la superficie de las raíces o en el interior de plantas como maíz y caña de azúcar.

especies de bacterias que existen en la naturaleza; esto es, sólo alrededor de 10,000 especies. Este número es prácticamente nada si se compara con el millón de especies de insectos conocidos o con las 300 mil especies de plantas. El desconocimiento de la biodiversidad microbiana se debe, al menos en parte, a que su tamaño promedio es poco mayor que la milésima parte de un milímetro (ver Figura 2). Para tener una idea más clara de la medida de una bacteria aumentemos en 500 veces su tamaño y veremos que es tan grande como un punto de esta página; aún así necesito de mis anteojos para verlo. Hagamos lo mismo con una hormiguita de 2 milímetros y nos encontraremos con una de 1 metro de largo, pero no tengamos miedo de este “monstruo”, pues para ser imparciales aumentemos en la misma proporción el tamaño de un niño de 1 metro de estatura que se halle en Teopanzolco y encontraremos un gigante de 500 metros, el cual veríamos desde cualquier lugar de Cuernavaca. El pequeñísimo tamaño de los microorganismos parece justificar, en parte, la falta de conocimiento sobre la biodiversidad que escapa a nuestros ojos, la diversidad biológica de la que

no hablan los grupos ecologistas e interesados en la protección del ambiente que, sin embargo, es la que sostiene la vida en nuestro planeta desde hace miles de millones de años y por supuesto, en la actualidad.

A los microorganismos se les encuentra, a pesar de su tamaño microscópico, en todo tipo de ambientes; por ejemplo, se les halla en el aire (ver Figura 3), en el agua de lagos, ríos y océanos, y en éstos aun a cientos de metros de profundidad. Los microorganismos se encuentran en las montañas o en el desierto, en el suelo (tierra) agrícola (también en la tierra de las uñas y las manos). También habitan y se multiplican sobre la superficie de las raíces de las plantas o en el interior de éstas, así como en la superficie de las hojas, de los tallos de las plantas y en la superficie de las semillas, e incluso, también en su interior. Por ejemplo, cuando bebemos jugo de caña también ingerimos bacterias que habitan dentro del tallo de la caña de azúcar (ver Figura 4). Sin lugar a duda, los microorganismos se encuentran en el aire, en la tierra y en todo lugar de nuestro planeta.

Los microorganismos han formado parte importante de la historia de la humanidad, y no me refiero por

las enfermedades que unos cuantos causan, sino a la mayoría de los microorganismos que aún sin conocerlos han sido usados desde la antigüedad en todas las culturas del mundo. Basta con recordar a nuestras abuelas cuando le echaban un “pedazo de cuajo” a la leche para obtener quesos; agua endulzada con piloncillo y cáscaras de piña para conseguir el sabroso tepache, que si no era “cuidado” resultaba vinagre. Infinidad de ejemplos más sobre el uso empírico de los microorganismos podrían referirse con base en nuestras tradiciones y en las de otras culturas.

El ser humano ha aprendido a cultivar en el laboratorio a los microbios, es decir, aislarlos del ambiente en el que habitan, que se multipliquen, y a obtener beneficios de ellos, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la sociedad. Por esta razón, aún hoy en día, existen los cazadores de microbios (como los llamó Paul de Kruif en su popular libro), quienes buscan su aislamiento en cultivo puro y posteriormente hacen uso de ellos en diferentes y múltiples aplicaciones biotecnológicas que benefician a la sociedad. Entre las aplicaciones, por ejemplo en la salud, se encuentra la producción de antibióticos (penicilina, estreptomina, gentamicina) para combatir a otros microbios causantes de enfermedades y la producción de uno de los más potentes anticancerígenos (Taxol) con actividad sobre diferentes tipos de cáncer; otros microbios son empleados en la elaboración de alimentos, por ejemplo, yogurt y quesos con diferentes aromas y sabores. También se usa a los microorganismos para controlar y eliminar plagas de insectos que dañan a los cultivos agrícolas, o impedir que otros microorganismos causen daño a los cultivos y frutas. En los años recientes se ha popularizado en México el uso de los microorganismos en la agricultura, empleándose como biofertilizantes, disminuyendo el uso de los fertilizantes químicos y con ello la contaminación ambiental causada por éstos.



Figura 4. Bacterias de la especie *Gluconacetobacter diazotrophicus*, con forma de bastoncitos, en el interior del tallo de la caña de azúcar.

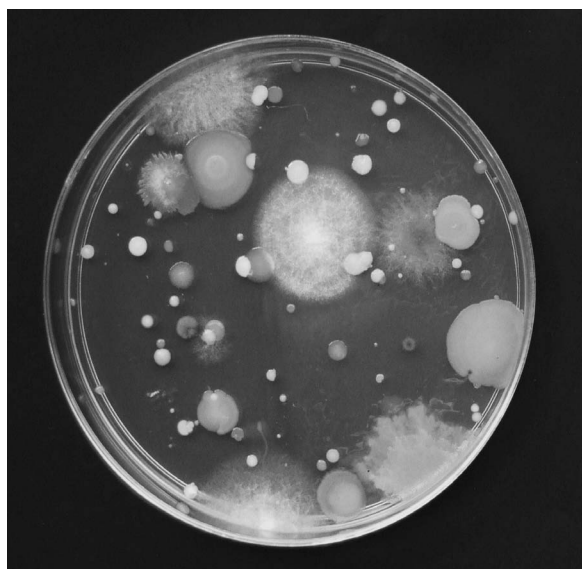
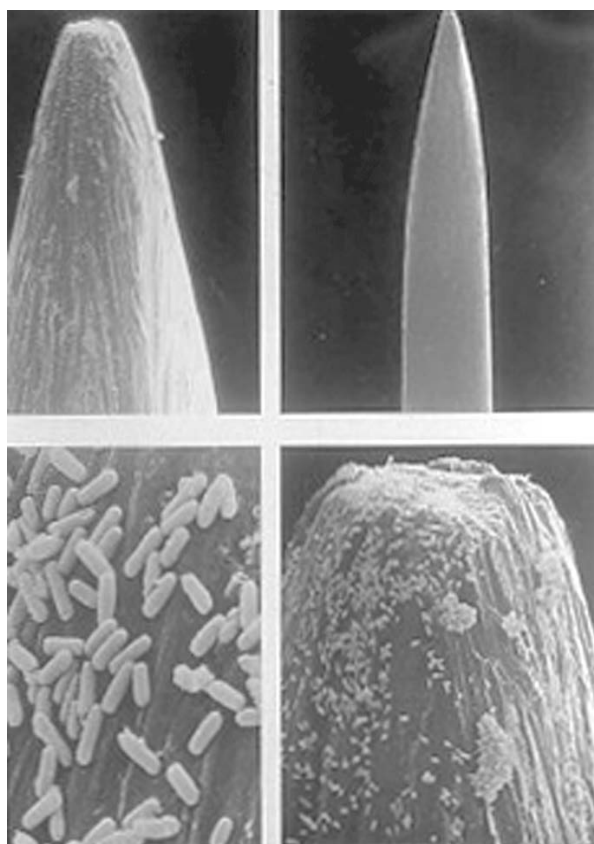


Figura 3. Colonias de microbios que existen normalmente en el aire de un salón de clases. Cada colonia está constituida por miles de microbios que han crecido sobre una superficie sólida de un gel que contiene los nutrientes necesarios para que los microbios se desarrollen.

En resumen, la vida del planeta depende de los microorganismos, siendo la biodiversidad microbiana el recurso biotecnológico más importante con el que cuenta la humanidad.



Bacterias en la punta de un alfiler, vistas a diferentes aumentos a través de un microscopio electrónico.

La unión hace la fuerza: el caso de una asociación benéfica entre raíces de frijol y bacterias del suelo

Carmen Quinto

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Rosana Sánchez

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

El frijol común, *Phaseolus vulgaris* (Figura 1), es la leguminosa de mayor consumo humano a nivel mundial y ocupa el noveno lugar entre las especies más cultivadas del planeta. Es uno de los cultivos más antiguos en México y Mesoamérica, que data de hace más de 6,000 años; hay evidencia que indica que esta región es su centro de origen. El frijol es un alimento básico en la dieta diaria de los mexicanos y contiene entre 20 y 25% de proteína, 40% de almidón, 20% de fibra y varios micronutrientes

esenciales como el hierro y el ácido fólico, siendo su contenido proteico aproximadamente el doble del de la mayoría de los cereales. El cultivo del frijol es una fuente importante de ingresos económicos para los agricultores; no obstante, para que una producción agrícola sea de calidad y rica en proteína, ésta depende de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y en consecuencia para el frijol, se encuentran el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno es



Figura 1. Planta de frijol (*Phaseolus vulgaris*)



Figura 2. Raíces de frijol con nódulos

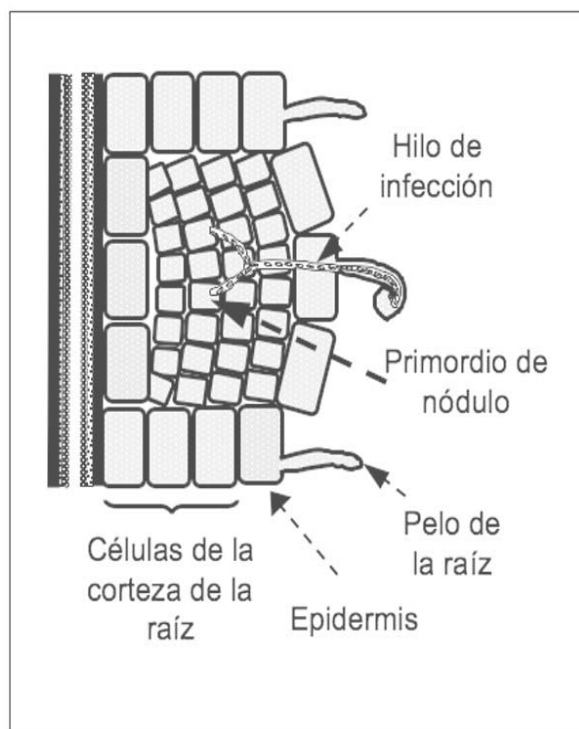


Figura 3. Esquema de una zona de la raíz de frijol que muestra la formación del hilo de infección y del primordio de nódulo

un elemento básico, ya que forma parte de moléculas esenciales para la vida como los ácidos nucleicos, los aminoácidos y las vitaminas. La atmósfera tiene un alto contenido de nitrógeno (78%), sin embargo, son pocos los organismos que lo pueden usar directamente del aire para sus procesos vitales. El hombre, al igual que los animales superiores, obtiene el nitrógeno a partir de los alimentos que ingiere. Afortunadamente, en la naturaleza hay microorganismos que sí son capaces de usar el nitrógeno del aire ya que tienen la “maquinaria biológica” necesaria para convertirlo en un compuesto asimilable por las plantas, el amonio. Tal es el caso de bacterias del suelo, conocidas genéricamente como “rizobios”. Las raíces del frijol, así como las de las leguminosas en general, tienen la enorme ventaja de que, cuando existe carencia de nitrógeno en el suelo, pueden ser infectadas y colonizadas por los rizobios, estableciendo una relación mutualista benéfica (simbiosis) entre estos dos organismos. Como resultado de esta interacción, se forman unas estructuras nuevas en las raíces de las leguminosas, llamadas nódulos (Figura 2), en donde a bajas concentraciones de oxígeno, se lleva a cabo el proceso de conversión de nitrógeno atmosférico a amonio. Este proceso es conocido como Fijación Biológica de Nitrógeno y se lleva a cabo mediante catalizadores biológicos (enzimas) presentes en las bacterias. Gracias a este proceso, la planta puede

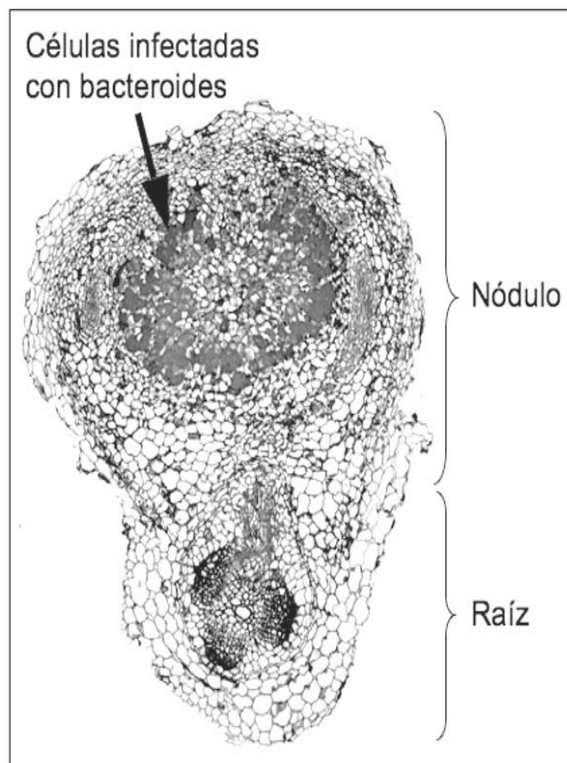


Figura 4. Corte transversal de raíz y nódulo de frijol

usar el amonio sintetizado por los rizobios, haciendo prescindible el uso de abonos químicos, se evita la contaminación ambiental y además hay ahorro económico para el agricultor. Los rizobios a su vez, se benefician recibiendo de la planta compuestos que le sirven como fuente de energía para llevar a cabo la conversión del nitrógeno atmosférico a amonio. Para que esta simbiosis se lleve a cabo, es indispensable que se establezca un diálogo molecular específico entre los rizobios y las raíces de las leguminosas, en este caso el frijol. Este diálogo molecular consiste en un intercambio de señales químicas entre ambos simbioses. Las raíces de frijol secretan a la rizósfera (zona del suelo inmediata a la raíz) compuestos químicos específicos (fenólicos), que son detectados por los rizobios, los cuales responden sintetizando y secretando moléculas conocidas como “factores de nodulación”. Estos factores de nodulación inducen en los pelos de las raíces de frijol una serie de cambios morfológicos y fisiológicos que eventualmente culminan con la entrada de las bacterias a las raíces a través de sus “pelos” y, simultáneamente, la formación (organogénesis) del nódulo. Durante este proceso, los rizobios son atraídos químicamente, por los compuestos fenólicos específicos antes mencionados, a la región del ápice de los pelos de la raíz, los cuales se deforman y enroscan atrapando a las bacterias (Figura 3). En este punto del pelo, la pared celular se degrada,

la membrana plasmática se invagina y se forma una estructura tubular intracelular (dentro del pelo), llamada “hilo de infección” (Figura 3), por el cual los rizobios se dirigen al tejido de la corteza de la raíz. Las células de esta corteza, al momento de percibir de manera específica los factores de nodulación, activan su ciclo celular y se dividen para formar el primordio del nódulo (Figura 3). Cuando el hilo de infección crece hacia la corteza de la raíz, los rizobios se van dividiendo hasta llegar al primordio del nódulo, en donde las bacterias son “liberadas” (exocitadas) del hilo de infección y a su vez “atrapadas” (endocitadas) en estructuras membranales llamadas simbiosomas. Simultáneamente, el primordio del nódulo madura a nódulo (Figura 4) y es dentro de estos simbiosomas en donde las bacterias, diferenciadas a bacteroides (son hasta 40 veces más grandes que las bacterias), son capaces de convertir el nitrógeno a amonio, mediante las enzimas nitrogenasa y nitrogenasa reductasa. En su conjunto, este proceso complejo dura alrededor de 15 días y se le conoce como nodulación. En el Instituto de Biotecnología de la UNAM, en el grupo de investigación de Carmen Quinto, estamos interesados en estudiar y entender qué eventos celulares y moleculares ocurren en el inicio de la interacción entre los rizobios y el pelo de la raíz del frijol para que ésta sea exitosa, es decir, para que se forme el

nódulo y la fijación de nitrógeno suceda. Con este objetivo, estamos analizando las etapas más tempranas del proceso de nodulación, es decir, tiempos muy cortos después de que la bacteria o bien los factores de nodulación entran en contacto con los pelos de la raíz. La ventana de tiempo que estudiamos es desde segundos después de tratar los pelos con los factores de nodulación, hasta aproximadamente 72 hrs después de la inoculación de la raíz con los rizobios. Una de las estrategias de frontera que estamos utilizando para este estudio incluye moléculas fluorescentes que se introducen por difusión en los pelos radicales en crecimiento y nos permiten determinar bajo el microscopio, y de manera muy precisa y fina, los cambios que suceden a nivel molecular en cada una de estas células de la raíz del frijol, en respuesta a los factores de nodulación. Otro de los enfoques que estamos siguiendo para lograr nuestros objetivos es la caracterización de plantas de frijol que son incapaces de formar los nódulos y determinar en qué parte del proceso simbiótico están bloqueadas. De esta manera estamos empezando a entender a nivel celular y molecular cómo es que este proceso ocurre en el frijol; idealmente pretendemos que este conocimiento básico nos permita incidir a mediano y largo plazo en aspectos aplicados del cultivo de esta importante leguminosa.

Microbios que nutren a las plantas (Biofertilizantes)

Jesús Caballero-Mellado

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C

En un artículo previo (“Por fortuna existen los Microbios”; incluido en este libro) se describió el imprescindible papel que desempeñan los microbios para sostener la vida de nuestro planeta y sus múltiples actividades de interés biotecnológico en beneficio de la sociedad. Ahora se describe una de estas actividades microbianas, considerando el gran impacto que han tenido los biofertilizantes en nuestro país, incluyendo el Estado de Morelos en donde se han aplicado en miles de hectáreas, principalmente de maíz. Se ha informado que actualmente el 30 por ciento del sector agrícola del Estado de Morelos hace uso de los biofertilizantes (ver nota en *La Unión de Jojutla* disponible en: <http://launion.com.mx/morelos/secciones/jojutla/item/9766-30-por-ciento-de-productores-agr%C3%ADcolas-del-estado-usan-biofertilizantes.html>).

La persona que busque en el diccionario o en la enciclopedia la palabra biofertilizante, con toda seguridad no la encontrará; quien recurra a la Internet con toda seguridad encontrará decenas de definiciones, o dicho de otra manera, decenas de interpretaciones. También en las revistas científicas se

encuentran diferentes interpretaciones de lo que es un biofertilizante. En mi opinión y la de muchos colegas investigadores, los biofertilizantes se basan en el uso de microorganismos vivos no patógenos (que no causan enfermedad), que se asocian en forma natural con las raíces de las plantas o viven y se multiplican en su interior (endófitos), los cuales aportan algún nutriente o favorecen la absorción de los nutrientes del suelo, incluyendo los fertilizantes químicos, promoviendo el crecimiento de las plantas y mejorando el rendimiento de los cultivos.

Los microbios, en particular las bacterias, llevan a cabo diferentes actividades necesarias para crecer y multiplicarse, y al hacerlo llevan a cabo una o varias fases de los ciclos biogeoquímicos y liberan muchas sustancias, las cuales, directa o indirectamente promueven el crecimiento de las plantas y mejoran el rendimiento de los cultivos. Entre estas actividades destaca la Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), proceso en el cual el gas nitrógeno (N_2) de la atmósfera es transformado a amonio (el compuesto base de los fertilizantes nitrogenados) y en esta forma la planta lo usa para su crecimiento y producción de

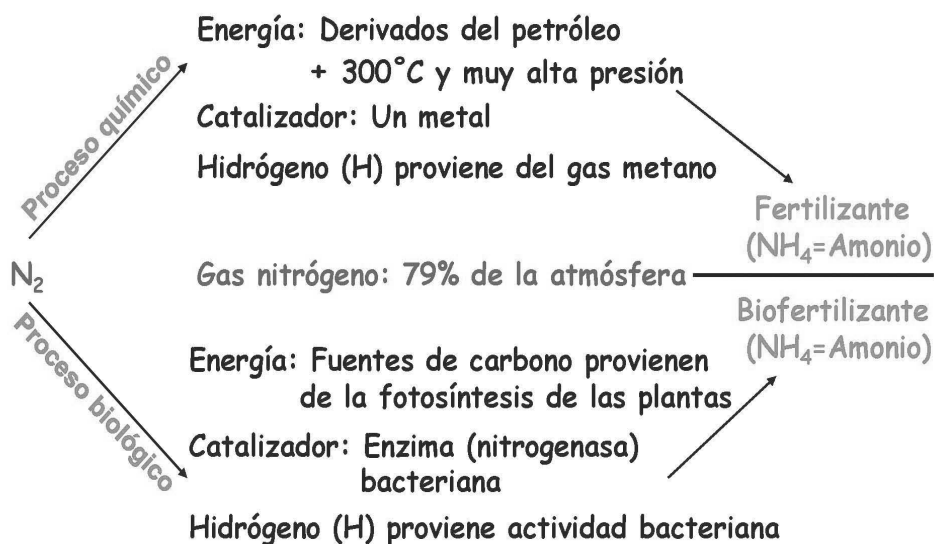


Figura 1. Transformación química y biológica del gas Nitrógeno de la atmósfera para la síntesis de Amonio.



Figura 2. Raíces de maíz con y sin la aplicación de biofertilizante.

semillas. Es importante enfatizar que a pesar de la abundancia del gas N_2 en la atmósfera (79%) no puede ser usado por las plantas, sólo por algunas bacterias que llevan a cabo la FBN. Tanto la FBN como la síntesis química de fertilizantes nitrogenados se basan en el mismo principio, transformación del gas N_2 , obteniéndose el mismo producto final, el amonio (Fig. 1). La gran diferencia entre estos procesos es el costo de producción, que puede ser hasta 500 veces más económico a través de la FBN que mediante síntesis química, dependiendo en gran medida del precio del petróleo, con el que se fabrican los fertilizantes minerales aplicados en la agricultura actual. Otro aspecto de gran relevancia son los costos económicos (indirectos) y ecológicos: de cada 100 kilogramos de un fertilizante mineral que se aplica a un cultivo, sólo entre 60 y 80 kilogramos son aprovechados por las plantas, dependiendo del tipo de suelo. El resto se pierde en forma de gases y también en el agua de lluvia o de riego, pasan a las capas del suelo donde las raíces de las plantas no pueden aprovecharlos. Posteriormente llegan a las aguas subterráneas y a los lagos, ríos y finalmente al mar. Se sabe que miles de kilómetros cuadrados del fondo marino de las zonas costeras del planeta se encuentran con muy fuertes alteraciones ecológicas, debido a la alta concentración de fertilizantes nitrogenados y fosforados, que ponen en riesgo los ecosistemas marinos. Además, los fertilizantes minerales nitrogenados, al ser transformados y liberados como gases a la atmósfera, como por ejemplo el óxido nitroso (uno de los gases causantes del llamado efecto invernadero), contribuyen al cambio climático. En los años recientes se ha dado gran impulso a la producción de biocombustibles, como es el caso del etanol a partir de la caña de azúcar o de maíz, para disminuir la contaminación causada por las emisiones de gases, es decir para generar “energía limpia”. No obstante, en la actualidad no es posible pensar en la generación de “energía limpia” sin considerar que la biomasa vegetal requerida para la producción de biocombustibles debe proceder de cultivos agrícolas cultivados sin la aplicación irracional de fertilizantes minerales contaminantes del

ambiente; de otra manera, la “energía limpia” no sólo será “sucio” de origen, sino que, además, se continuará contaminando el suelo, la atmósfera y los mares.

Otra actividad bacteriana de gran relevancia en la agricultura es la producción de hormonas vegetales o fitohormonas (por ejemplo las llamadas auxinas como el ácido indol acético, AIA). El AIA favorece la germinación de las semillas y estimula la formación de raíces de las plantas (Fig. 2), aumentando en algunos casos hasta el doble la abundancia de raíces y con ello incrementando la capacidad de la planta para tomar los nutrientes presentes en el suelo o los adicionados por el hombre. La mayor producción de raíces contribuye a enriquecer el suelo con materia orgánica, la cual es transformada por otros microorganismos, favoreciendo la fertilidad de los suelos y evitando la erosión. Además, el AIA induce otros cambios (fisiológicos) en las plantas, mejorando su crecimiento y el desarrollo del follaje (Fig. 3), la producción y rendimiento de los cultivos (Fig. 4). Algunos microorganismos también son capaces de transformar nutrientes del suelo que la planta no podría utilizar. Por ejemplo, es común que una parte de los fertilizantes minerales llamados fosforados o fosfatos se conviertan en formas insolubles en agua y así no son aprovechados por las plantas. Algunas bacterias producen sustancias que disuelven los fosfatos insolubles, y ya disueltos en el agua pueden ser aprovechados por las plantas, mejorando su crecimiento, la producción y el rendimiento de los cultivos.

Existen otras actividades microbianas, y algunas bacterias llevan a cabo una o varias de estas actividades, por lo que un biofertilizante puede contribuir -a través de diferentes mecanismos- al crecimiento de las plantas, en la producción y el

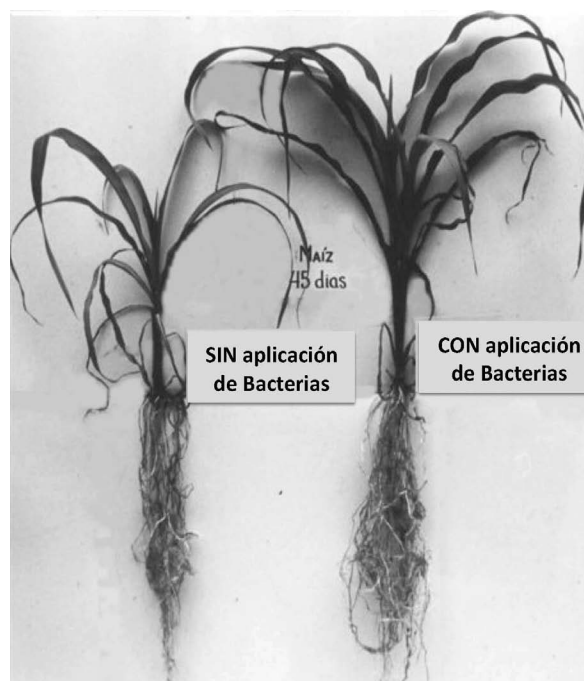


Figura 3. Planta de maíz con y sin la aplicación de biofertilizante.



Figura 4. Plantas de maíz que fueron cultivadas sin la aplicación de fertilizantes químicos y usando el biofertilizante

rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, en el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN; actualmente Centro de Ciencias Genómicas)-UNAM se desarrolló un biofertilizante, a base de una bacteria llamada *Azospirillum*, para cultivos de cereales (maíz, sorgo, trigo y cebada), pero sus efectos benéficos se han observado en otros cultivos (caña de azúcar). Este biofertilizante tiene la característica de incrementar hasta en 90% (promedio de 42%) el rendimiento de maíces criollos en zonas rurales donde no se aplican fertilizantes minerales, y sustituye poco más del 50% de los fertilizantes minerales (nitrogenados y fosforados) en aquellas regiones donde éstos son aplicados a variedades comerciales, lográndose

incrementos entre 5-10% en el rendimiento de maíz. Estos resultados fueron obtenidos en evaluaciones hechas en decenas de hectáreas en diferentes estados del país por personal del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (INIFAP-SAGARPA), en los años 1999-2000, a través de un convenio de colaboración con el CIFN-UNAM.

En resumen, los biofertilizantes son una alternativa biotecnológica económica que usa la biodiversidad microbiana existente en nuestro planeta y que contribuye a generar una agricultura sostenible, no contaminante del ambiente, disminuyendo la liberación de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático.

El biofertilizante para frijol de la UNAM: más rendimiento y mejor nutrición sin contaminación

Humberto Peralta

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos

Jaime Mora Celis

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

El próximo año (2008), de acuerdo al Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá, se abrirá la frontera a la entrada de maíz y frijol sin restricción y sin aranceles. Estos dos productos son los principales componentes de la dieta de un amplio sector de la población en México. No se conocen exactamente cuáles serán las consecuencias de esta apertura sobre la producción agrícola. Pero es claro que los agricultores en el país tienen que aumentar significativamente su eficiencia, encontrar nichos de mercado y aplicar alternativas de producción que de preferencia tengan un menor impacto ambiental. Como veremos más adelante, los biofertilizantes representan una adecuada estrategia biotecnológica que puede contribuir a afrontar retos como los mencionados. Pero, ¿qué es un biofertilizante? ¿qué elementos aportan? ¿podrían sustituir a los fertilizantes químicos? ¿cuál es el fertilizante principal que requieren los cultivos?

Un biofertilizante es un organismo vivo o sus productos que se agregan a las semillas o al suelo para mejorar las características de nutrición para los cultivos. Hay una gran variedad, pero principalmente están los inoculantes (bacterias vivas como *Azospirillum* o *Rhizobium*, hongos como las micorrizas o levaduras) que proporcionan el elemento indispensable para el crecimiento de las plantas que es el nitrógeno y además fósforo y hormonas de crecimiento; además están residuos como el guano y la gallinaza y materiales como el humus, los extractos de algas, etc. En las condiciones más adecuadas los biofertilizantes pueden suplir los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio, además de los microelementos esenciales.

EL NITROGENO ES EL ELEMENTO LIMITANTE EN LA AGRICULTURA

Como dijimos, el nitrógeno es un elemento esencial para los organismos vivos. De forma combinada da lugar a los aminoácidos y las proteínas. Las plantas

y animales obtienen el nitrógeno a partir de la fertilización y la alimentación, respectivamente. En el suelo, el nitrógeno es muy escaso y es limitante para que en la agricultura se obtengan buenos rendimientos. Un grupo de bacterias llamados fijadores de nitrógeno son los únicos organismos que pueden asimilar el nitrógeno directamente del aire, en el que abunda.

LA FERTILIZACION CON NITROGENO CONTAMINA AIRE, SUELO Y AGUA

La fertilización química nitrogenada representa costos de todo tipo. Económicos, porque en el país ya no se producen y todo el que se emplea en la agricultura se compra del extranjero. Ambientales, porque en su producción se usan combustibles fósiles y se contamina el aire, además al adicionarse al suelo las plantas sólo aprovechan una fracción del total y el resto del nitrógeno se lava a estratos inferiores, donde se encuentran los mantos freáticos y se contamina de esta manera el agua potable (el nitrato en el agua es un agente cancerígeno). Si los cuerpos de agua se convierten en superficiales entonces la contaminación con nitrógeno produce un fenómeno llamado eutroficación, en que los microorganismos crecen desproporcionadamente, agotan el oxígeno disuelto en el agua y provocan la muerte masiva de peces. Por si fuera poco, la fertilización constante elimina la biodiversidad y provoca la salinización del suelo que, eventualmente, hace imposible la agricultura.

LA FIJACIÓN DE NITROGENO ES UN PROCESO NATURAL, NO CONTAMINANTE

Entre los biofertilizantes conocidos desde la antigüedad están los organismos fijadores de nitrógeno y *Rhizobium* es el ejemplo por excelencia. Es una bacteria que está presente naturalmente en los suelos agrícolas. Su capacidad fijadora es interesante porque se asocia benéficamente con plantas de gran importancia económica como soya, chícharo, lenteja, haba, frijol, cacahuete y forrajes como alfalfa y trébol. El estudio de la asociación entre la bacteria y las



La fotografía muestra el efecto de la inoculación con la variedad mejorada de *Rhizobium* en frijol (invernadero). De izquierda a derecha: plantas sin inocular y sin fertilizar, plantas con la variedad original, plantas con la variedad mejorada, plantas con fertilizante químico.

leguminosas puede llevar al mejoramiento del proceso, lo que implicaría beneficios en la agricultura. Este fue el objetivo primordial de la creación del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno, antecesor del actual de Ciencias Genómicas. *Rhizobium* fija el nitrógeno del aire, lo transfiere eficientemente a la planta, mejora la salud y la productividad del cultivo, hace más rica la rizósfera mejorando las comunidades bacterianas (necesarias para el balance del carbono y el nitrógeno y que reconstituye la biodiversidad del suelo), además de dejar residuos nitrogenados en la materia orgánica que el siguiente cultivo puede aprovechar. Un biofertilizante basado en *Rhizobium* puede suplir totalmente el fertilizante químico nitrogenado y la cantidad suficiente para 10 hectáreas puede ser transportado fácilmente por una persona en una caja de 4 kilos, con un costo 10 a 20 veces menor que el químico. Las bacterias *Rhizobium* son organismos inofensivos para el hombre o animales. Pero hay dos aspectos en que los biofertilizantes en general son criticados. Uno es que pueden tener un pobre desempeño y otro es que hay variabilidad en la eficiencia de sus resultados.

EL BIOFERTILIZANTE MEJORADO PRODUCE MAYOR RENDIMIENTO Y MEJOR VALOR NUTRITIVO EN EL FRIJOL

Para tratar de resolver estos problemas, en el proyecto dirigido por el Dr. Jaime Mora modificamos genéticamente una variedad de *Rhizobium* para incrementar la producción de la enzima responsable de la eficiencia de la fijación de nitrógeno en frijol y además se derivó más energía celular para este proceso. Ambas modificaciones se realizaron con el material genético propio de la bacteria y por tanto la variante obtenida no es transgénica. Los resultados que

obtuvimos fueron muy favorables. Con el *Rhizobium* mejorado el cultivo rindió hasta 40% más frijol en promedio en experimentos de invernadero, campo experimental y campo real (en la foto se observa el efecto que produce la variedad mejorada). Pero además, el frijol obtenido tenía 50% más nutrientes, en forma de proteínas. Esto significa que el valor nutritivo del frijol cultivado de esta manera también representaría beneficios a los consumidores. Estos resultados se validaron en varios tipos de suelo (de los Estados de Durango, Nayarit, Guanajuato, Estado de México, Morelos, Veracruz), estaciones de siembra (otoño, invierno, primavera y verano), variedades de frijol (peruano, negro, pinto y flor de mayo) y regímenes de riego (temporal, riego rodado y riego de goteo). De esta manera podemos decir que este biofertilizante no tiene los aspectos criticables mencionados, porque se desempeña de manera consistente y adecuada en diversas condiciones. En el caso de la validación en campo con productores, se incluyeron estudios económicos (incluyendo todos los costos de insumos, labranza, cosecha y empacamiento) que indicaron una mayor proporción de ganancia económica del uso del biofertilizante (desde 30 hasta el 60%) en comparación con la fertilización química o la no fertilización.

El biofertilizante de *Rhizobium* mejorado para frijol desarrollado en la UNAM lo promociona la empresa Asesoría Integral Agropecuaria (su *Biofábrica Siglo XXI* tiene sede en Cuautla), que trata de acercar a los productores agrícolas a los beneficios que representa su uso. De esta manera los biofertilizantes, y en especial el de *Rhizobium* para frijol, pueden contribuir positivamente para alcanzar niveles competitivos en la agricultura en el país beneficiando a productores, consumidores y hasta el ambiente.

Genómica funcional del frijol, la leguminosa más importante de México

Georgina Hernández

Centro de Ciencias Genómicas, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Seguramente muchos de ustedes han degustado los frijoles charros, la sopa de haba o de lenteja, el humus, la fabada, las enfrijoladas. Todos estos deliciosos platillos tienen en común el hecho de que sus ingredientes principales son vegetales de la familia de las leguminosas.

Las plantas leguminosas, que se caracterizan porque sus semillas se forman en vainas, incluyen cultivos prioritarios para la alimentación animal y humana. A esta familia pertenecen forrajes como la alfalfa y vegetales esenciales para el hombre como el frijol, la soya, el chícharo, el haba, la lenteja, el garbanzo. Estos importantes cultivos ocupan cerca del 15% de la tierra agrícola, constituyen el 27% de la producción mundial de cultivos agrícolas y proveen la tercera parte del nitrógeno requerido en la dieta humana. Las plantas leguminosas juegan un papel importante en la agricultura sostenible en cuanto a su eficiente manejo de fertilizantes, mejoramiento del suelo y protección del agua ante la contaminación por fertilizantes químicos. Pueden producir su propio fertilizante nitrogenado a través de la fijación simbiótica de nitrógeno en asociación con bacterias del suelo (rhizobia) y proveer nitrógeno libre al suelo. Cuando se usan en rotación de cultivos pueden proveer

nitrógeno para los cultivos sucesivos y así el cultivo de leguminosas puede ayudar a remediar tanto el uso excesivo de fertilizantes en países ricos como los insuficientes insumos en países pobres. Por su relevancia para la alimentación humana y animal, la investigación a nivel mundial sobre aspectos básicos y tecnológicos de la biología de plantas leguminosas, es intensa. Se utiliza metodología de frontera como la de las ciencias genómicas, genética molecular y biotecnología para conocer mejor dichos sistemas biológicos e incidir en el mejoramiento de los cultivos tanto en su producción como en su calidad nutricional.

El frijol, originario de Mesoamérica, es la leguminosa de mayor producción a nivel mundial. Es la leguminosa que más se cultiva y la más importante de nuestro país; constituye la principal fuente de proteínas para los mexicanos y para los habitantes de otros países de América Latina. La investigación de mi grupo en el Centro de Ciencias Genómicas de la UNAM ha sido pionera en el desarrollo de la genómica funcional del frijol. Como su nombre lo indica ese enfoque se refiere a conocer cuál es la función del conjunto de genes que se expresan en los distintos órganos de la planta. Cuando iniciamos





esta línea de investigación, hace más de cinco años (en 2004), resultaba paradójico que a pesar de la importancia agrícola del frijol, prácticamente no existían avances en la investigación sobre genómica de esta leguminosa. Por tanto nuestro primer objetivo fue implementar la plataforma que permitiera la investigación genómica del frijol.

Hemos obtenido la secuencia de miles de genes que se expresan en las hojas, la raíz, las vainas y los nódulos de frijol. (Los nódulos son unas “bolitas” que se desarrollan en la raíz cuando la planta establece simbiosis con las bacterias *Rhizobium*, son los nichos en donde viven las bacterias). Nuestra contribución, junto con la de otros grupos, dio lugar a la base de datos pública (“Common_bean_Gene_Index” <http://compbio.dfci.harvard.edu/tgi/>) que contiene más de 14,000 secuencias de genes de frijol.

Nuestro grupo fue el primero a nivel mundial que implementó la metodología y analizó el transcriptoma del frijol. El transcriptoma es el conjunto de transcritos o RNAs mensajeros productos de la expresión de los genes, del genoma de una célula. De esta manera, ahora conocemos, por ejemplo, el conjunto de genes que se expresan en los nódulos -y no en otros órganos del frijol- lo cual nos permite investigar sobre la función y relevancia de esos genes para el adecuado desarrollo y fisiología del nódulo.

Actualmente, nuestra investigación se centra en conocer cuáles son las respuestas del frijol ante el estrés ambiental, a nivel de la expresión genómica y su regulación. Una gran parte de los cultivos de frijol en América Latina y África son afectados por plagas e insectos, pero también por el estrés abiótico

como la deficiencia de nutrimentos en suelos pobres o suelos ácidos, la sequía, la toxicidad por metales, las temperaturas extremas. Se calcula que el 89% de los suelos en América Latina son deficientes en nitrógeno y 82% deficientes en fósforo y que, además, existen más de 500 millones de hectáreas con suelos ácidos (con pH menor a 4.5). Los suelos ácidos se caracterizan porque exhiben deficiencia en nutrientes minerales como fósforo, magnesio y zinc así como toxicidad elevada por manganeso y aluminio. En nuestro grupo hemos avanzado en el estudio del transcriptoma de la raíz y los nódulos de frijol en estrés por deficiencia de fósforo y por toxicidad al manganeso, lo que nos llevó a conocer el conjunto de genes que la planta expresa para tratar de contender con dichos tipos de estrés. Queremos demostrar cuáles de estos genes tienen las funciones más relevantes y también cómo se regula su expresión. Estamos investigando cuáles son las “moléculas reguladoras maestras” (factores de transcripción) que son las que disparan la transcripción o expresión de circuitos de genes que son relevantes en la respuesta al estrés. Dicho conocimiento permitiría, en el futuro, mejorar el cultivo obteniendo variedades de frijol más resistentes al estrés ambiental.

Sin duda el avance en la investigación sobre genómica de frijol y otras leguminosas resultará en beneficios que nos permitieran contender con el incremento de la producción agrícola de alimentos que se requerirá en el futuro..... ¿Por qué no pensar en unas enfrijoladas o frijoles charros igual de ricos pero con mejor contenido nutricional en proteínas o en minerales?

El mejoramiento clásico y moderno de cultivos vegetales: sus ventajas y limitaciones

Alejandra A. Covarrubias Robles

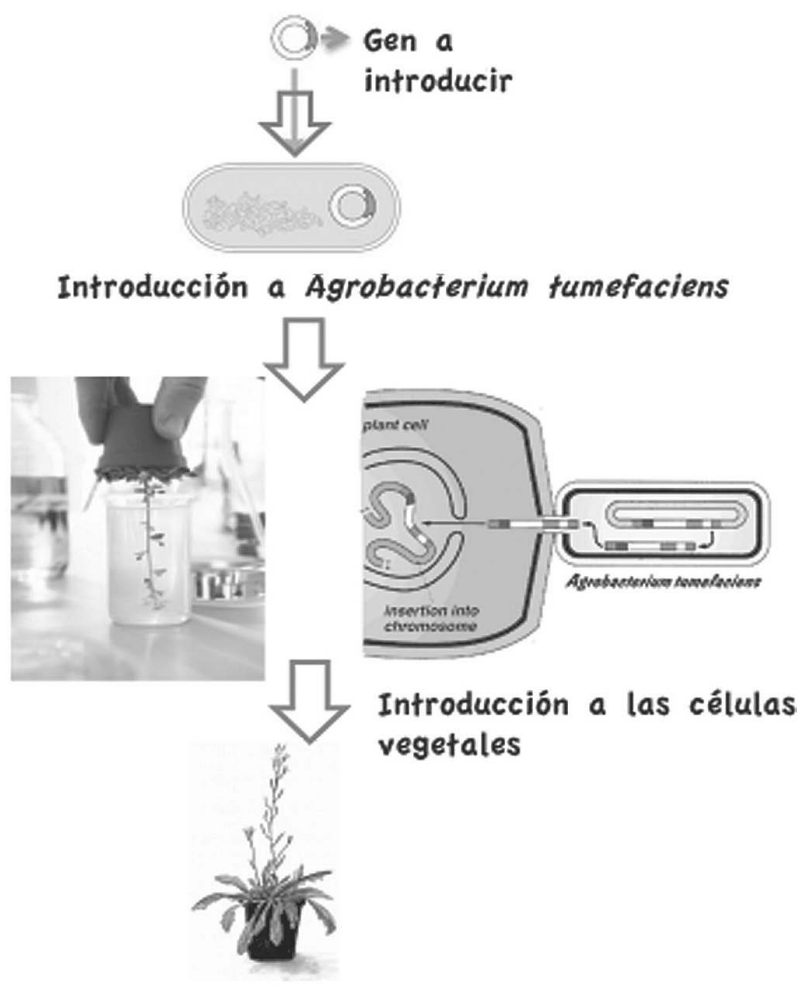
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

¿Alguna vez te has preguntado por qué existe tanta variedad de un mismo vegetal o fruta? ¿Has notado que las semillas de frijol pueden ser de diferentes tamaños y colores? A pesar de sus diferencias, en todos estos casos, las plantas de donde provienen pertenecen al mismo género y especie; es decir, todas ellas son hermanas que contienen la misma información genética pero con algunos ligeros cambios que las hacen parecer diferentes. Lo mismo ocurre para las mazorcas de maíz que pueden ser grandes o pequeñas, con semillas amarillas o blancas; o para las manzanas que pueden ser de diferentes colores. Quizás el caso más dramático es el del brócoli, la coliflor y la col, todas ellas pertenecen al mismo género y especie, aunque no lo parezcan por sus grandes diferencias de tamaño, forma y color. ¿A qué se debe que podamos contar con tal variedad a partir de una sola planta? Aquí los responsables son tanto el genoma de la planta como las necesidades y caprichos del ser humano. Verás, el genoma (con los genes que lo conforman) de la planta es el responsable de cualquier característica que podamos notar a través de nuestros sentidos o de nuestras necesidades nutritivas, y el ser humano ha sido capaz, a lo largo de su historia, de seleccionar alguna o algunas de estas características en las plantas que ha considerado serían disfrutables o favorables para su alimentación, o ambas. También ha tenido que preocuparse por seleccionar características en estas plantas que les permitan defenderse de las plagas dañinas causadas por virus, bacterias, hongos, insectos; o que les permitan sobrevivir ante cambios en el ambiente como el frío, el calor y la sequía. De nos ser así, no podríamos contar con las semillas y frutos suficientes para nuestra alimentación y la de los animales, que también son parte de nuestra fuente alimenticia.

Las estrategias que ha seguido el ser humano para el mejoramiento de los diferentes cultivos, y que le han permitido lograr los objetivos que se mencionan arriba, están basadas fundamentalmente en aprovechar la variabilidad genética natural en la progenie de un organismo, en este caso particular de una planta, y seleccionar aquellas variantes genéticas (hijos) que presenten alguna ventaja con respecto a sus

progenitores. Por ejemplo, que produzcan más semillas o frutos o que sus semillas sean más grandes, nutritivas o ambas; o bien frutos más dulces o que resistan la sequía o el congelamiento, o el ataque de algún insecto o microorganismo patógeno. Esta estrategia, que podríamos considerar como la “clásica”, ha ido evolucionando de tal forma que ahora el agricultor, basado en su experiencia y conocimiento de la genética de una planta (cómo se heredan los genes de una planta a otra), así como en el conocimiento que los habitantes de una cierta región geográfica tengan sobre algún cultivo de interés, trata de combinar genes útiles en una sola planta. Así, puede elegir combinar los genes responsables de la resistencia a alguna plaga con los genes responsables del tamaño grande en los frutos, o cualquier otra combinación que pudiera generar una planta con las características deseables para quien la produce o se alimenta de ella. En el esquema más simple, sólo sería necesario colocar el polen de una planta resistente a una plaga en la flor de una planta que da frutos grandes; esperar a que esta última produzca semillas para sembrarlas y seleccionar de las plantas que se formen aquellas que hayan heredado ambas características y que, por tanto, contendrán en su genoma las regiones con los genes que determinan las características deseadas.

Los agrónomos han logrado incluso generar una nueva especie a través de forzar el entrecruzamiento entre dos especies diferentes, que de forma natural no suelen tener encuentros íntimos. Tal es el caso de la cruce entre trigo y centeno que dio como resultado al llamado “triticale”. Este híbrido resultó de un intento de combinar las características ventajosas del trigo, como el alto rendimiento y el alto contenido de proteína en la semilla, con la capacidad de adaptación a ambientes adversos y el alto contenido de uno de los aminoácidos del centeno. Así pues, la capacidad de transferir a una planta genes de organismos de diferentes especies no es exclusiva de las nuevas tecnologías de la genética; ya que, en el proceso de mejoramiento tradicional también se obtienen plantas que han adquirido los genes o caracteres de variedades de la misma especie y, en algunos casos, incluso, de especies vegetales diferentes, como es el caso que se



Las plantas pueden ser transformadas con material genético de orígenes diversos via la bacteria Agrobacterium tumefaciens, la cual es capaz de introducir su ADN al genoma de las células vegetales de manera natural. El ADN exógeno se inserta en forma aleatoria en el genoma vegetal y requiere de regiones de ADN específicas para que esto suceda.

describe arriba. En este proceso de mejoramiento, el intercambio genético entre las variedades o especies utilizadas es abundante, de tal forma que el o los genes de interés se transfieren acompañados de cientos de genes no relacionados con la característica deseada.

El aumento en el conocimiento de la genética y de los genomas de las plantas ha generado nuevas herramientas, más allá de la estrategia "clásica", que pueden ser aplicadas a las estrategias de mejoramiento de un cultivo particular. En la actualidad, se conocen algunos de los genes de ciertas especies vegetales que hacen que una planta adquiera resistencia al ataque de ciertos insectos o a la infección de ciertos hongos. También se conocen genes que son responsables de la coloración en algunos tipos de flores, o de la producción de ciertos compuestos nutritivos, entre otros. Es por ello que hoy en día es posible introducir, de manera dirigida, en una planta, ciertos genes que mejorarían algunas de sus características agronómicas o nutricionales. La forma en la que se ha logrado esto es a través de usar fragmentos del genoma de una bacteria que naturalmente introduce estos fragmentos en el genoma de una planta (ver figura).

Este conocimiento permitió modificar estas moléculas de ADN, para que no sólo llevaran las regiones que permiten la inserción en el genoma vegetal, sino para que, además, contuvieran algún gen de interés para el ser humano. De esta manera, una vez que el gen de interés se encuentra en el genoma de la planta, éste es capaz de dirigir la producción de la proteína que será la verdaderamente responsable de que las plantas que la produzcan muestren la característica buscada. Así, por ejemplo, si el gen insertado codifica para una proteína que determina que la semilla sea más grande, las plantas con el nuevo gen producirán semillas de mayor tamaño.

Sin duda, el potencial de estas nuevas herramientas genéticas abren un mundo de posibilidades para el mejoramiento de los cultivos, y la manera más simple de verlo es que depende de que los científicos descubran los genes responsables de las diferentes características que resulten atractivas para el productor agrícola o de alimentos. De hecho, algunos genes de interés ya han sido aislados e identificados y, en algunos casos, han sido introducidos a plantas de cultivo como el jitomate, el maíz, la soya y el arroz.

Cultivo de Nochebuena: no todos los hongos son enemigos

Leobardo Serrano Carreón

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El mercado mundial de flores y plantas ornamentales está creciendo a una tasa del 6% por año. Sin embargo, es significativo observar que aún cuando Colombia destina solamente 5,900 hectáreas a cultivos de plantas ornamentales y Ecuador 3,000 hectáreas, ambos participan con el 78% del total de las importaciones de los Estados Unidos (60% y 18%, respectivamente) mientras que México con más de 10,000 hectáreas sólo alcanza un 5% de ese mercado. Entre los factores que más afectan la competitividad del sector de ornamentales en México está la gran variabilidad en la calidad de las plantas y/o flores que se producen. En este aspecto, los principales problemas se refieren a pérdidas por plagas y/o enfermedades o a la baja calidad debida a problemas ligados a un mal manejo de los factores que afectan el crecimiento y/o la floración de las plantas.

El cultivo de Nochebuena es uno de los más importantes del sector de plantas ornamentales en México, siendo el Estado de Morelos el principal productor del país. En nuestro Estado se producen cinco millones de plantas terminadas en diferentes presentaciones y colores, así como alrededor de 30

millones de esquejes (plántulas) para el abasto de los mercados de Estados Unidos, Canadá, China, Kenya, Japón, Holanda, Vietnam, Francia, Alemania y Suecia.

Sin embargo, las enfermedades producidas por hongos fitopatógenos (hongos que causan enfermedad en plantas) son responsables de pérdidas económicas importantes para los productores de Nochebuena. Estos hongos atacan el follaje y la raíz de la plantas disminuyendo su calidad y, en ocasiones, llegando a provocar la muerte de las mismas. Para disminuir estas pérdidas económicas, los productores han utilizado tradicionalmente pesticidas sintéticos altamente tóxicos. Estos pesticidas no solo ponen en riesgo la salud de quienes los aplican, también se ha demostrado que terminan siendo ineficaces al promover la generación de especies inmunes a su acción.

El control biológico de plagas y enfermedades representa una alternativa económicamente viable y sustentable que permite eliminar o reducir el uso (y los efectos nocivos) de los pesticidas sintéticos. El control biológico es el uso de organismos (o de sus metabolitos o subproductos) que son enemigos naturales de una plaga o patógeno, con el fin de



Con el hongo *Trichoderma*

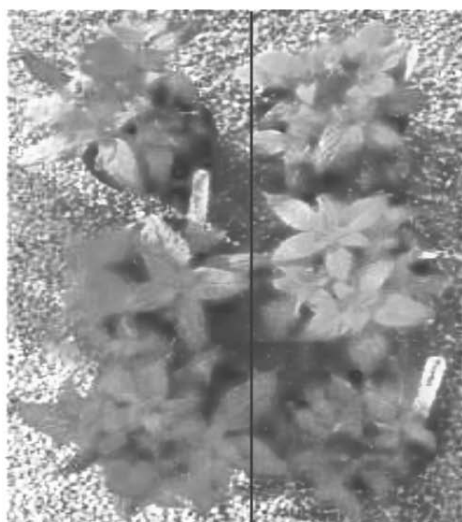
Sin el hongo *Trichoderma*

reducir o eliminar sus efectos dañinos en las plantas o sus productos. De manera similar al uso de gatos para controlar poblaciones de ratones o el uso de bacterias benéficas (como los lactobacilos) para preservar alimentos o prevenir infecciones gastrointestinales, el control biológico de plagas y patógenos ha sido utilizado en la agricultura de manera empírica desde sus inicios. La razón principal por la cual muchos productos agrícolas no son destruidos completamente por las plagas y las enfermedades es la presencia natural de agentes de control biológico: organismos capaces de antagonizar con las plagas o patógenos, reduciendo sus efectos nocivos. El desarrollo y aplicación de este potencial de la naturaleza cobra cada vez mayor importancia, y seguramente tendrá un gran impacto en la agricultura en el futuro cercano. Los hongos del género *Trichoderma* se han destacado como unos de los agentes de control biológico más utilizados. Estos hongos atacan y causan la muerte de una gran variedad de hongos fitopatógenos. Así, parece que la mejor manera de atacar a algunos hongos fitopatógenos, y de esta manera disminuir las

pérdidas económicas que éstos causan, es utilizando otro hongo que se sabe es su depredador natural pero inofensivo para la planta. De hecho, se ha demostrado (aunque no se conocen los mecanismos) que estos hongos llegan, inclusive, a estimular el crecimiento de plantas.

Como un ejemplo de lo anterior, se han llevado a cabo pruebas para evaluar la posibilidad de reemplazar pesticidas químicos por un producto a base de *Trichoderma* en el cultivo de Nochebuena. Las pruebas realizadas en Morelos han demostrado que la aplicación de *Trichoderma* permite reemplazar a fungicidas sintéticos en el control de enfermedades radiculares (de la raíz). Adicionalmente, el uso de este hongo resultó en un incremento tanto de la velocidad de crecimiento como del número de flores de las plantas. Se han encontrado resultados similares en cultivos como belenes y esquévolas (ver imagen). Esto implica la posibilidad de producir más rápido y con una mayor calidad, generando beneficios económicos importantes para los productores de ornamentales del país.

**Con
Trichoderma Testigo**



**Con
Trichoderma Testigo**



Esquévola



Belenes

Sobre el debate de los alimentos transgénicos (Primera parte)

Federico Sánchez Rodríguez

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Claudia Díaz Camino

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

La agricultura intensiva ha permitido cubrir las necesidades básicas de alimentación de las poblaciones humanas. Sin embargo, esta práctica también ha provocado la desertificación, erosión y salinización de los suelos. En adición, estudios recientes han demostrado que el calentamiento global afecta de manera importante los rendimientos de los principales cultivos de importancia agrícola alrededor del mundo. En el período comprendido entre 1981 al año 2002, el calentamiento global provocó una reducción de 40 millones de toneladas por año en la producción combinada de trigo, maíz y cebada. Este hecho, sumado a la contaminación de suelos y de mantos freáticos y a la expansión de manchas de crecimiento urbano, demanda la implementación de nuevas estrategias de producción agrícola que aseguren la producción de alimentos de manera apremiante.

En la actualidad (2008), un octavo de la tierra cultivable alrededor del mundo, se encuentra ocupada

por cultivos genéticamente modificados (GM). En principio, los diseños de éstos se han dirigido a mejorar la cantidad o calidad de los granos que se consumen en el mundo. Sin embargo, existe un gran número de proyectos GM de segunda generación que se encuentran en diversos estados de avance. Si bien muchos de ellos también están dirigidos a la obtención de beneficios por parte del agricultor, por ejemplo, cultivos que presentan resistencia al ataque viral o al ataque de diversos insectos o nemátodos; algunos productos GM serán de sumo provecho al consumidor, como variedades de arroz, ricos en precursores de vitaminas A y E, ó bien cultivos de jitomate enriquecidos en compuestos antioxidantes.

Cultivos resistentes a condiciones ambientales extremas.

Por otro lado, existen variedades GM que son capaces de ser productivas en ambientes



GRANOS / Poco a poco los cultivos genéticamente modificados se extienden.

extremos. Dentro de esta categoría se encuentran diversas variedades de arroz GM generadas en la Universidad de Cornell, que han demostrado una producción sostenida bajo condiciones de salinidad, sequía o de bajas temperaturas. Dichas variedades, bajo condiciones óptimas de cultivo, son incluso más productivas que sus contrapartes convencionales. Un segundo ejemplo ha sido el reciente desarrollo de una variedad de jitomate capaz de crecer en suelos salinos. Esta variedad, generada en las Universidades de California y de Toronto, almacena el exceso de sales en las hojas de la planta, y no en el fruto, por lo que éste conserva sus propiedades organolépticas. Un último ejemplo ha sido la creación de variedades de maíz GM tolerantes a aluminio, obtenidas en el CINVESTAV-Unidad Irapuato (Instituto Politécnico Nacional). Esta característica tiene un gran uso potencial en suelos tropicales ácidos, ricos en aluminio, que en general se mantienen marginales a la agricultura productiva.

En la protección ambiental...

Una solución alternativa al cultivo de variedades GM tolerantes a contaminantes presentes en el suelo, es la prevención o rescate de tierras cultivables mediante la fitorremediación asistida por la agrobiotecnología. Al respecto, la generación de plantas GM destinadas a la protección ambiental caen en dos distintas categorías. La primera, consiste en la prevención de la contaminación, mientras que la segunda se ocupa de la remoción de ciertos contaminantes presentes en el suelo. Un ejemplo de cultivos GM que reducen de manera significativa la aplicación de agroquímicos es el algodón Bt (Monsanto Inc.), que minimiza el uso de pesticidas para el control de ciertas plagas que dañan a este cultivo. De hecho, el algodón *Bollgard* es la única variedad GM aprobada para llevar a cabo pruebas piloto en nuestro país. Comparado con los rendimientos que se han obtenido en otros países, en México ciertamente

solo se han logrado ganancias marginales. Sin embargo, su cultivo se ha visto acompañado por el beneficio de aplicar menos pesticidas al medioambiente.

Dentro del grupo de plantas GM que potencialmente pueden ser utilizadas para el rescate de suelos contaminados por diversos xenobióticos, se encuentran distintas líneas transgénicas de arroz o de tabaco que muestran variados niveles de tolerancia a la atracina, un herbicida muy utilizado en el control de plagas; o plantas de tabaco GM que son capaces de tolerar y degradar distintos explosivos. Al respecto, se ha propuesto la generación de variedades de álamo GM destinadas a la fitorremediación, ya que los árboles presentan raíces profundas abundantes, que facilitarán el acceso a las zonas de limpieza.

A pesar de los innumerables beneficios recibidos a partir de esta poderosa tecnología, la producción de cultivos GM en la agricultura moderna ha generado diversos temores en la población, que van desde su posible efecto adverso a la salud humana o animal hasta su potencial impacto en el medio ambiente. Esta respuesta ha provocado el rechazo de distintas jurisdicciones a nivel regional por permitir la aplicación de plantas GM.

Desde nuestra opinión, no se ha presentado aún ningún argumento convincente que demuestre que el consumo de alimentos GM, *per se*, constituya una amenaza para la salud humana o animal. Cientos de millones de personas han consumido este tipo de alimentos durante la última década, y hasta el momento, no se han reportado problemas de salud. En cuanto a su impacto ambiental, a la fecha (2008) no se han encontrado malezas agresivas resistentes a herbicidas. Dada la ventaja que pudiera representar el cultivo de ciertas variedades GM en nuestro país, en el artículo que se presenta a continuación discutiremos objetivamente algunas de estas preocupaciones.



Sobre el debate de los alimentos transgénicos (Segunda parte)

Federico Sánchez Rodríguez

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Claudia Díaz Camino

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

En el artículo anterior comentamos la necesidad apremiante que existe en la actualidad de buscar nuevas estrategias de producción agrícola que hagan posible la producción de alimentos en cantidades suficientes para el sostenimiento de las futuras generaciones. Una de esas estrategias, de probada eficacia, es la biotecnología agrícola. Sin embargo, su uso ha sido el motivo de innumerables debates públicos que han despertado recelo y desconfianza en la población consumidora. Es la intención de este artículo el discutir, de manera objetiva y clara, algunas de esas preocupaciones.

¿Alergias o intoxicaciones provocadas por el consumo de productos GM?

Muchos alimentos que se consumen hoy en día están genéticamente modificados o incluyen ingredientes GM. La alergenicidad o intoxicación provocada por la ingesta de nuevas proteínas contenidas en este tipo de alimentos ha sido un elemento clave a considerar en la valoración de su inocuidad. A la fecha, diversos productos GM han sido sometidos a estudios toxicológicos o de alergenicidad por el investigador Kuiper y colaboradores en el 2001 y por el investigador Sutton y colaboradores en 2003. Los resultados obtenidos hasta el momento (2008) no demuestran claramente ninguna evidencia sobre la inducción de alergias o intoxicaciones en humanos o en animales domésticos que hayan sido provocadas por la ingesta de productos GM.

Sin embargo, distintas organizaciones internacionales, entre ellas la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación/ Organización Mundial de la Salud (FAO/WHO), han diseñado estrategias para la evaluación de seguridad en el consumo de productos GM. El concepto de “equivalencia sustancial”, que se fundamenta en comparar a las versiones GM con sus contrapartes convencionales, ha surgido como un punto de partida en la estimación de la inocuidad de estos productos. Las variedades convencionales funcionan en este sentido como una referencia para identificar cambios potenciales en la composición de

la variedad GM. Si este fuera el caso, deberá realizarse un análisis más detallado sobre la naturaleza de la modificación genética y las alteraciones metabólicas resultantes, hecho que pudiera dirigir al proceso de evaluación hacia la aplicación de estudios más detallados que garanticen su inocuidad alimentaria (de acuerdo a la OECD, 2001).

Con respecto a la evaluación de la posible



alergenicidad inducida por nuevas proteínas derivadas a partir de fuentes alergénicas conocidas que han sido incluídas en alimentos GM, el acuerdo internacional establece que el procedimiento debe de enfocarse en los siguientes puntos: a) al análisis de la reactividad inmunológica, en donde se determinará la presencia de anticuerpos en el suero de pacientes alérgicos que interaccionen con la nueva proteína, y, b) si los resultados obtenidos fuesen negativos, deberán realizarse pruebas en piel así como ensayos de ingestión de productos GM, en donde se confirmará la ausencia de alergenicidad en dicho producto (FAO/WHO, 2000). Por otro lado, si se desconoce si el gen introducido tiene propiedades alergénicas, deberá realizarse un análisis comparativo de su secuencia con la de alérgenos conocidos, y deberán establecerse sus propiedades químicas y físicas a detalle.

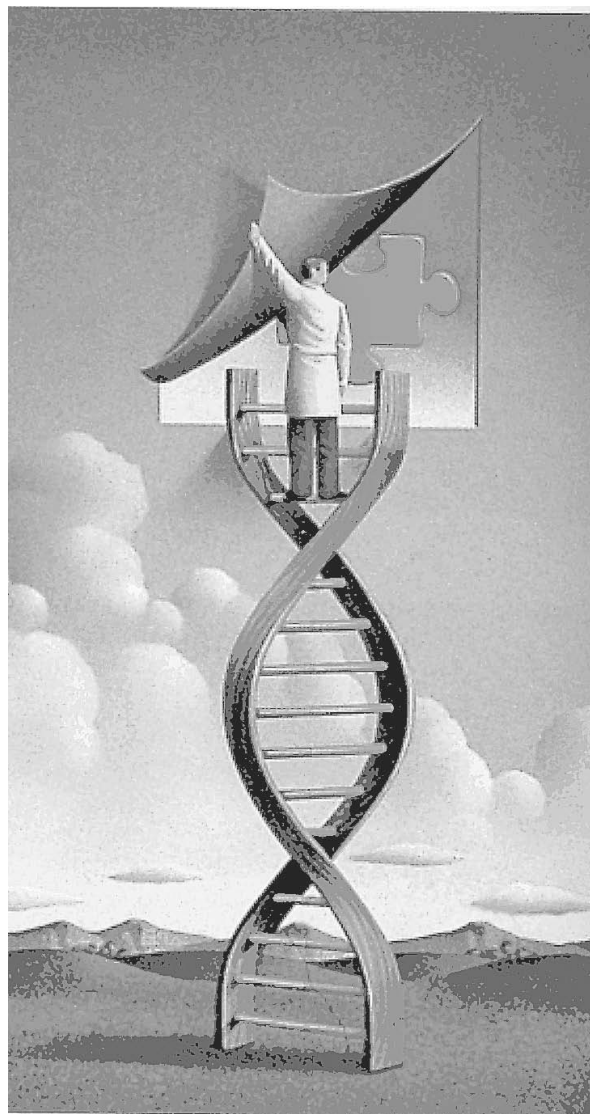
¿Y qué pasa con los antibióticos?

Con el fin de facilitar el escrutinio del proceso de transformación genética, los primeros desarrollos de variedades GM comerciales incluyeron genes que confieren resistencia a ciertos antibióticos. Este hecho provocó inquietudes sobre la posible transferencia del gen que proporciona la resistencia al antibiótico a bacterias patógenas del ser humano o a especies domésticas que pudiera comprometer su uso clínico o veterinario. La posibilidad de dicha transferencia es infinitesimal y de hecho, no se han obtenido datos experimentales que avalen ese temor. Sin embargo, en el año 2001, los miembros del Consejo Consultivo de la FAO/WHO concluyeron que, para aquellos antibióticos que son relevantes para usos médicos específicos, o bien, para aquellos que se utilizan en terapias que tienen alternativas limitadas, la posibilidad de transferencia génica, por poco probable que resulte, constituye un riesgo. Por lo anterior, dicho consejo ha determinado que este tipo de marcadores de selección deben de ser eliminados en futuros cultivos destinados al consumo humano o animal (de acuerdo con reportes de la FAO/WHO en el año 2000).

El flujo génico y su impacto

A la fecha, existen ejemplos de escape de transgenes reportados en la literatura para diversos cultivos GM, entre ellos, arroz, maíz o girasol. La frecuencia de transferencia del transgen a las variedades silvestres varía de acuerdo a la especie y al tipo de fecundación que estas presenten. En la actualidad, la búsqueda de mecanismos que contengan eficientemente la dispersión de los transgenes a poblaciones de plantas silvestres relacionadas, es uno de los temas de mayor relevancia dentro de la agenda científica en esta área.

Las estrategias hasta ahora diseñadas para lograr dicho propósito se fundamentan en la generación de plantas estériles, en la propagación vegetativa, la auto-fertilización, o la incompatibilidad genética, entre otras. No obstante, ninguna de las tácticas mencionadas ha demostrado ser aplicable a todas las especies de cultivos, por lo que se ha propuesto que



en el futuro, una combinación de mecanismos de contención deben de ser implementados en el diseño de las próximas generaciones de cultivos GM.

Por otro lado, si bien se ha demostrado que efectivamente hay distintos niveles de escape de transgenes a las poblaciones silvestres, existen pocos estudios sobre la permanencia de éstos a través de las generaciones. Uno de los casos más controversiales ha sido justamente la presencia y permanencia de transgenes en variedades silvestres de maíz en México. En los años 2001 y 2002, el gobierno mexicano confirmó la presencia de transgenes en Oaxaca. Sin embargo, un estudio posterior llevado a cabo en la misma área entre los años 2003 y 2004 fue incapaz de detectarlos. En consecuencia, los autores de dicho trabajo concluyeron que la presencia de transgenes en las poblaciones silvestres de maíz es altamente inestable. Para corroborar o negar dicha afirmación, es necesario el realizar un mayor tipo de estudios que nos permitan llegar a conclusiones definitivas.

Por otro lado, es importante señalar que en nuestro país, el cultivo de maíces híbridos se encuentra

en estrecha cercanía tanto con las poblaciones de diversas variedades mexicanas de maíces criollos, como con las poblaciones silvestres, entre ellas, la de teocinte, y es posible que el intercambio genético entre ellas ya se haya dado, al menos, hasta donde las barreras biológicas lo hayan permitido. En esencia, las características de los maíces criollos actuales son el resultado de cruza genéticas variadas, incluso con variedades híbridas, que han sido seleccionadas por los campesinos. Este proceso es general, evoluciona con el tiempo y no se limita exclusivamente a las variedades GM.

Sin embargo, una manera de conservar la variabilidad genética de las variedades criollas mexicanas, es el incentivar económicamente a los campesinos de distintas regiones para que estos mantengan su cultivo (conservación *ex-situ*). Por otro lado, el germoplasma de maíz puede también conservarse en bancos de semillas especializados (conservación *in-situ*). Al respecto, la Secretaría de Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) dentro del programa “Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura” (SINAREFI), cuenta con un banco de conservación en frío de semillas, y está actualmente (2008) montando estrategias de incentivos para la conservación *ex-situ* de diversas especies de interés agronómico, entre ellas, de maíz.

Un beneficio indudable: disminución en el uso de pesticidas para el control de plagas

Desde su introducción, el uso del algodón Bt (por *Bacillus thuringiensis*) resultó en aumentos importantes en la producción que fueron acompañados por una reducción en el uso de pesticidas en los Estados Unidos de Norte América (reportado por el

investigador Perlak y colaboradores en 2001), China (reportado por el investigador Huang y colaboradores en 2002), Sud-África (reportado por el investigador Ismael y colaboradores en 2001) y México (reportado por el investigador Traxler y colaboradores en 2001), por citar algunos ejemplos. Este tipo de beneficios no se restringen exclusivamente al algodón Bt. El análisis de cultivos GM resistentes a herbicidas (reportado por el investigador Bennet y colaboradores en 2004) arrojan resultados similares.

Se ha discutido en distintos foros el monopolio intelectual y comercial de las variedades GM que se cultivan hoy día. Es indudable que existe una preocupación al respecto, particularmente en las naciones en vías de desarrollo, donde incluso diversas organizaciones no-gubernamentales han sostenido por años que los agricultores serán explotados por las compañías internacionales proveedoras de semillas GM ¿Cómo puede asegurarse el acceso a esta tecnología y la distribución justa de beneficios en naciones como la nuestra?

Hay ejemplos de naciones en vías de desarrollo que se han beneficiado tras el cultivo de variedades GM; China, por el cultivo del algodón y Argentina, por el cultivo de soya. En ambos casos, la inversión destinada al control de plagas fue considerablemente menor, lo que representó beneficios económicos sustanciales para los agricultores. En India, el cultivo de variedades GM de algodón ha aumentado exponencialmente en los últimos años. Esta estrategia contribuyó de manera importante al rescate de su industria algodонера.

FIGURAS TOMADAS DE: www.idrc.ca/uploads/user-S/117751168419588.jpg, www.primidi.com/images/genetic_engineered_products, www.hcnet.usp.br/ipq/revista/DNA.gif

Impacto del uso de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* en el control de insectos

Mario Soberón Chávez
Alejandra Bravo de la Parra

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembros de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Principios del control biológico de insectos

En la actualidad nos encontramos de cara a un problema muy importante que es el proveer de alimento a una población humana que crece con rapidez. A pesar de que la tasa de crecimiento de la población ha disminuido considerablemente durante los últimos años (de 2.05 a 1.34% anual), se estima que la población mundial se duplicará dentro de cuarenta años. Esto significa que la demanda de alimentos se incrementará en la misma proporción. Actualmente existen 8.7 millones de kilómetros cuadrados dedicados a la agricultura, para lograr producir lo doble se debería incrementar a 16 millones para el año 2040. Esto es prácticamente imposible ya que la extensión de tierras cultivables está disminuyendo a causa del crecimiento de las áreas urbanas, el agotamiento del suelo, la deforestación y la contaminación. En el caso concreto de México el problema es aún mas serio, ya que el país cuenta con solo 311,000 km² de suelos disponibles para la producción agrícola, lo que representa únicamente el 16% del territorio nacional. El 46% de estos suelos se destinan a la producción de cereales y frijol. Por estas razones es importante dar mayor impulso al desarrollo de tecnologías que puedan hacer más eficientes los sistemas agropecuarios.

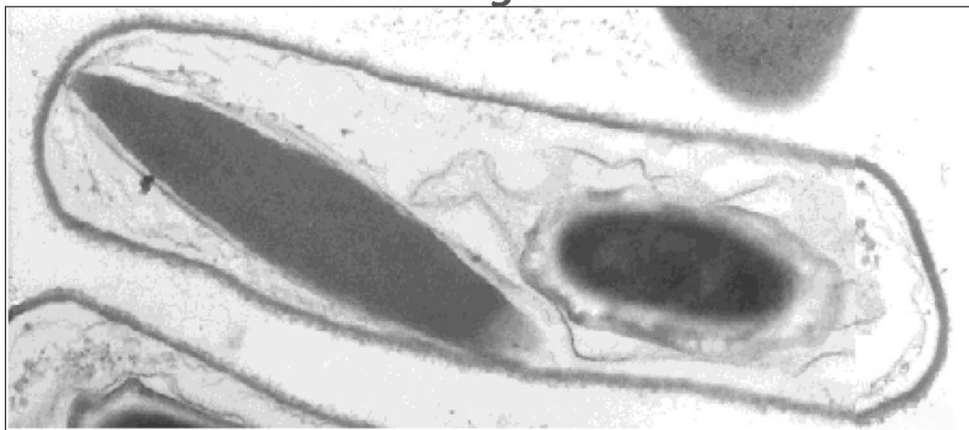
La solución más inmediata a este problema será

aumentar la eficiencia en la producción agrícola. En este sentido cabe señalar el 35% de la producción agrícola se pierde por el ataque de plagas (insectos, hongos, bacterias y virus) a cultivos y a productos almacenados. Es por esto que un manejo eficiente en el control de plagas sin duda será vital para lograr tener una mayor producción de alimentos.

Para el control de las plagas no sólo se utilizan insecticidas sino que en la actualidad se emplean también bacterias u hongos que atacan a los insectos, sin embargo su uso en el control de insectos es todavía limitado en comparación con la utilización de insecticidas químicos.

La bacteria que más se ha utilizado en el control biológico de insectos es *Bacillus thuringiensis* (Bt). Bt es una bacteria que produce una gran cantidad de proteínas con actividad insecticida que han sido denominadas proteínas insecticidas cristalinas ó delta-endotoxinas. Estas proteínas se han agrupado en más de 200 diferentes variedades de toxinas denominadas Cry (se denominan Cry por formar un cristal, proteico cuando Bt se diferencia a espora) y en 40 diferentes grupos. Las proteínas Cry pueden ser muy específicas, o tener un espectro de acción más amplio. Las toxinas Cry se han utilizado como bioinsecticidas comerciales contra larvas de insectos que afectan la agricultura y áreas forestales, así como para el control de insectos

B. thuringiensis



vectores de patógenos para el ser humano desde hace más de 40 años.

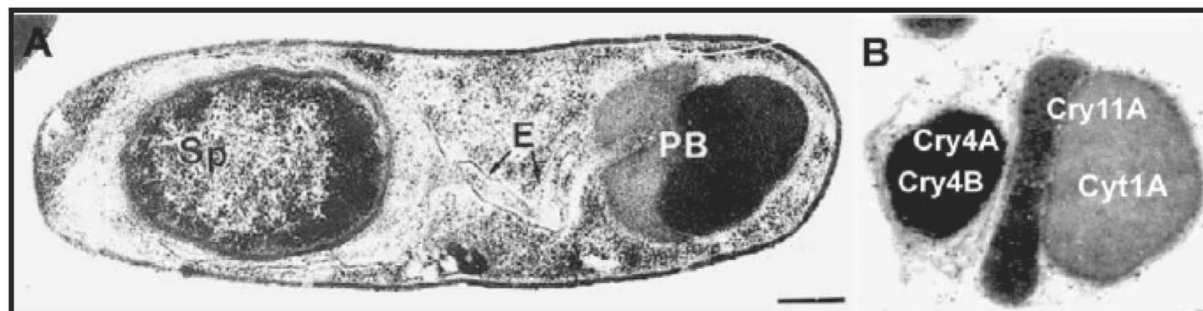
Uso de *Bacillus thuringiensis*: ventajas y limitaciones

Se ha calculado (2007) que el 2% del mercado mundial de pesticidas es satisfecho con biopesticidas, en el que Bt domina el 95% de las ventas. Varios han sido los factores que han hecho posible su éxito en la agricultura. El factor más importante es su alta especificidad hacia el insecto al que se busca eliminar y su inocuidad para mamíferos, otros vertebrados, plantas e inclusive otros insectos benéficos. Las toxinas de Bt se han utilizado como bioinsecticidas en agricultura durante los últimos 40 años, principalmente en cultivos de hortalizas y cereales. Bt ha sido utilizado como una alternativa compatible con el medio ambiente para el manejo de plagas agrícolas. Sin embargo, los productos desarrollados se han hecho (2007) con muy pocas toxinas Cry, por lo que la gran mayoría de toxinas disponibles no han sido desarrolladas, ya que estas toxinas no matan más que a un número restringido de insectos y no se cuenta con toxinas para cada plaga, por lo que es necesario trabajar en este aspecto y desarrollar mas productos hacia las plagas importantes a nivel comercial. El reducido tiempo de permanencia de las proteínas Cry en el ambiente hace necesario un profundo conocimiento de la biología y comportamiento de la plaga que se quiere controlar, ya que una toxina puede ser activa para los estadios larvarios pero disminuir, o incluso no ser tóxica, para los insectos adultos. Por lo tanto, los tiempos y formas de aplicación deben ser cuidadosamente seleccionados. Otra limitante ha sido la utilización de Bt para el control de insectos barrenadores y chupadores ya que la aplicación de productos de Bt se ha dado tradicionalmente como productos asperjados y el hábito alimenticio de estos insectos -que se alimentan en el interior de las plantas- impide la ingestión de la toxina Cry. Este problema se ha resuelto con la creación de plantas transgénicas que producen la toxina Cry haciéndola accesible a insectos barrenadores.

Esta última es una de las estrategias más atractivas y a la vez más controvertidas, la cual se refiere a la

transformación de las plantas de cultivo con los genes Cry (es decir por medio de ingeniería genética la planta es forzada a portar los genes que determinan la producción de las toxinas Cry) con el propósito de desarrollar variedades vegetales resistentes a insectos. El objetivo es que la planta, una vez transformada con el gene Cry exprese suficiente cantidad de toxina como para aniquilar a las plagas susceptibles que las consumen. Desde 1987 aparecieron los primeros reportes sobre plantas de tabaco y tomate que presentaban suficiente toxina Cry como para conferir niveles altos de resistencia a insectos. En la actualidad (2007), universidades, centros de investigación y compañías privadas, llevan a cabo proyectos sobre el desarrollo de plantas transgénicas en diferentes variedades vegetales. La adopción de las plantas transgénicas en la agricultura se está llevando a cabo en forma vertiginosa. Sólo en el año 2006 se sembraron más de 32 millones de hectáreas con variedades vegetales resistentes a insectos. La introducción de plantas transgénicas a nuestro país ha sido estrictamente regulada, y el caso de la introducción de maíz transgénico resistente a insectos reviste singular importancia, dado que Mesoamérica es el sitio del origen evolutivo del maíz y aún existen sus posibles ancestros. Sería aconsejable evaluar el posible impacto que el maíz transgénico pudiera tener sobre las poblaciones de estos ancestros del maíz, analizando la posibilidad de que los transgenes eventualmente pudieran introducirse a estas plantas silvestres. La protección del maíz nativo también debería incluir el control de variedades comerciales no-transgénicas ya que estas también pueden polinizar al maíz nativo e introducir marcadores genéticos seleccionables. Sin embargo, un uso racional de esta tecnología en nuestro país sin duda redundará en mejores metodologías que permitan mayor producción al resolver el grave problema agrícola del ataque de insectos. Nos gustaría insistir en que lo que requerimos es generar variedades nativas de maíz transgénicas que lleven genes Cry que sirvan para controlar insectos importantes en México, que no forzosamente son los mismos que en Estados Unidos. Estas nuevas variedades podrían ser generadas en México con tecnología propia.

B. thuringiensis subs israelensis



Bacterias maravillosas: viviendo al límite de la vida

Gabriel Iturriaga

Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Bárbara Nora Franco

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos

Para muchos seres vivos, incluidos nosotros, el límite de la vida puede estar en el desierto, ya que no somos capaces de soportar las altas temperaturas o la falta de agua por más de 3 ó 4 días. O bien, el límite de la vida podría estar en los polos o en las profundidades de los océanos, donde las bajas temperaturas y la alta presión son insoportables. Muchos otros encontraron el límite de la vida en la tragedia de Chernóbil por el exceso de radiaciones. Pero por más inverosímil que parezca, en la naturaleza existen organismos microscópicos, las bacterias, aproximadamente 2 millones de veces más pequeños en longitud que una persona, algunas de las cuales son capaces de soportar estos ambientes que para nosotros son extremos. Más aún, ciertas bacterias necesitan ambientes extremos para poder sobrevivir: no soportan las condiciones que para nosotros son normales. Estos sorprendentes organismos se conocen como EXTREMÓFILOS y se agrupan de acuerdo al ambiente que son capaces de tolerar: TERMÓFILOS, son los que pueden tolerar altas temperaturas; PSICRÓFILOS, son los que soportan bajísimas temperaturas; HALÓFILOS, los que pueden soportar grandes concentraciones de sal; y también están las bacterias que pueden vivir en altas concentraciones de radiación. Estos maravillosos organismos que hacen que los humanos parezcamos flores de invernadero, fueron descubiertos hace aproximadamente 40 años por el Dr. Thomas D. Brock de la Universidad de Wisconsin, en el parque de Yellowstone en Wyoming, EEUU. En este lugar encontró una bacteria a la cual bautizó como *Thermus aquaticus* ya que puede soportar temperaturas de hasta 80°C, gracias a que las enzimas que llevan a cabo todo su metabolismo funcionan óptimamente alrededor de esta temperatura. Por primera vez se demostró que el límite de la vida no se encuentra en la temperatura de los MESÓFILOS, como somos los humanos y muchas otras especies de animales y plantas, que vivimos entre los 20 y los 37°C. Por los años 70's, los científicos comenzaron a buscar vida en otros puntos extremos del planeta y la encontraron en las chimeneas hidrotermales, que se encuentran a profundidades de hasta 3.6 km en los océanos y que expulsan fluidos minerales a temperaturas de aproximadamente 350°C. Ahí, en ese ambiente infernal, encontraron a *Pyrolobus*

fumarii, el cual necesita temperaturas de hasta 105°C para poder vivir, aunque lo más sorprendente de este organismo es que a 90°C no crece debido a que ¡esta temperatura es fría para ella! Hablando del océano, en sus profundidades, en donde la temperatura está alrededor de 4°C, ahí habita una "bacteria fría" conocida como *Polaromonas vacuolata*, la cual puede sobrevivir en los océanos árticos; lo sorprendente de esta bacteria es que a 12°C detiene su crecimiento debido a que esta temperatura, que a nosotros nos haría quedarnos en casa, para ella es tan caliente que no le permite reproducirse.

Hasta ahora hemos hablado un poco de estas maravillas de seres termófilos y psicrófilos pero ¿qué pasa con los otros extremófilos? ¿son igual o más sorprendentes que los termófilos y psicrófilos? Se han encontrado bacilos que revivieron después de estar atrapados en ámbar durante 30 millones de años, u otras bacterias que renacieron después de estar dentro de un cristal salino formado hace 250 millones de años. O bien bacterias fotosintéticas que viven en el desierto de Atacama en Chile, uno de los lugares más áridos del planeta, si no es que el más.

Los ACIDÓFILOS son otro grupo de extremófilos que poseen la capacidad de vivir a pHs tan bajos como los encontrados en los jugos gástricos. Estos organismos pueden sobrevivir gracias a que mantienen un pH neutro en su interior por diferentes mecanismos: lo que sería como si nosotros nos sumergiéramos en una alberca llena de ácido en una esfera de metal y pudiéramos ahí hacer tranquilamente nuestra vida como si nada estuviera pasando.

Por otro lado, los halófilos pueden sobrevivir en ambientes extremadamente salados, como en lagunas salobres o en algunos lagos salados como Salt Lake en Utah, EEUU. Los halófilos poseen un mecanismo diferente para poder sobrevivir en lugares salados y éste consiste en la acumulación de ciertos compuestos que hacen que el agua pueda ser retenida en su interior y además que bombas expulsen la sal de la célula, para así poder sobrevivir en esos ambientes donde el agua es bastante escasa. También están los organismos resistentes a la radiación: el más famoso de ellos es la bacteria *Deinococcus radiodurans*, que es capaz de soportar hasta 37000 Gy; para tener una noción

de lo que es esto, un ser humano muere a 10 Gy de radiación, que fue lo que tristemente sucedió con los residentes de Chernóbil. Además de resistir las radiaciones, esta bacteria tolera las altas temperaturas y la desecación.

Pero existen otros organismos increíbles, los CRIPTOBIONTES (vida escondida) o llamados de "resurrección" que pueden sobrevivir sin agua durante décadas y "revivir" en unas cuantas horas. Y no sólo hablamos de bacterias, sino también de ciertos insectos, gusanos, plantas y hongos, como la levadura para producir pan, cerveza o vino. Casi todos estos organismos que resisten la desecación tienen un peculiar azúcar que los protege y los mantiene en vida latente hasta que regresa el agua. El descubrimiento de los criptobiontes se remonta al siglo XVIII, cuando el inventor del microscopio, Anton Van Leeuwenhoek,

tomó polvo del techo de su casa, lo humedeció y observó que al cabo de unos minutos empezaron a moverse unas criaturas microscópicas.

Después de conocer un poco de los extremófilos podríamos reflexionar si tenemos que hacer ostentación de ser los mejores y más adaptados seres del planeta, ya que estos organismos más pequeños que nosotros serían los únicos sobrevivientes en caso de que el planeta colapsara. Es probable que la vida en la Tierra se originó en condiciones extremas, por lo que se piensa que los extremófilos son de sus habitantes más antiguos. Por último, según los expertos, no sería sorprendente que algunas de las adaptaciones de los organismos extremófilos estuvieran presentes en seres que habiten otros mundos dentro o fuera de nuestro sistema planetario, si es que no estamos solos en el universo.



Vista satelital del lago termal en el parque Yellowstone, Wyoming, EEUU.

Genes para combatir la sequía en los cultivos

Gabriel Iturriaga

Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

La productividad y el crecimiento de las plantas, particularmente de una gran diversidad de cultivos agronómicos, están restringidos intermitentemente por diversos factores ambientales tanto bióticos como abióticos. Los primeros lo constituyen los patógenos que comprenden algunos hongos, bacterias y virus; mientras que en el caso del estrés abiótico se encuentran la sequía, la salinidad, el congelamiento y el calor excesivo. De todos estos factores, la disponibilidad de agua es el más limitante en la producción agrícola a nivel mundial. Más del 30% de nuestro planeta son áreas de baja precipitación pluvial, es decir con menos de 200 a 400 mm de precipitación por año. En particular en México, donde las zonas áridas y semiáridas constituyen alrededor de la mitad del territorio nacional, la sequía afecta fundamentalmente a los agricultores pobres que cultivan tierras de temporal.

La presencia de concentraciones elevadas de sales en el suelo también es un estrés común en los desiertos y en muchas regiones templadas donde la salinidad limita el crecimiento de las plantas. Millones de hectáreas utilizadas para la producción se pierden a medida que la sal del agua de riego se ha ido acumulando en el suelo. En estas áreas, una planta se enfrenta a dos problemas: tener que obtener agua de un suelo con déficit hídrico y contender con las elevadas concentraciones, potencialmente tóxicas, de iones de sodio, carbonatos y cloro. Por otro lado, las temperaturas extremas son también un común denominador de las zonas desérticas.

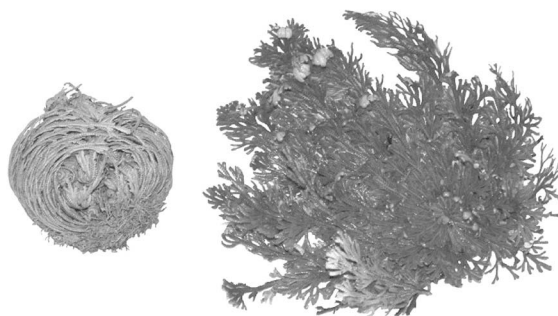
Habitualmente, los desiertos poseen una vegetación escasa pero con adaptaciones de gran interés científico y tecnológico. Existen diversas especies vegetales que tienen una gran resistencia a la sequía, entre las que se encuentran las cactáceas, los agaves y las plantas de “resurrección”. Estas últimas son muy extrañas porque son capaces de sobrevivir completamente deshidratadas durante años y cuando vuelven a estar en contacto con el agua “reviven” continuando su ciclo de vida y funciones normalmente.

Cuando las plantas resistentes experimentan condiciones ambientales desfavorables asociadas con altos niveles de salinidad, sequía o temperaturas extremas, las plantas se protegen del estrés por la acumulación de una variedad de metabolitos orgánicos. Estos compuestos son moléculas pequeñas solubles en agua. Las propiedades de estas moléculas permiten mantener la presión de turgencia durante

el estrés hídrico, por salinidad o temperaturas extremas. Además, algunas moléculas pueden servir como agentes protectores eficientes para estabilizar la estructura y función de las macromoléculas sean estas proteínas, membranas o ADN (ácido desoxirribonucleico), lo cual explica la capacidad de las plantas de “resurrección” para sobrevivir en estado latente en la ausencia del agua. Los solutos compatibles representativos incluyen ciertos aminoácidos, betaínas, y algunos azúcares como la trehalosa.

La trehalosa es un azúcar, no tóxico. En la naturaleza la trehalosa sirve como protector contra el estrés abiótico ya que se ha encontrado, además de en las plantas de resurrección, en organismos capaces de sobrevivir la deshidratación y temperaturas extremas tales como algunas especies de bacterias, levaduras, crustáceos, insectos y gusanos. La trehalosa se encuentra en alimentos comunes como el pan, miel, hongos, cerveza y el vino. Si consideramos que las fermentaciones son de los procesos biotecnológicos más antiguos, podríamos asegurar que llevamos más de cinco milenios de ingerir trehalosa. Debido a su estabilidad y no toxicidad, la trehalosa es un preservador ideal para productos biológicos, tales como vacunas, fármacos, células madre, bebidas, como los alimentos mismos, que mantienen una frescura latente en estado deshidratado y al ser rehidratados no se distinguen de alimentos recién preparados. Es por esto que se considera que la trehalosa será el conservador por excelencia de la industria alimenticia y farmacéutica en los años por venir.

Lamentablemente, la frecuencia e intensidad de las sequías se verán incrementadas con el cambio climático. Además, somos una generación testigo del crecimiento desmedido de la población mundial: el





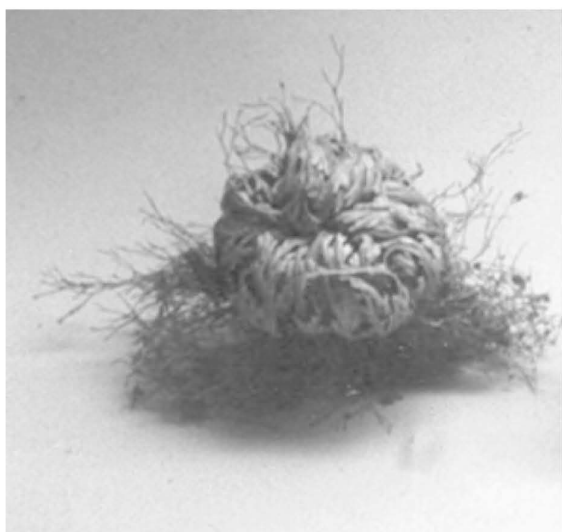
AGUA ESCASA Vista del municipio de Tlaquiltenango, en el sur de Morelos. Foto: Archivo

aumento al doble de los seres humanos. Ante esto, la deforestación no es una alternativa como lo fue durante muchos siglos, el único camino es la mejora de las semillas. Salvo contados ejemplos, las técnicas tradicionales de mejoramiento de las plantas no han sido capaces de incrementar la resistencia a la sequía en los cultivos.

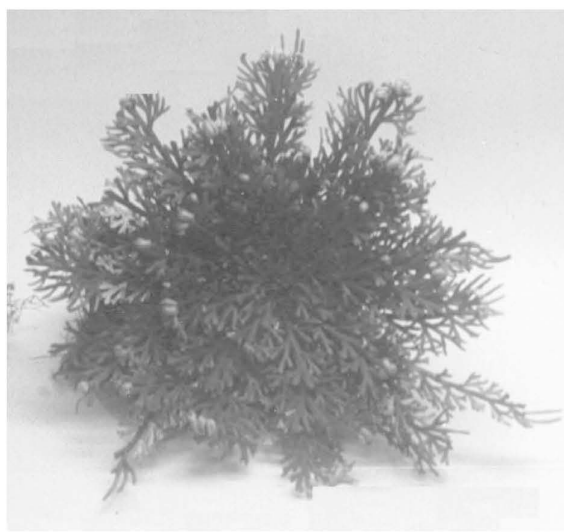
La ingeniería genética aplicada a las plantas se fundamenta en la capacidad de transferir de forma estable, material genético foráneo a los cromosomas de las plantas. De hecho, este proceso lo ha venido realizando el Hombre desde los comienzos de la civilización en el proceso de domesticación de las plantas conocido como agricultura. Hoy en día tenemos maneras más rápidas de transferir ADN a las plantas, por varios métodos de transformación (inserción de ADN) mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y la biobalística. La caracterización de las rutas metabólicas de síntesis de moléculas y la

exploración de los genes relevantes ha permitido el trasplante de los mismos en plantas transgénicas para validar la importancia de la acumulación de estos compuestos en la aclimatación de las plantas al estrés ambiental.

Nuestro grupo de investigación ha estado trabajando tres lustros en dilucidar las bases moleculares y bioquímicas del fenómeno de la “resurrección” utilizando las especies vegetales *Craterostigma plantagineum* de origen africano y *Selaginella lepidophylla* mejor conocida como “doradilla” o “flor de roca” que es autóctona de México. En particular, la síntesis por ingeniería genética de trehalosa en plantas transgénicas nos ha permitido mejorar la tolerancia a la sequía, salinidad, congelamiento y calor en *Arabidopsis*, alfalfa y en frijol, lo cual abre la posibilidad de manipular genéticamente otros cultivos de interés agrícola como el maíz y brindarles de esta forma tolerancia a diferentes tipos de estrés abiótico.



Deshidratada



Rehidratada

La Selaginella lepidophylla es una planta llamada de “resurrección” porque puede permanecer totalmente deshidratada, en vida latente, durante años y “revive” al rehidratarse en unas cuantas horas.

Este artículo fue publicado en La Unión de Morelos el 20 de agosto de 2007, p. 34 y se puede obtener en: <http://www.acmor.org.mx/descargas/20agogenes.pdf>

El piquete de alacrán

Lourival D. Possani

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 1999-2000 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

El incidente causado por el piquete de alacrán es conocido en el medio médico-académico como alacranismo. El alacranismo es un problema de salud pública en México. Basta revisar los datos publicados por la Dirección General Adjunta de Epidemiología de la Secretaría de Salud en los últimos años para los cuales el cómputo general de casos está disponible. En 2005 el número de personas picadas registradas en México fue de 247,976; en 2006 este número subió a 282,598 personas. Este dato se refiere únicamente a las personas que acudieron a los centros médicos y sobre los cuales quedó un registro asentado. Pero es sabido que no todas las personas que han sido picadas se dirigen a los centros hospitalarios y por lo tanto el número reportado es ciertamente un subestimado.

En Morelos los datos epidemiológicos registrados reportan valores del orden de 36,000 personas picadas por año, siendo el Estado de mayor incidencia por habitante del país, si bien en números absolutos está en tercer lugar después de Jalisco y Guerrero. Hay municipios como Tetecala en el cual uno de cada cinco habitantes es picado anualmente por alacrán, seguramente representa la tasa de morbilidad mas elevada del mundo.

México es el país con la mayor biodiversidad de especies de alacranes del planeta. Aquí viven por lo menos 220 de las 1500 especies existentes y conocidas. Felizmente no todas son peligrosas para el humano. En Morelos la especie más abundante de interés médico se llama *Centruroides limpidus limpidus*, comúnmente conocido como “alacrán güero”. Las otras especies peligrosas que afectan a los humanos y que ocurren, no de forma exclusiva, pero preferencial son: *Centruroides noxius* en Nayarit, *Centruroides suffusus suffusus* en Durango, *Centruroides infamatus* en Guanajuato, *Centruroides limpidus tecomanus* en Colima, *Centruroides elegans* en la Costa Pacífica de Jalisco, *Centruroides sculpturatus* en Sonora y Sinaloa. Michoacán también comparte con Guerrero el mismo alacrán *Centruroides limpidus limpidus* de Morelos. De esta forma estas 7 especies son las que causan el problema grave de alacranismo en México. Como se dijo anteriormente, estas especies no se limitan a la demarcación geográfica de los Estados mencionados, pero son ejemplos representativos.

En un mismo Estado puede haber más de una especie peligrosa. Por otro lado, el factor más importante es que desafortunadamente son éstos los alacranes más abundantes, porque se encuentran en las casas, jardines, lugares de trabajo (el campo) en toda el

área geográfica del Centro y Costa del Océano Pacífico de la República. Algunos alacranes no peligrosos para el humano son más difíciles de encontrar. Los alacranes del Golfo de México y Península de Yucatán no ofrecen peligro de vida a los humanos, aunque sean del género *Centruroides*, como ocurre con el *Centruroides gracilis* de Veracruz. También en la Ciudad de México (Pedregal de San Ángel, Ciudad Universitaria) existe el *Vejovis mexicanus*, un alacrán que no presenta riesgo de vida a humanos. Estos dos son en general de color negro, lo que a simple vista permite distinguirlos de los peligrosos, que son amarillentos o color de paja. Además de estos dos datos importantes: distribución geográfica y color del animal, hay otras características que pueden permitir a cualquier persona diferenciar un alacrán peligroso de uno no peligroso. Si observamos con detenimiento los segmentos postabdominales (de la cola) del alacrán, en las especies peligrosas tienen los segmentos alargados en forma cilíndrica, mientras que los no peligrosos suelen tener segmentos cuboidales.

Pero independiente de esos tres factores que pueden ayudarnos en casos de accidentes por picadura de alacrán, lo mejor es acudir prontamente a los servicios médicos. Existe actualmente un anti-veneno (o antiveneno) muy eficaz y seguro, del cual hablaré más abajo. Por ningún motivo debemos recurrir a remedios caseros. Éstos sólo distraen al paciente de una posible cura. Está bien establecido en la literatura médica actual que un individuo picado por alacrán, si recurre a un servicio médico (en el cual hay anti-veneno y se lo aplican) antes de un lapso de dos horas después del piquete, tendrá un pronóstico de sobrevivencia del 100%. Difícilmente una persona que ha sido picada y sea atendida adecuadamente fallece si la atención médica se le brinda en un espacio de tiempo corto después de la picadura.

El uso de té (café, machacados de ajo), y otras recetas caseras son los responsables de los pocos casos de muerte registrados en Morelos en los últimos años. Esto es todavía más significativo si el individuo picado es un niño con menos de dos años de edad (95% de las muertes ocurren en personas de esa edad). Contamos con un par de muertes registradas de pacientes que fueron tratados con remedios caseros durante las primeras horas del accidente, pero como no mejoraban los llevaron al hospital. Los casos de atención médica tardíos, aunque sean tratados con el antiveneno no revierten el cuadro clínico de intoxicación.

Siempre existe un problema adicional, que es el

caso de los centros médicos que por alguna razón no cuentan con el antiveneno específico cuando se presentan los pacientes. En los años 1970 a 1980 se registraban cerca de 700 a 800 muertes anuales por piquete de alacrán en todo el país, cuando los médicos tenían miedo de aplicar el antiveneno existente. Esta cifra, desde 1985 en adelante, ha sido reducida a menos de 70 por año. Una disminución del 90% de los casos fatales, gracias al uso más expandido y de forma inmediata de los excelentes antivenenos con los cuales contamos hoy en día. Dos compañías lo fabrican: Bioclon y Birmex. El antiveneno existente actualmente es eficaz y no produce efectos colaterales. Se llama faboterápico, está registrado por el Instituto Bioclón ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial y aceptado por la Norma Oficial Mexicana.

El faboterápico se produce inicialmente de la misma manera que los sueros de las décadas anteriores, que tanto miedo causaban a los médicos. Se utilizan caballos para su producción, los cuales son inmunizados poco a poco con el veneno de varias especies de alacranes peligrosos. Sin embargo, a diferencia de los sueros anteriores (que eran los sueros tal cual se obtenían de los animales), los sueros actuales son tratados para eliminar las proteínas séricas indeseables, como la albúmina del caballo. Además de ello, los anticuerpos, o inmunoglobulinas, son digeridas con enzimas especiales y purificados de tal forma que solamente los fragmentos llamados F(ab')₂ son los constituyentes mayoritarios del faboterápico. Es un antiveneno producido con alto grado de pureza y calidad, pues está hecho para uso en humanos. Por lo tanto, en los casos de piquete de alacrán hay que recurrir de inmediato a la atención médica (hospitales, centros médicos, Cruz Roja, Seguro Social, etc.) y, cuando se juzgue conveniente por el médico, se debe aplicar al paciente el antiveneno. Una de las marcas disponibles en el mercado se llama "Alacramyn". El Instituto de Biotecnología de la UNAM en el Estado de Morelos cuenta con un grupo de científicos entrenados y calificados que investigan este asunto y han contribuido con el Instituto Bioclón al desarrollo del faboterápico mencionado.

* *Centruroides noxius*



* *Centruroides limpidus limpidus*



* *Centruroides suffusus suffusus*



¡Recuerden! en la época estacional de las lluvias es cuando más accidentes ocurren. ¡No pierdan un minuto! Si son picados por alacrán acudan a la atención médica y no teman al uso del antiveneno Faboterápico.

Naturaleza química de las toxinas del veneno de alacrán

Lourival D. Possani

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro y Presidente 1999-2000 de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Anteriormente escribí un artículo publicado en el periódico La Unión de Morelos (e incluido en este libro) sobre los alacranes y su piquete, en el cual describí la variedad de especies de alacranes peligrosos a los humanos con énfasis en el alacrán de Morelos, el *Centruroides limpidus limpidus*. Ahora quisiera abundar un poco más en el sentido de dar a conocer la naturaleza química de los péptidos tóxicos presentes en el veneno de alacranes y de por qué son capaces de generar trastornos médicos graves en los individuos picados que no recurren a la atención médica en un lapso de no más de dos horas después de la picadura.

La Dirección General de Epidemiología de la Secretaría de Salud reporta en los últimos años un número de accidentes superior a los 250,000 por año (en 2006 fueron 282,598 y en 2007 se registraron 271,440 personas picadas). Los valores reales de accidentes son ciertamente mayores, pues mucha gente picada no acude a los centros médicos hospitalarios y por lo tanto no están incluidos en esta estadística.

Asimismo, gracias al uso de los anti-venenos existentes se ha podido disminuir los casos fatales a menos de 10% de lo que solía ser antes de 1995. En la década de los años 1970 a 1980, anualmente fallecían cerca de 700 a 800 mexicanos debido al piquete de alacrán. Los casos de muerte que todavía ocurren hoy en día son debidos a dos causas principales: por un lado, ignorancia de la población que recurre a remedios caseros en lugar de acudir al hospital para el tratamiento adecuado que consiste en el uso del faboraterápico anti-alacrán, como es el "Alacramyn", uno de los antídotos más eficaces que existen. Por otro lado, las condiciones socio-económicas de las personas que viven apartadas de los centros de atención médica y que toman mucho tiempo en llegar al centro de atención, no tienen los recursos para comprar la medicina o hay falta del anti-veneno en el centro médico u hospital al que acudieron.

El pronóstico de supervivencia de los individuos picados que son tratados en las primeras dos horas después del accidente es de 100 %. Ahora bien, ¿Por qué mueren las personas? El veneno de los alacranes es una mezcla compleja de componentes, principalmente proteicos, que rebasan la cifra de las 250 sustancias distintas para la especie morelense (*Centruroides limpidus limpidus*). De estas, cerca de 30 a 40 son péptidos considerados toxinas o

semejantes a toxinas. Todos son proteínas, esto es, son polímeros de aminoácidos. Las palabras péptido, polipéptido o proteína significan la misma cosa, pues son químicamente de la misma naturaleza. La distinción está en el tamaño de la cadena. Usualmente se usa el término péptido o polipéptido cuando la longitud de la cadena es corta y el término proteína para secuencias más largas. Todos son el producto de la condensación de aminoácidos a través de los llamados enlaces peptídicos. Estos se forman a partir de la reacción de un grupo químico llamado ácido carboxílico con un grupo amino, eliminando una molécula de agua. Todas las proteínas conocidas están compuestas de 20 variedades distintas de aminoácidos. Ellos son como las cuentas de un collar o de un rosario. Cada unidad se pega a la siguiente mediante el enlace peptídico y forma la estructura tridimensional de las proteínas, que es lo que define su función. Sería prácticamente imposible para los bioquímicos estudiar las proteínas si la naturaleza química no fuera semejante. Se estima que existen por lo menos cien mil millones de proteínas diferentes en los seres vivos, y si estas no tuvieran algo en común (los mismos 20 aminoácidos) sería muy difícil su estudio y caracterización.

Los 20 aminoácidos más comunes existentes en las biomoléculas son iguales tanto en las bacterias, las envolturas proteicas de los virus, como el A H1N1, los microorganismos, los hongos, las plantas y todos

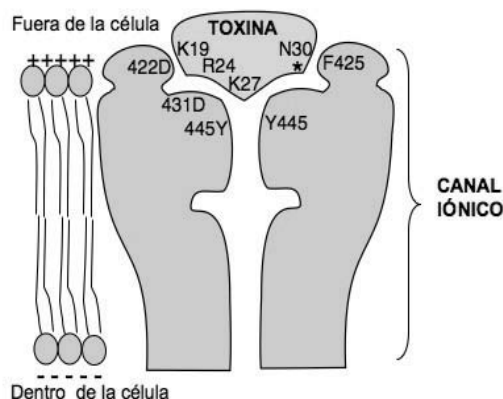
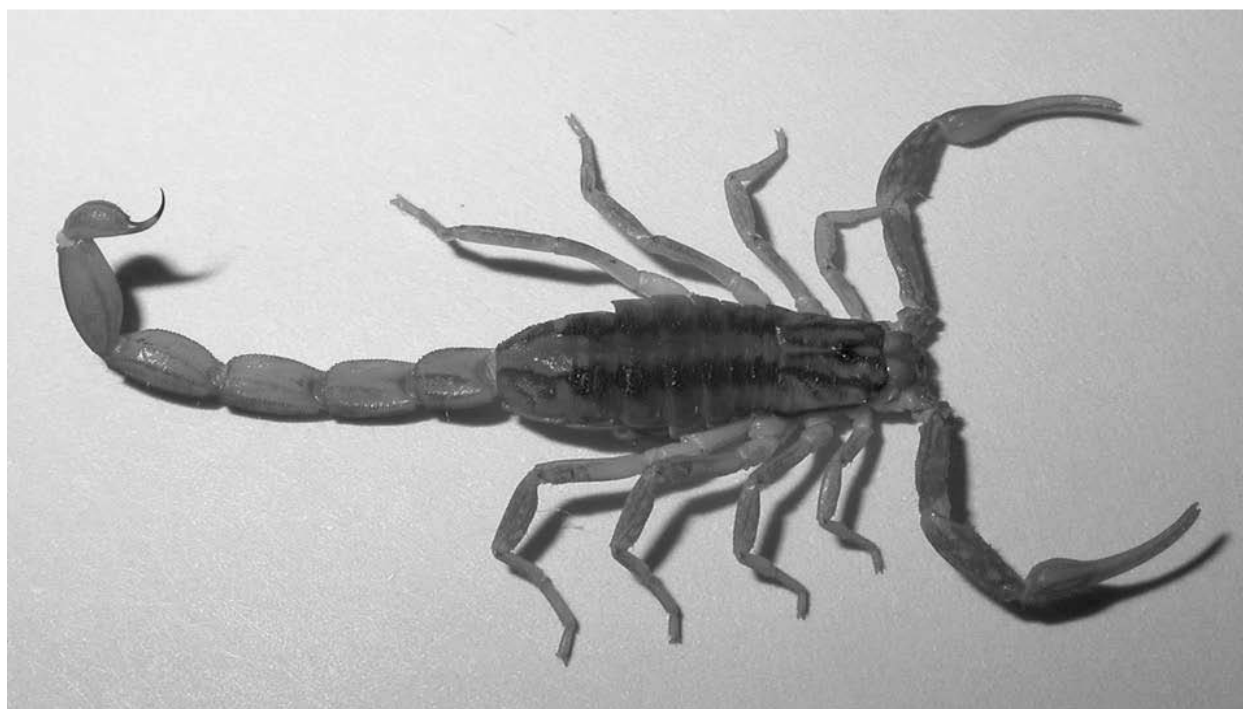


Ilustración esquemática de la interacción de una toxina con un canal iónico

Centruroides limpidus limpidus



los animales, incluyendo el hombre y el alacrán. Lo que varía es el número total de aminoácidos, el tipo de aminoácidos y la secuencia que ocupan en el polímero. Del arreglo variado de los aminoácidos depende que el producto sea una toxina de alacrán, una toxina de bacteria patógena o un anticuerpo que es capaz de proteger en contra del efecto dañino de toxinas. En el caso de las toxinas del veneno de alacranes, hay dos tipos principales de moléculas: unas compuestas por cerca de 40 y otras de alrededor de 65 aminoácidos. El efecto fisiológico causado por estos péptidos tóxicos es cambiar la polaridad de las células, esto es, causan una despolarización anómala de las células excitables, principalmente músculo y nervio, impidiendo la comunicación adecuada entre las células. El blanco hacia adonde apuntan las toxinas se conoce por el nombre de canales iónicos. Estos son proteínas 10 a 20 veces mayores que las toxinas de alacrán y se sitúan en la membrana externa de las células, donde controlan la apertura y cierre de poros iónicos que permiten a los iones sodio, potasio, calcio y cloro pasar de un lado a otro de la membrana. El intercambio de los iones mantiene una cierta polaridad (diferencia de potencial) en las membranas celulares y permite, a través de los potenciales de acción, mandar mensajes a las terminales nerviosas. De esta forma, la acción de las toxinas cortas es bloquear los canales iónicos de potasio y la de las toxinas largas (65 aminoácidos) modificar la cinética de apertura y cierre del canal. Esto causa un desarreglo de las funciones de comunicación de las células. Los efectos sintomáticos en los pacientes bajo el efecto de estas toxinas es

aumentar las secreciones de las mucosas (lagrimeo, salivación), sensación de “pelos” en la garganta, hormigueo, parálisis parcial, distensión abdominal, movimientos oculares incontrolables, dificultad para respirar, modificación del tono cardíaco, pudiendo causar edema pulmonar, que es una de las causas de muerte más frecuentes.

Cabe hacer notar que no todas las especies de alacranes son peligrosas a los humanos, y que si el antídoto es aplicado prontamente después del piquete, los síntomas de envenenamiento desaparecen y el individuo se salva. La pregunta que sigue es: ¿Por qué se pueden salvar los individuos picados por alacrán venenoso? Esto se debe a que se usan anticuerpos (inmunoglobulinas) de caballos hiper-inmunizados, los cuales reconocen las toxinas del alacrán y como tienen alta afinidad forman un complejo con las toxinas y los eliminan de la circulación, impidiendo de esta forma que las toxinas lleguen a su blanco, que son los canales iónicos. De ahí la necesidad de acudir al tratamiento adecuado, es decir, el uso de los anticuerpos específicos, como se ha mencionado.

Queridos lectores, si son picados por un alacrán, no dejen de acudir de inmediato a los centros médicos después de la picadura. Recuerden que los remedios caseros no sirven y ponen en peligro la vida de las personas, sobretodo de los niños. Más de 90% de los accidentes fatales ocurren con niños menores de 2 años de edad. La sugerencia es tener en casa, en el refrigerador, una ampollita del anti-veneno, como el “Alacramyn” y llevarla junto con el paciente al médico para que se le aplique, si éste juzga que es necesario.

La próxima generación de anti-venenos contra la picadura de alacrán: anticuerpos producidos en el laboratorio

Baltazar Becerril Luján

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Los venenos de alacranes son una mezcla compleja de sustancias, muchas de las cuales no son tóxicas a los humanos. Los componentes tóxicos son principalmente proteínas, es decir mega moléculas constituidas por unidades menores llamadas aminoácidos. Las proteínas se encuentran en todos los organismos y son responsables del adecuado funcionamiento de cada célula. Las principales toxinas causantes del envenenamiento, tienen un tamaño aproximado de 66 aminoácidos. Debido a su relativamente pequeña talla, se distribuyen rápidamente a través del torrente sanguíneo llegando a sus moléculas blanco, los llamados canales iónicos. Estos poros moleculares permiten el paso de átomos cargados como el ión sodio (Na^+). De las cantidades óptimas de este ión dentro y fuera de las células, depende el buen funcionamiento de las mismas. Las toxinas del veneno afectan la actividad de los canales iónicos causando un desequilibrio que trae como consecuencia una serie de síntomas de intoxicación, los cuales pueden llegar a causar la muerte. La neutralización de las toxinas debe ocurrir en el menor tiempo posible, para evitar la muerte del paciente intoxicado.

Desde hace aproximadamente 100 años, se usaban ya los anti-venenos (PRIMERA GENERACIÓN), los cuales se obtenían al inyectar extractos de veneno en caballos, los cuales producen anticuerpos contra los componentes del veneno. Esta generación de anti-venenos estaba constituida por el suero de la sangre de los caballos inmunizados. Una vez separado el suero de las células de la sangre, era desecado y así aplicado a los pacientes, previa valoración de su efectividad. Esta generación de anti-venenos, provocaba hipersensibilidad en algunos de los pacientes tratados, asumiendo que era debida a la presencia en el suero, de altas cantidades de proteínas distintas a los anticuerpos (Igs, inmunoglobulinas).

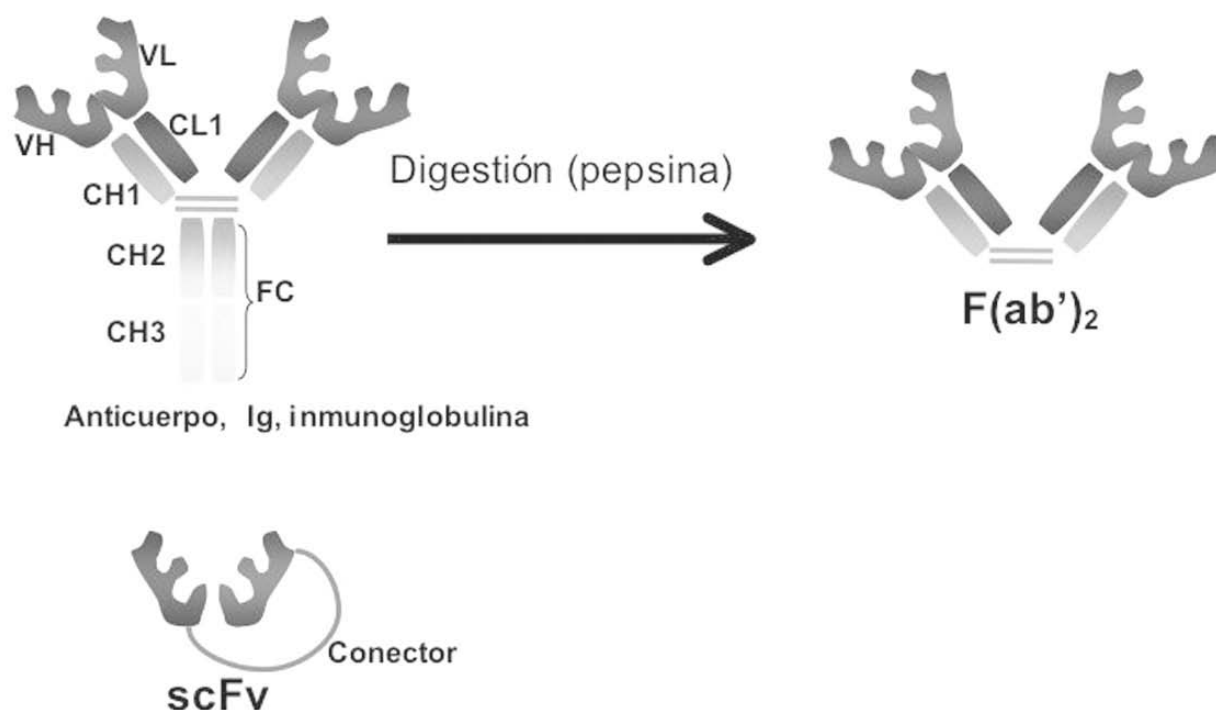
Ante esta situación, los científicos se vieron obligados a mejorar los anti-venenos de primera generación, creando la SEGUNDA GENERACIÓN, considerando que si el problema era la presencia de grandes cantidad de proteínas distintas a los anticuerpos, tendría que eliminarse del suero todo lo que no fuera inmunoglobulinas. Sin embargo, a pesar de inyectar ahora inmunoglobulinas puras,

las consecuencias seguían siendo similares a las de la primera generación, lo cual los orilló a realizar investigaciones que les ayudaron a determinar cuál era el problema. Así, se eliminaron varios segmentos de los anticuerpos, demostrando que el “fragmento cristalizable” (Fc , ver figura), era el causante del problema.

Este esfuerzo dio lugar a la TERCERA GENERACIÓN de anti-venenos (vigente en la actualidad), conocida como faboterápicos, una mezcla de F(ab')_2 de caballo (ver figura), es decir, Igs carentes del fragmento Fc dirigidos contra todos los componentes del veneno (incluyendo componentes no tóxicos).

Para lograr la neutralización de las toxinas en los pacientes envenenados, se administra una cantidad considerable de anti-veneno, lo cual implica introducir altas concentraciones de anticuerpos de caballo al humano. Pensando en el mejoramiento de la terapia actual se decidió crear un nuevo anti-veneno más específico y seguro. Este último iría dirigido exclusivamente contra las toxinas más abundantes y tóxicas de las especies más ponzoñosas de alacranes mexicanos.

Un anticuerpo completo (Ig, ver figura) es una molécula de tamaño considerable (150,00 unidades de peso molecular) y de estructura modular, es decir, formada por dos tipos de proteínas llamadas cadena pesada y cadena ligera, por su tamaño relativo (ver figura). A su vez, cada cadena está conformada por al menos dos segmentos: una región variable (VH para referirse a la cadena pesada; VL para la ligera) y una región constante. La interacción de las regiones variables entre sí, permite la formación del sitio de acoplamiento a su molécula blanco, el antígeno, que en nuestro caso son las toxinas del veneno. Basado en este conocimiento de la estructura modular de los anticuerpos, decidimos producir en el laboratorio sólo el segmento variable de cada cadena (VH+VL), unidos por un segmento conector (scFv, ver figura). Se denominan anticuerpos recombinantes de origen humano a los anticuerpos fabricados en el laboratorio por técnicas de biología molecular a partir de material genético humano y usando bacterias como las fábricas moleculares. Esta versión moderna de los anticuerpos,



Diferentes formatos de anticuerpos. **Ig**, anticuerpo completo; **F(ab')₂**, producto de la eliminación del fragmento **Fc** con la enzima pepsina; **scFv**, anticuerpo de cadena sencilla; **VH**, región variable de la cadena pesada; **VL**, región variable de la cadena ligera; **CL1**, región constante de la cadena ligera; **CH1-3**, regiones constantes de la cadena pesada.

en la cual solamente está presente la parte funcional de los anticuerpos de origen humano, reduce al mínimo la posibilidad de reacciones adversas posteriores a la administración del mismo.

El scFv (ver figura), mantiene la capacidad de reconocimiento al antígeno, similar a la de un anticuerpo completo, pero es más fácil de manipular. Este formato tendría varias ventajas frente a los anticuerpos completos debido a que tiene una más rápida distribución en el organismo, y también una mayor eliminación de las toxinas capturadas. Como

el envenenamiento se produce muy rápido, la rápida llegada de este formato de anticuerpos a los canales iónicos, evita que las toxinas se peguen, evitando así el envenenamiento. Actualmente contamos con un conjunto de anticuerpos tipo scFv que son capaces de neutralizar las principales toxinas y los venenos de dos de las tres especies más tóxicas y que causan el mayor número de accidentes en México: *Centruroides noxius*, *Centruroides suffusus suffusus* y de la tercera, *Centruroides limpidus limpidus*, estamos (año 2010) en vías de lograrlo.

Los repertorios de anticuerpos recombinantes: una fuente inagotable de agentes terapéuticos y de diagnóstico

Baltazar Becerril Luján

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

Lidia Riaño

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Los anticuerpos, también conocidos como inmunoglobulinas, son proteínas que han sido diseñadas por la naturaleza para identificar y neutralizar elementos extraños al organismo tales como bacterias, virus y parásitos, entre otros.

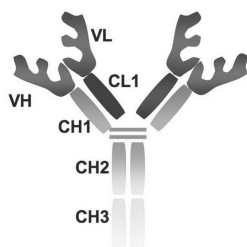
En general, las moléculas que son reconocidas por los anticuerpos se denominan antígenos. Un anticuerpo es una molécula de tamaño considerable (150,00 unidades de peso molecular) y de estructura modular, es decir, formada por dos tipos de proteínas llamadas “cadena pesada” y “cadena ligera”, por su tamaño relativo. A su vez, cada cadena está conformada por

al menos dos segmentos: una región variable (VH para referirse a la cadena pesada; VL para la ligera) y una región constante que para el caso de la cadena ligera posee un solo módulo constante, mientras que la cadena pesada tiene tres (ver figura 1).

Con base en este conocimiento de la estructura modular de los anticuerpos, y sabiendo que las regiones variables (VH y VL) al unirse una a la otra se encargan del reconocimiento de los agentes extraños, en el laboratorio podemos construir anticuerpos que sólo estén conformados por el segmento variable de cada cadena (VH+VL), unidos por un segmento conector (scFv, por sus iniciales en inglés “single chain Fv” que significa cadena única de segmentos variables; ver figura 1). Tratándose de anticuerpos obtenidos en el laboratorio por técnicas de biología molecular a partir de material genético humano y usando bacterias como las fábricas productoras, se les denomina anticuerpos recombinantes de origen humano.

De esta manera, cuando se cuenta con la colección de todos los posibles anticuerpos presentes en un organismo, en este caso de humano, se dice que se trata de una biblioteca o repertorio de anticuerpos recombinantes humanos. Para construir dicha biblioteca, es necesario insertar la colección de genes de los scFvs en un sistema biológico que permita aislar un anticuerpo específico para cada uno de los antígenos usados.

El sistema biológico más utilizado para estos fines son los virus de tipo “filamentoso” que infectan bacterias (microscópicamente parecidos a un pedazo de varilla), denominados fagos filamentosos. Estos virus bacterianos se pueden manipular de tal manera que se puede insertar en su material genético el repertorio de genes que permiten producir los diferentes scFvs. Esta manipulación, permite unir los scFvs a una proteína del virus que se ubica en la superficie del mismo y técnicamente a todo este proceso se le llama despliegue en fagos. Cada virus llevará expuesto un solo tipo de scFv. En este sentido, a cada virus de la biblioteca se le considera como un



Anticuerpo completo o Inmunoglobulina (Ig)



scFv; “single chain Fv” o anticuerpo de cadena única

Figura 1. Diferentes formatos de anticuerpos. Ig, anticuerpo completo; scFv, anticuerpo de cadena sencilla. VH, región variable de la cadena pesada; VL, región variable de la cadena ligera; CL1 región constante de la cadena ligera; CH1-3, regiones constantes de la cadena pesada.

AISLAMIENTO DE ANTICUERPOS

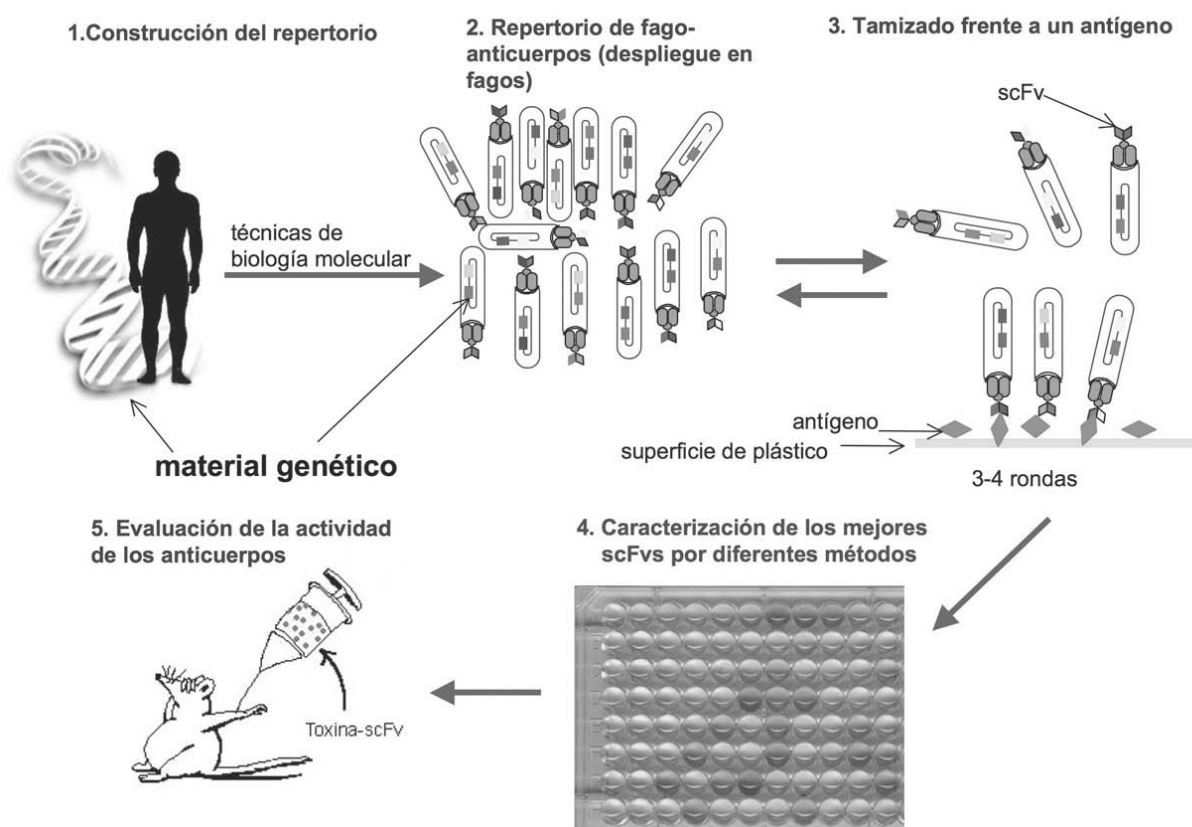


Figura 2. Esquema del proceso de aislamiento de anticuerpos.

“fago-anticuerpo” y a la colección completa de fago-anticuerpos, como ya se mencionó, se le considera una biblioteca o repertorio de anticuerpos recombinantes.

Al estar expuestos los scFvs en la superficie del virus, pueden unirse a su antígeno correspondiente. Para aislar un anticuerpo específico, se hace interaccionar la biblioteca con un antígeno determinado, previamente pegado a las paredes internas de un tubo de plástico (ver figura 2). Todos aquellos anticuerpos que no se pegan al antígeno, son eliminados por lavados repetidos del interior del tubo. Aquellos que se quedaron pegados son recuperados para infectar bacterias. Un tiempo después de la infección se recuperan los fago-anticuerpos para someterlos a una nueva ronda de pegado al antígeno. Al final de tres a cuatro rondas de pegado, lavado y recuperación de los fago-anticuerpos, se logra aislar aquellos que interaccionan fuertemente con su antígeno. El mejor anticuerpo será aquel que después de ser evaluado por las técnicas que permiten medir la “fuerza” con la que se une a su antígeno, sea el más “fuerte” para pegarse (ver figura 2).

La identidad del anticuerpo “ganador” se puede conocer al determinar la correspondiente identidad de su material genético por técnicas de secuenciación

de ADN (ácidos nucleicos o material genético). En nuestro laboratorio contamos con un repertorio de origen humano que contiene cerca de 100 millones de anticuerpos diferentes. Este número de anticuerpos se logró obtener combinando aproximadamente 10,000 segmentos VH diferentes con 10,000 segmentos VL igualmente diferentes. De este repertorio se han aislado anticuerpos que neutralizan venenos de alacrán (ver artículo previo en este libro).

Estamos por terminar de construir (2010) una biblioteca que contendrá más de mil millones de anticuerpos humanos diferentes. Los anticuerpos aislados de la manera descrita pueden ser utilizados como agentes terapéuticos (para curar enfermedades) o para diagnosticarlas. Todo esto significa que se estaría en capacidad de aislar anticuerpos específicos para millones de antígenos distintos.

Actualmente (2010) la agencia de los Estados Unidos de Norteamérica que otorga los permisos para el uso de fármacos (drogas) y alimentos (FDA, *Food and Drug Administration*, equivalente a nuestra Secretaría de Salud), revela que aproximadamente el 30% de los compuestos aprobados o por aprobarse son anticuerpos. Esto habla por sí solo de la importancia actual de los anticuerpos.

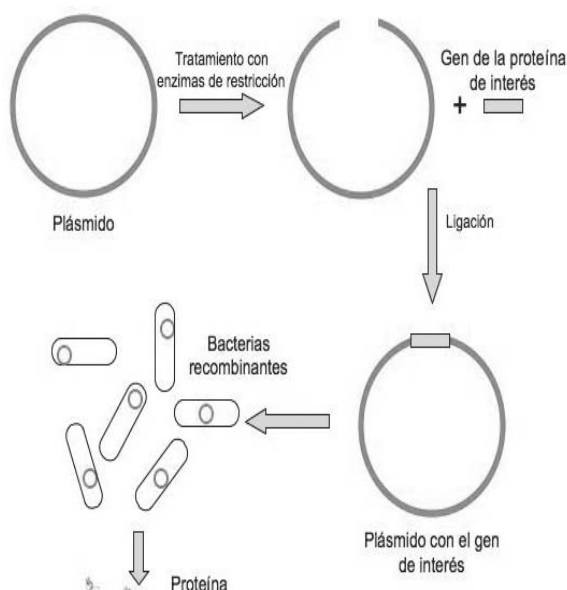
Las proteínas recombinantes: nuestras aliadas en la salud

Laura A. Palomares

Octavio Tonatiuh Ramírez,

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembros de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

En nuestro cuerpo existen una gran cantidad de proteínas, las que constituyen aproximadamente el 45 % de nuestro cuerpo (descontando el agua). Algunas de ellas, como son las proteínas musculares, forman parte esencial de la estructura de nuestro cuerpo. Otras realizan una gran cantidad de funciones, entre ellas está la regulación de nuestro crecimiento, de nuestra actividad metabólica, transporte de oxígeno, reparación de tejidos, e incluso la protección contra virus y bacterias patógenas. Una gran cantidad de padecimientos son provocados por la falta de la actividad de alguna proteína, como es el caso de la diabetes, la anemia crónica, inmunodeficiencias congénitas, hemofilia, o retrasos en el crecimiento.

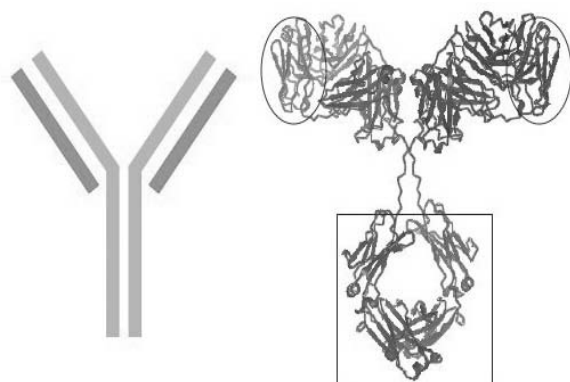


Producción de una proteína recombinante. Para producir una proteína recombinante es necesario contar con un plásmido capaz de recibir el gen de interés y que cuente con los elementos necesarios para su replicación y mantenimiento en la célula huésped y para la producción de la proteína recombinante. Este plásmido es tratado con enzimas de restricción, las que lo cortan en un sitio específico en el que se insertará el gen de la proteína de interés. Se utilizan otras enzimas denominadas ligasas para cerrar el plásmido. El plásmido que contiene el gen de interés es introducido a la célula huésped por métodos químicos o físicos. Esta célula entonces produce la proteína de interés con la maquinaria biosintética que utiliza para producir sus propias proteínas. Se presenta un esquema en el que los diferentes elementos no están a escala.

Esto fue reconocido por los científicos hace mucho tiempo, cuando se descubrió que la deficiencia de proteínas como la hormona de crecimiento o la insulina provocan enanismo o diabetes, respectivamente. El primer intento terapéutico para resolver estas enfermedades fue el recuperar estas proteínas de órganos de animales y humanos. En el primer caso, las proteínas obtenidas no son idénticas a las humanas, y en ambos casos sólo se obtenía una muy baja cantidad de proteína a costos extraordinariamente altos. En consecuencia, no era posible contar con la calidad ni cantidad de material suficiente para tratar las enfermedades. Además, estas fuentes presentan riesgos importantes, como la presencia de proteínas y virus contaminantes que pueden poner en riesgo la salud del paciente.

El descubrimiento de que el ADN contiene la información necesaria para la síntesis de proteínas abrió la posibilidad de producir proteínas muy similares a las humanas en microorganismos sencillos, como bacterias y levaduras, pero sin los problemas y riesgos de otras fuentes. El procedimiento consiste en introducir el ADN que contiene la información correspondiente a una proteína humana en particular en células del microorganismo productor. Esto se hace utilizando un plásmido, que es un pedazo de ADN circular que puede transferirse de un organismo a otro y que contiene varios elementos necesarios para su permanencia en la célula y la producción de la proteína de interés. De esta forma, el microorganismo produce la proteína humana, además de sus proteínas, convirtiéndose en una “fabrica celular”. Las proteínas producidas de esta forma son llamadas proteínas recombinantes.

La primera proteína recombinante aprobada para ser utilizada como medicamento en humanos fue la insulina, en 1982. Antes de estar disponible mundialmente la insulina recombinante, la diabetes se trataba con insulina extraída de páncreas de cerdos o bovinos, la que no es idéntica a la humana, lo que puede resultar en rechazo o neutralización de la proteína y una deficiente acción terapéutica. Además, la extracción de tejido animal puede resultar en contaminación con virus u otras sustancias indeseables. El uso de la insulina humana recombinante evita estos problemas. Actualmente (2010) el mercado mundial de la insulina recombinante es de alrededor de 7,000 millones de dólares al año.



Esquema de un anticuerpo. Del lado izquierdo se muestran las cuatro proteínas que conforman un anticuerpo, dos pequeñas iguales (barras oscuras rectas) y dos grandes iguales (barras claras plegadas). Estas proteínas se pliegan en la estructura que se muestra a la derecha. Se indican los sitios de unión al antígeno (óvalos) y el sitio con función efectora (cuadrado). Para la producción de un anticuerpo monoclonal recombinante se producen simultáneamente las dos proteínas (pequeña y grande). Las células más utilizadas para esto son de ovario de hámster chino.

Otro ejemplo es la hormona de crecimiento humana, la que anteriormente se recuperaba de cadáveres humanos y actualmente se produce de forma recombinante en bacterias, células de animales o levaduras. Un ejemplo interesante es el Factor VIII, el que es un factor esencial en la cascada de coagulación de la sangre, y que es deficiente en algunos pacientes hemofílicos. La extracción del Factor VIII de sangre humana y su uso para tratar la hemofilia antes de los 1990s resultó en la transmisión del virus de la inmunodeficiencia humana, o los virus de hepatitis B o C a muchos pacientes hemofílicos. La producción recombinante del Factor VIII permitió el tratamiento de la hemofilia sin correr riesgos de transmisión de enfermedades.

Desde 1982, se han aprobado (hasta el momento de escribir este artículo, a principios de 2010) más de 130 medicamentos basados en proteínas recombinantes, los que incluyen factores de coagulación para tratar la hemofilia, vacunas contra la hepatitis B y el virus de papiloma humano, anticoagulantes, hormonas (insulina, hormona de crecimiento, etc.), factores hematopoyéticos (que promueven la proliferación de células sanguíneas) para tratar anemias o neutropenias, interferones e interleucinas para tratar enfermedades infecciosas, artritis reumatoide, cáncer y esclerosis múltiple, entre otros. Muchas de las proteínas recombinantes usadas como medicamentos no existen en la naturaleza, sino que han sido creadas en los laboratorios para poseer más de una función. Recientemente han adquirido especial importancia los anticuerpos monoclonales recombinantes. Los anticuerpos forman parte del sistema de defensa de nuestro cuerpo. Son proteínas producidas por

el sistema inmune cuando detecta alguna sustancia dañina, como virus, bacterias, hongos, parásitos o algunos químicos. Los anticuerpos tienen una región que une específicamente a la sustancia dañina (antígeno), y otra región que desencadena respuestas adicionales del sistema inmune. Con el fin de aprovechar las propiedades de los anticuerpos para el tratamiento de enfermedades, se han producido anticuerpos recombinantes a partir de un anticuerpo específico que reconoce una sustancia en particular. Como se produce un sólo anticuerpo, se les llama anticuerpos monoclonales recombinantes. Algunos anticuerpos monoclonales recombinantes producen una respuesta inmune en nuestro organismo, mientras que otros neutralizan la acción de alguna molécula al unirse a ella. Los anticuerpos monoclonales se han utilizado para diagnóstico, para el tratamiento de cáncer, asma, y la artritis reumatoide, y para prevenir el rechazo de órganos transplantados, entre otras aplicaciones. Actualmente (2010), un anticuerpo monoclonal, *Etanercept*, es el medicamento recombinante con mayor mercado en Estados Unidos, con ventas de aproximadamente 4,500 millones de dólares al año. El *Etanercept* se utiliza para tratar enfermedades autoinmunes al bloquear al factor de necrosis tumoral (TNF), molécula responsable de la respuesta inflamatoria. Es una proteína que no existe en la naturaleza, y que se generó al pegar dos segmentos de proteínas con funciones diferentes. Por un lado, contiene el receptor del TNF, el que le permite bloquear la respuesta inflamatoria, y por otro una porción de anticuerpo humano recombinante que le permite a la proteína permanecer por tiempos largos en el torrente sanguíneo. El *Etanercept* es un inmunodepresor que se utiliza para tratar la artritis reumatoide, la artritis juvenil y otras enfermedades similares. Existen nuevos medicamentos en desarrollo basados en anticuerpos monoclonales recombinantes, como es el caso de un anticuerpo recombinante que está en pruebas clínicas (2010) para ser aprobado para el tratamiento de osteoporosis, pérdida de hueso y cáncer de hueso, entre otros. Se trata de un anticuerpo que bloquea un factor de remoción de hueso.

Millones de pacientes se han beneficiado con los nuevos medicamentos basados en proteínas recombinantes, muchos de ellos padecían enfermedades para las que no existía tratamiento hasta la aplicación de esta nueva tecnología. Además, la posibilidad de obtener grandes cantidades de proteínas humanas de forma recombinante ha permitido importantes avances en el área de la investigación, que se han traducido en muchos casos en los medicamentos que actualmente están en el mercado. Las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante discutidas aquí son sólo algunos ejemplos de los beneficios que la tecnología del ADN recombinante ha aportado a la humanidad.

“Alien”: la realidad supera a la ciencia-ficción

Alejandro Alagón Cano

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Hace casi 30 años se estrenó una película de ciencia-ficción y suspenso que fue un éxito taquillero: “Alien: el octavo pasajero”. En su viaje de regreso a la Tierra, la nave espacial Nostromo, con sus siete tripulantes, se desvía y desciende, siguiendo una señal insistente, en una luna de un planeta desconocido, gigante, nebuloso y anillado. Tres tripulantes bajan de la nave en busca de la fuente de la señal; uno de ellos es atacado por una extraña criatura en forma de araña con cola –un “facehugger”– y es atendido en la enfermería de la nave, aparentemente sin mayores consecuencias. En el viaje de regreso, del vientre del tripulante atacado por el “facehugger” surge bruscamente otra criatura, el “Alien”, mucho más horrible que el “facehugger” que asesina a otros tripulantes hasta que la heroína de la película, la hermosísima Sigourney Weaver, la destruye. En la segunda película, de un total de cuatro, nos enteramos de que el “facehugger” no es más que un intermediario entre la Reina de los Aliens y las víctimas a las que deposita un huevo en su tubo digestivo. Del huevo sale un pequeño Alien que, alimentándose de las entrañas de la víctima, crece y se desarrolla hasta salir violentamente del cuerpo que lo nutrió, matándolo instantáneamente.

Yo me dedico a estudiar venenos de bichos. Un día de octubre del 2001, mi colega y amigo, George V. Odell (1926-2006), llevó al laboratorio nueve orugas de mariposa; eran unas orugas enormes, coloridas y con unas espinas muy fuertes y bien desarrolladas. Me pidió ayuda para extraer el veneno urticante de

las mismas. Lo que se me ocurrió fue congelarlas en nitrógeno líquido de manera tal que las espinas se desprendieron con facilidad dándoles pequeños golpes. Guardé una oruga en un frasco de Nescafé con agujeros en la tapa para que formara su crisálida y, supuestamente, al cabo de unos meses, saliera la mariposa y pudiésemos, así, identificar la especie. Me llevé el frasco a la biblioteca de mi casa y lo puse enfrente del lugar donde trabajo cuando no estoy en el laboratorio. La oruga tejó su crisálida y dentro de ella se transformó en pupa; todo era cuestión de tiempo y la paciencia correspondiente. Tres semanas después me pareció ver que algo se movía en el frasco y, sí, había una gran actividad pero no de una mariposa sino de unas larvas blanquecinas y rechonchas que se desplazaban torpemente alargando y acortando su cuerpo. A la mañana siguiente, los movimientos habían cesado: las larvas habían formado, a su vez, pupas cilíndricas como de un centímetro de largo de color café claro; en la noche, abrí el frasco y conté once pupas, ahora ya, de color café muy oscuro. Diez días después, de manera casi simultánea, salían once moscas, como del doble o triple de tamaño de las moscas comunes, de ojos rojos, “piés” amarillos y bandas circulares, de color amarillo intenso, en el abdomen. Lo que había visto durante todos esos días eran Aliens de verdad, lo que en biología se conocen como parasitoides. ¿Cómo llegaron los huevos de las moscas adentro del cuerpo de la oruga que había traído George? Hace unos años les hubiera dicho que buscando en los libros se encuentra la respuesta. Pues





no, me fuí a Internet y encontré la respuesta: las moscas parasitoides pueden oler –detectar señales químicas– a las orugas; una vez detectadas, y sin necesidad de un “facehugger” a la Hollywood, depositan sus huevecillos en la hoja de la que se está alimentando la oruga y, ésta, los engulle sin darse cuenta.

Formalicemos, no hay de otra, los conceptos. Los parasitoides son insectos cuyas larvas se alimentan de los cuerpos de otros insectos y, en menor número, de arañas y ciempiés. Los insectos parasitoides constituyen entre el 20 y el 25% de todos los insectos (¡qué bueno que los políticos y gobernantes no saben biología!, aunque, en realidad, funcionan más como parásitos, es decir, no nos matan, nos mantienen vivos, lo suficiente para que sigamos engordándolos). La mayoría de los insectos parasitoides son avispas o moscas y, juegan un papel importantísimo en la naturaleza al ayudar a mantener las redes de los

organismos vivos en equilibrios funcionales. De hecho, se emplea un gran número avispas parasitoides para el control biológico de muchos insectos dañinos de cultivos importantes y de moscas nocivas; para muestra basta un botón, en nuestro Estado se ha logrado controlar al gusano barrenador de la caña de azúcar usando avispas tricograma (<http://www.oem.com.mx/elsoldecuautila/notas/n162304.htm>).

Para terminar, tuvimos que esperar dos años para conseguir más orugas espinosas y lograr que unas pocas, pues la mayoría tenían moscas parasitoides, llegaran a mariposas. Con ayuda de un lepidopterólogo (un experto en mariposas) pudimos saber, finalmente, que se trataba de la mariposa nocturna, o palomilla, *Automeris meztli*. El veneno de sus espinas, en su etapa de oruga, contiene dos proteasas (enzimas que digieren proteínas) que hacen que la piel que las toca duela y se inflame.

Biotecnología para domesticar virus

Germán Plascencia-Villa

Estudiante de Doctorado, Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

Laura A. Palomares

Octavio Tonatíuh Ramírez

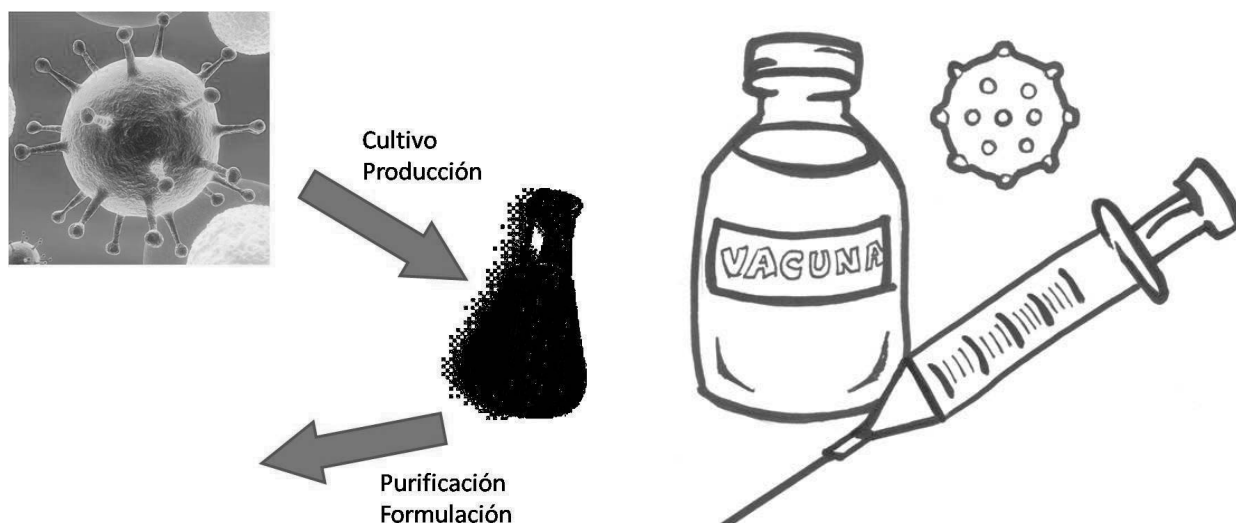
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembros de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

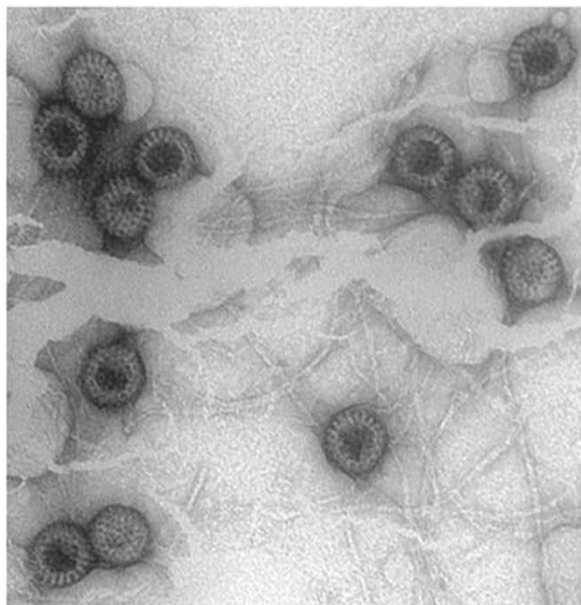
Cuando escuchamos la palabra VIRUS, ¿qué es lo primero que viene a nuestra mente? Indudablemente es enfermedad, ya que la asociamos como sinónimo de los diferentes padecimientos que estos agentes pueden causar, como por ejemplo una simple gripe, el sarampión, viruela, papiloma, hepatitis, hasta la temida influenza, el VIH (SIDA) o algunos tipos de cáncer. Pero vale la pena reflexionar un poco en algunas aplicaciones y usos benéficos que podemos darles a los virus si sabemos cómo domesticarlos y algunas de las lecciones que podemos aprender de ellos para desarrollar nuevas tecnologías en beneficio del ser humano y del medio ambiente. Durante millones de años los virus han evolucionado y se han adaptado a las más inverosímiles condiciones y ambientes extremos. Diferentes tipos de virus son capaces de infectar plantas (fitopatógenos), insectos (p. ej. baculovirus), animales e incluso levaduras y bacterias (bacteriófagos), además de ser capaces de habitar en géiseres a temperaturas muy elevadas o en el fondo de los océanos y en la Antártida, pero además han desarrollado una gran especificidad por el tipo de organismos, órganos y tejidos que infectan.

Todos estamos familiarizados con los virus, basta revisar la cartilla de vacunación de un niño y veremos que actualmente somos capaces de producir

diferentes VACUNAS para protegernos contra las enfermedades que nos causan muchos virus. Entre ellas la hepatitis B, rotavirus, influenza, sarampión, rubéola, parotiditis (paperas) y poliomielitis. El mejor tratamiento contra las enfermedades virales es la prevención y el diagnóstico oportuno. Pero ¿cómo es que se producen estos tratamientos? Ni más ni menos que gracias a la BIOTECNOLOGÍA, ya que se han desarrollado procesos seguros para inactivar los virus (tratamientos químicos para evitar que sean patógenos) o generar variedades atenuadas no infectivas pero que conservan su capacidad de generar respuesta inmune. Recientemente por medio de la ingeniería genética se han podido producir partículas pseudovirales (que poseen la estructura idéntica a los virus, pero sin el material genético y por lo tanto no son infectivas) que al administrarse como vacuna generarán en el organismo una respuesta inmune específica que protege en caso de estar expuesto a los virus patógenos.

Una vez que han sido identificados algunos de los componentes del virus que son reconocidos por el sistema inmune, éstos se utilizan para producir vacunas y sistemas de diagnóstico. Pero para lograr producir todas las dosis necesarias para la administración en humanos o a nivel veterinario, debemos primero





desarrollar PROCESOS BIOTECNOLÓGICOS muy eficientes en los cuales mediante diferentes etapas de producción (fermentación y cultivo celular en biorreactores), purificación, formulación, transporte y almacenamiento, se generan productos de la más alta calidad para asegurar que la vacuna funcione y sea segura.

Adicionalmente, al conocer detalladamente la composición y estructura de los virus podemos desarrollar sistemas de DIAGNÓSTICO rápido para poder saber en pocos minutos cuándo algún paciente ha contraído alguna enfermedad viral y poder administrar el tratamiento adecuado lo antes posible. Los medicamentos antivirales reconocen específicamente algunos de los componentes de los virus para inhibir su replicación dentro de las células infectadas, evitando que se produzcan nuevas copias de los virus. Por ejemplo, existen tratamientos contra el herpes zóster, el VIH y algunos virus que causan hepatitis.

La cápside de los virus es la capa exterior que funciona como un escudo para contener y proteger su

material genético y en ocasiones algunas proteínas; pero además tiene en ella información que le ayuda en el proceso de infección, ya que es capaz de reconocer el organismo, el tejido y tipo celular en el cual realizará el proceso de replicación. Podemos comparar los virus con misiles teledirigidos, pero del tamaño de pocos nanómetros (1 nanómetro = 1 mil millonésima parte de un metro!!!). Tomando ventaja de esto, ¿qué pasaría si la cápside en lugar de llevar dentro el material genético viral pudiera contener compuestos benéficos? El resultado es que tenemos un sistema muy eficiente para poder entregar medicamentos, compuestos anticancerígenos e inclusive ADN diseñado para reparar algún defecto dentro de las células, por medio de TERAPIA GÉNICA. De esta forma se han logrado desarrollar nuevos y prometedores tratamientos basados en vectores o vehículos virales para tratar pacientes con talasemia (enfermedad que se caracteriza por defectos en la síntesis de hemoglobina), fibrosis quística y cáncer de mama. Por ejemplo, estos vectores virales al ser inyectados en el paciente reconocen específicamente a las células cancerígenas, logrando identificar oportunamente dónde se localiza el tumor y posteriormente al entrar en estas células los virus liberan compuestos anticancerígenos, evitando que continúen su propagación. Lo anterior tiene la ventaja de que, al ser un tratamiento específico, los efectos secundarios y el número de las dosis y el costo del tratamiento se minimizan para que los pacientes se recuperen en un menor tiempo.

Existen algunas enfermedades virales para las que no contamos con vacunas ya que cada año surgen nuevas variantes de virus patógenos por lo que es necesario continuar con las investigaciones. Para satisfacer la demanda de las dosis requeridas de las diferentes vacunas y sistemas de diagnóstico es necesario desarrollar y optimizar los procesos biotecnológicos para producir, purificar y formular las proteínas que conforman las estructuras virales y que éstas sean bioseguras (al estar libres de ADN).

Los virus, siempre han sido vistos como grandes enemigos; sin embargo, gracias a la biotecnología pueden ser grandes aliados en el desarrollo de nuevas tecnologías para el beneficio de la humanidad.

Utilidad de los virus en nanotecnología

Germán Plascencia-Villa

Estudiante de Doctorado, Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

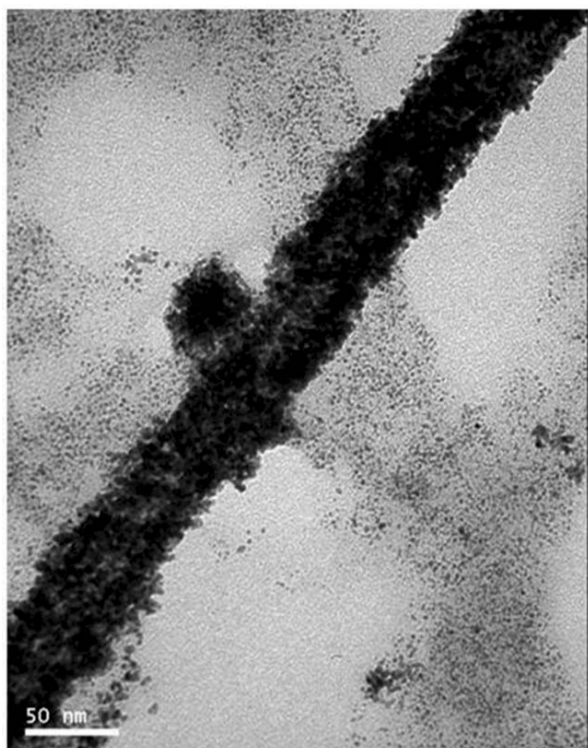
Laura A. Palomares

Octavio Tonatiuh Ramírez

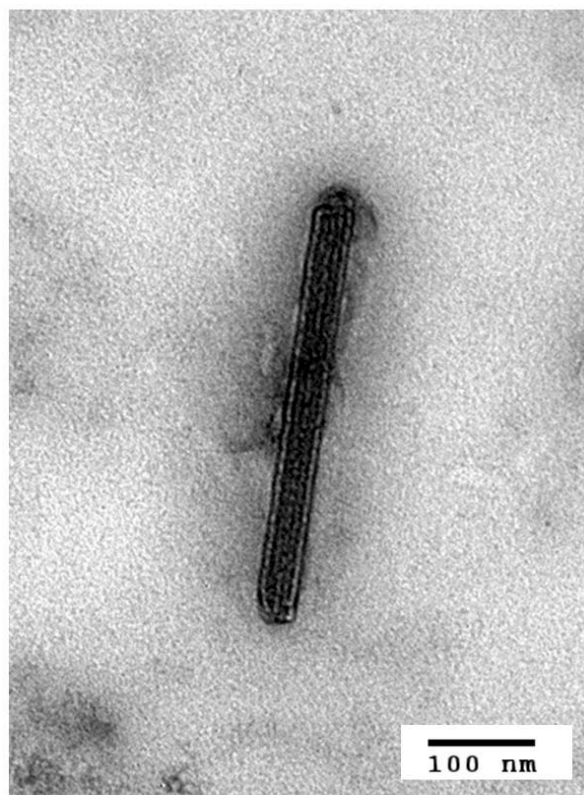
Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos
Miembros de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Los componentes electrónicos cada vez son más pequeños. Esta miniaturización ha llegado casi al límite ya que los procesos para fabricar estos dispositivos son cada vez más complicados y costosos. Una nueva tendencia es formar estos microcomponentes mediante el ensamblaje de los átomos o de las moléculas que los componen, la pregunta es ¿cómo lograrlo en forma eficiente y a bajo costo? Pues los VIRUS saben muy bien cómo hacer esto y podemos aprender de ellos, ya que la mayoría de los virus poseen capacidad de autoensamblaje desarrollada a través de millones de años de evolución en estructuras esféricas (icosaedros) o tubulares (cilindros o helicoidales) formadas por medio del autoensamblaje, logrando estructuras altamente organizadas, simétricas y homogéneas.

Las aplicaciones y usos de los virus son como vacunas, sistemas de diagnóstico y vehículos o vectores de terapia génica, desarrollados a través de procesos biotecnológicos. Una nueva aplicación de las estructuras formadas por las proteínas virales es como componentes micro y nanoelectrónicos, ya que pueden servir como un molde sobre el cual se sintetizan o conjugan diferentes compuestos inorgánicos sobre algunos aminoácidos que componen las proteínas de la cápside viral. El resultado es un nanomaterial híbrido con una matriz biológica con compuestos inorgánicos (metales, materiales magnéticos, semiconductores, fluorescentes, etc.) que les impartirán nuevas propiedades tales como absorber, transportar y generar energía, sintetizar compuestos, almacenar información,



Microscopía electrónica de nanotubo formado por una proteína de rotavirus recubierto con nanopartículas de platino (color negro).



Microscopía electrónica de baculovirus. Este virus infecta invertebrados (insectos).

funcionar como sensores, emitir luz, para sistemas de diagnóstico y de señalización intracelular.

Actualmente se utilizan las proteínas del virus del mosaico del tabaco, de bacteriófagos (virus que infectan bacterias), virus fitopatógenos (que infectan algunas plantas) y de rotavirus para sintetizar componentes microelectrónicos como nanocables y nanoalambres de oro, plata, platino y níquel. Estos pueden ser tan delgados como apenas 2 o 3 nanómetros de diámetro (1 nanómetro = 1 mil millonésima parte de un metro). Al tener virus modificados con nanopartículas magnéticas formadas de hierro, cobalto-platino y hierro-platino tenemos potencialmente un sistema muy eficiente para almacenar información (en forma similar al disco duro de las computadoras) pero que al estar altamente compactado y organizado, teóricamente la capacidad de memoria puede incrementarse en forma notable optimizando al máximo el uso del espacio. Las proteínas virales modificadas con nanopartículas de cobalto y litio, funcionan como nanobaterías que pueden almacenar y transportar gran cantidad de energía, además de ser flexibles se pueden adaptar en forma de películas o placas delgadas de apenas unos milímetros, que por otra parte, al ser ultraligeras, optimizan el espacio.

Las aplicaciones desarrolladas por grupos de investigación de diversas universidades pueden llegar a ser sorprendentes. Por ejemplo, para sintetizar películas de cristal líquido formadas por microcristales de ZnS organizados sobre las proteínas virales. El resultado es una película flexible, resistente y ultradelgada (de apenas unas micras de grosor) que puede ser utilizada en las pantallas de teléfonos celulares y otros aparatos electrónicos. La modificación de virus con silicio permite tener transistores de diámetro nanométrico,

que podrían optimizar el uso de energía en dispositivos semiconductores presentes en muchos aparatos de usos diario como relojes, celulares, computadoras y reproductores MP3.

Actualmente (2009) en el mercado encontramos baterías ecológicas que generan energía a través de reacciones biológicas por medio de enzimas (que son proteínas con capacidad catalítica), por lo que no es de extrañar que en poco tiempo algunos de los componentes de nuestras computadoras y teléfonos celulares puedan ser fabricados con la ayuda de biotecnología y proteínas virales. Para satisfacer esta demanda, nuevamente recurriremos a los procesos biotecnológicos para producir, purificar y formular estructuras virales que sean bioseguras (al estar libres de ADN) que nos sirven para ensamblar diferentes componentes y dispositivos átomo por átomo y molécula por molécula, optimizando el uso de las materias primas, reduciendo la cantidad de subproductos contaminantes y la energía necesaria para el proceso, logrando procesos amigables con el medio ambiente. Algunos nanomateriales de alta precisión en su composición y propiedades están en proceso de pruebas para empezar a comercializarse, revolucionando la forma de los dispositivos electrónicos, circuitos y computadoras, sensores, materiales inteligentes, micro-robótica y los sistemas de entrega de medicamentos en forma controlada y el diagnóstico-prevención de enfermedades.

Los virus siempre han sido vistos como grandes enemigos. Sin embargo, a través de la biotecnología pueden ser útiles en el desarrollo de vacunas, sistemas de diagnóstico (biosensores) y nanomateriales con aplicaciones a nivel médico e industrial.

Las plantas en el combate contra el cáncer

María Luisa Villareal Ortega

Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El cáncer es uno de los principales problemas de salud pública en el mundo y una de las enfermedades que más fuertemente están ligadas al fenómeno del progreso humano. Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, anualmente fallecen más de siete millones de personas a consecuencia de este mal. En México, las enfermedades oncológicas representa una de las principales causas de muerte, siendo los cánceres más frecuentes el cérvico uterino y de mama en las mujeres, y el de próstata en los varones.

Los tratamientos utilizados para combatir el cáncer son generalmente muy costosos, provocando erogaciones millonarias para los institutos de salud dedicados a este menester, y gastos muy elevados para los pacientes y sus familiares. Por esta situación, los programas de salud tanto nacionales como internacionales indican que deberán destinarse recursos suficientes para prevenir la enfermedad y evitar riesgos innecesarios en la población. Estas acciones incluyen entre otras, la promoción de estilos de vida saludables y la detección temprana para el tratamiento oportuno de los padecimientos.

Actualmente los principales métodos utilizados para tratar el cáncer son la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia, y estas formas de tratamiento frecuentemente se aplican asociadas. La quimioterapia puede disminuir los síntomas, prolongar la vida y promover la cura de esta enfermedad. Hoy en día, se dispone de 141 fármacos comerciales que se emplean en el tratamiento del cáncer, los cuales actúan bajo mecanismos diferentes para evitar que las células cancerosas se reproduzcan.

NUMEROSAS ESPECIES

Las plantas tienen una larga historia de uso en el tratamiento del cáncer, y juegan un papel muy importante en el proceso de descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos.

Se ha descrito que en la medicina tradicional de muchos países, más de 3,000 especies de plantas se utilizan con este propósito; pero es importante señalar que el término cáncer es incierto o difícil de definir en la medicina folclórica. En forma popular, se le llama cáncer a condiciones como verrugas, tumores, abscesos, pólipos etc., por lo que se requiere utilizar

diversos modelos de investigación científica que comprueben la eficacia de las plantas empleadas con estos fines. Sin embargo, es muy importante resaltar que las plantas han jugado un papel crucial como fuente efectiva de los agentes antitumorales que ha desarrollado la industria farmacéutica. Así, más del 60% de los agentes anticancerígenos actualmente en uso, derivan de una u otra forma de fuentes naturales que incluyen plantas, organismos marinos y microorganismos.

DERIVADOS DE PLANTAS

Entre los productos comerciales más efectivos derivados de plantas destacan los siguientes: 1) los alcaloides de la vinca (vincristina y vinblastina) que se obtuvieron de *Catharanthus roseus*, planta originaria de Madagascar, utilizados para tratar linfomas, leucemias y otros cánceres, 2) la podofilotoxina, obtenida de *Podophyllum peltatum* que se utiliza para preparar los derivados menos tóxicos etopósido y tenipósido, para el tratamiento de linfomas y cánceres bronquial y testicular, 3) el taxol, obtenido de la yuca ecuatoriana *Taxus brevifolia* utilizado en el tratamiento de cánceres de ovario, de mama y de pulmón y 4) la camptotecina obtenida del árbol chino *Camptotheca acuminata* que se emplea para preparar derivados comerciales utilizados en el tratamiento de cánceres de ovario, de pulmón y colorectal.

El arsenal de medicamentos empleados en la terapia del cáncer ha aumentado en los últimos años gracias al esfuerzo de investigación de muchos científicos que han trabajado exhaustivamente para descubrir nuevos compuestos bioactivos provenientes de las plantas. En muchos de estos estudios, se ha utilizado como guía el conocimiento etnomédico o conocimiento tradicional de los pueblos indígenas. Como resultado de estos trabajos, se han logrado ampliar las alternativas terapéuticas para varios tipos de cánceres e impactar positivamente en las estadísticas de esta enfermedad.

México es un país con una gran biodiversidad botánica y una amplia tradición en el uso de la medicina herbolaria. De acuerdo con diferentes fuentes bibliográficas se concluye que en México se han empleado 238 especies de plantas pertenecientes a 78 familias botánicas para tratar enfermedades consistentes con la sintomatología de cáncer. Para

corroborar este conocimiento etnomédico, es necesario realizar investigaciones científicas empleando modelos *in vitro* (en células o componentes celulares), *in vivo* (utilizando animales de laboratorio), así como estudios clínicos en humanos.

EN MORELOS

En el Laboratorio de Investigación en Plantas Medicinales del Centro de Investigación en Biotecnología de la UAEM estudiamos plantas mexicanas con potencial anticancerígeno. Para ello contamos con un programa permanente de rastreo de especies botánicas que incluye diversos niveles de evaluación. Para las evaluaciones *in vitro* utilizamos líneas celulares que se obtienen a partir de cánceres humanos (de mama, colon, próstata, nasofaríngeo y cérvico-uterino), que cultivamos en condiciones de laboratorio y a las que adicionamos los extractos vegetales en estudio. Aquellos con potencial antineoplásico frenan el crecimiento y la división celular de los cultivos, y son seleccionados para pasar

a las siguientes fases de evaluación. Dependiendo de sus características, se estudia la acción de dichos extractos sobre el progreso de tumores experimentales que se establecen en modelos animales, o bien, se someten a un proceso de fraccionamiento químico que tiene como propósito aislar los principios activos responsables de la acción tóxica celular. Una vez que se purifican dichos compuestos, se establece su estructura molecular por procedimientos de química avanzada (resonancia magnética nuclear) y se dirigen esfuerzos a intentar elucidar los mecanismos de acción que los singularizan. La aplicación de estos procedimientos nos ha permitido identificar algunas plantas de México que en el futuro podrían ser susceptibles a desarrollarse como fitomedicamentos contra esta enfermedad, pero en las que aún hay que realizar investigaciones profundas. De entre ellas destacan las siguientes: *Hyptis verticillata* (hierba de San Martín o hierba martina), *Linum scabrellum* (lino), *Perezia cuernavaca* (hierba del zopilote) e *Hyptis suaveolens* (chan o confitura).



Plantas medicinales mexicanas utilizadas como anticancerígenas, que están siendo investigadas en el CEIB, UAEM.

La flora medicinal, su importancia en la farmacología de los trastornos mentales

Jaime Tortoriello

Centro de Investigación Biomédica del Sur, Instituto Mexicano del Seguro Social
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A.C.

El apasionante mundo del cerebro humano, un complejo ensamble de células nerviosas que interaccionan en una variedad infinita y que, aún sin entrar en contacto físico, establecen un sistema de comunicación indescifrable en su complejidad, pero con una armonía tal que finalmente nos permite, sin necesidad de realizar un gran esfuerzo, desde orquestrar el movimiento de un dedo hasta generar el más complicado razonamiento y modular nuestras emociones. La información acumulada hasta el momento con relación al conocimiento de las funciones del sistema nervioso nos permite afirmar que el comportamiento animal (incluyendo el comportamiento humano) depende en gran medida de las estructuras cerebrales, sus conexiones y neurotransmisores. Aún cuando pudiera parecer poco creíble, más que el aprendizaje, el medio ambiente o la enseñanza proveniente de los padres o amigos, el comportamiento humano depende de la gran extensión de conexiones de las células nerviosas y de las sustancias químicas producidas y liberadas en el cerebro. La personalidad, la timidez o el atrevimiento de un individuo, la melancolía o la felicidad, y hasta podríamos afirmar que el deseo sexual, hoy sabemos que son susceptibles de ser modificadas a través de sustancias químicas. Desde tiempos remotos, en el intento del hombre por modificar, controlar y mejorar las funciones del sistema nervioso, los productos obtenidos de plantas han jugado un papel importante.

Estudios de las propiedades del opio, la marihuana, la mandrágora, la ayahuasca y el peyote, entre muchos otros, experimentaron un auge durante la segunda mitad del siglo XX. Se realizaron estudios científicos que, se ha dicho, estuvieron orientados a encontrar y demostrar en estas plantas alguna propiedad farmacológica, cuando en realidad la parte fascinante de la investigación radicó en la posibilidad de encontrar sustancias nuevas que pudieran ser utilizadas como herramientas en el estudio del funcionamiento del sistema nervioso central. Herramientas que funcionarían como instrumentos farmacológicos con la intención de entender la modulación de las emociones, la personalidad, las percepciones y motivaciones, así como también, de contribuir en el avance del conocimiento de algunos de los trastornos como la psicosis, el insomnio, la enfermedad de Parkinson, la depresión, la demencia y otros grandes retos propuestos por los neurofisiólogos

y, de esta manera, permitieran un avance más rápido en el desarrollo de métodos de tratamiento.

Durante estas investigaciones se generaron diferentes términos, todos ellos con la intención de identificar los efectos que los compuestos obtenidos de los vegetales producen sobre las funciones del cerebro y que más tarde resultaron difíciles de manejar: psicoestimulantes, también conocidos como psicoanalépticos o psicotónicos, denominaciones que en general son atribuidas a los estimulantes del sistema nervioso central, como son la cafeína (obtenida de las semillas de café), teobromina (extraída del chocolate), cocaína (un alcaloide obtenido de vegetales de la especie *Erythroxylon coca*); psicomiméticos, sustancias que simulan psicosis y que son también conocidos como alucinógenos; psicodélicos que facilitan la visión mental; psicodislépticos que alteran la mente; enteógenos que favorecen "la comunicación con Dios". Estas son, en general, las sustancias que alteran la sensación, la percepción, las emociones y el estado de conciencia.

Entre los psicomiméticos se encuentran productos de diferentes especies de plantas y hongos como son: el peyote, un cactus que en el lenguaje científico es conocido con el nombre de *Lophophora williamsii*; la belladona, que es el nombre común para la especie *Atropa belladonna*; la mandrágora, cuyo nombre científico es *Mandragora officinarum*; el beleño, nombre popular con el que se conoce a *Hyoscyamus niger*; el toloache, una especie mexicana que corresponde a *Datura inoxia* y, también, la amanita, el cornezuelo del centeno y el teonanácatl, que son hongos silvestres que contienen abundantes alcaloides indólicos y son conocidos con los nombres científicos de *Amanita muscaria*, *Claviceps purpurea* y *Psilocybe mexicana*, respectivamente.

Todas estas especies contienen compuestos químicos que interactúan con los neurotransmisores o sus receptores en el cerebro. Sus efectos producen modificaciones en signos clínicos (cambio en la presión arterial, modificaciones en el diámetro de la pupila, y en la temperatura corporal) que no permiten discriminar, basados solo en ellos, entre algunos diagnósticos, mientras que los trastornos de la percepción que ellos generan se traducen en una variedad de sintomatología subjetiva que resulta difícil de describir con claridad para quien lo experimenta.

Durante las últimas décadas, grupos de

investigación de diferentes países han desarrollado trabajos con productos vegetales con la intención de demostrar su capacidad terapéutica, utilizando con este fin diferentes pruebas farmacológicas en animales y, en pocos casos, pruebas en humanos. Los investigadores cuya formación académica se relaciona con la química de los productos naturales, generalmente orientan su esfuerzo en aislar e identificar los compuestos químicos presentes en el vegetal, mientras que los que tienen una formación en las ciencias biológicas o de la salud, orientan su trabajo con la intención de dilucidar los complejos mecanismos de acción farmacológica. Pero, ¿cómo encontrar dentro de esta ausencia de conocimiento, una droga específica nueva para el tratamiento de los desórdenes que afectan al cerebro humano? ¿Cómo se puede dirigir una investigación con la intención de descubrir un fármaco útil en el tratamiento de la psicosis sin conocer con certeza las bases fisiopatológicas de la enfermedad?

Existe un buen número de medicamentos que son usados ampliamente alrededor del mundo y que no resuelven adecuadamente los problemas de salud, o que generan efectos adversos. Aún cuando la gran mayoría de los medicamentos utilizados en la medicina occidental para el tratamiento de los trastornos del cerebro son de origen sintético, las plantas medicinales

y los productos obtenidos de ellas constituyen las drogas mas frecuentemente usadas por la población con estos fines. Las investigaciones relacionadas con la medicina tradicional reportan cientos de plantas medicinales que son utilizadas por sus propiedades atribuidas sobre el cerebro, la mayoría de ellas indicadas en insomnio, ansiedad y convulsiones. En México sobresalen, por su frecuencia de uso, la flor del naranjo, la tila, la valeriana y la ruda, entre otras, que la población utiliza diariamente sin estar conciente necesariamente de sus efectos farmacológicos, como son el café, diferentes té y el chocolate.

El estudio científico de la flora medicinal es, sin duda, una excelente alternativa de investigación en México y, debido a la diversidad vegetal, la cultura médica tradicional, y los diferentes grupos de investigación, lo es particularmente para el Estado de Morelos. El desarrollo de una industria del fitomedicamento, basada en el conocimiento científico, redundaría en beneficios para la salud, para el campo, para el medio ambiente y para la economía.

Literatura recomendada:

Shultes E, Hoffman A. Plantas de los Dioses. Fondo de Cultura Económica. ISBN: 9789681663032



XOCHIPILLI. Príncipe de las Flores, deidad de la cultura Mexica que se encuentra en el Museo Nacional de Antropología. La expresión corporal que muestra la escultura fue por mucho tiempo un enigma para quienes estudian la cultura nahua. Fue hasta la década de los sesenta del siglo pasado, durante el auge del estudio de las plantas que producían alucinaciones (denominadas enteógenos), cuando se dio una explicación razonable a la expresión de la escultura y a las figuras de plantas que se muestran talladas sobre su cuerpo y en el pedestal.

Avances recientes en Biotecnología y Bioingeniería

María Luisa Villarreal Ortega

Presidenta (2009-2010) de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A. C.
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

Alfredo Martínez Jiménez

Vicepresidente (2009-2010) de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A. C.
Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos, A. C.

La biotecnología se perfila como una de las tecnologías dominantes para el siglo XXI y como una de las ramas del conocimiento con mayor crecimiento a nivel mundial. En México la biotecnología se ha identificado como un nicho de oportunidades, por la calidad de las investigaciones realizadas en diversas instituciones del país, y por los recursos humanos de alta calidad que se generan en este campo.

Los adelantos recientes alcanzados en diversas áreas de la biotecnología se dieron a conocer durante el XIII CONGRESO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA y el VII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN DE ALCOHOLES Y LEVADURAS, eventos que fueron organizados por la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería (SMBB), y que se celebraron en forma conjunta en Acapulco Guerrero, del 22 al 26 de junio del 2009. La consulta electrónica sobre la SMBB se puede hacer en www.smbb.com.mx/; y sobre el congreso y los trabajos presentados en www.smbb.com.mx/congreso y www.smbb.com.mx/trabajos.php.

El objetivo de estos eventos fue dar a conocer los avances científicos de alcance internacional en las áreas de la biotecnología y bioingeniería que se

describen en este artículo, intercambiar experiencia y crear una red de colegas, así como involucrar a las nuevas generaciones de estudiantes en estos campos del conocimiento.

La SMBB constituye la principal agrupación científica y profesional en el área de la biotecnología en México. Con la participación de los más destacados biotecnólogos del país, cuenta con 1,300 socios numerarios, profesionales, empresarios y estudiantes. Una de sus principales actividades desde 1983 ha sido la organización de congresos bianuales, y para el décimo tercer congreso se contó con más de 1,050 participantes nacionales, así como colegas provenientes de varios países de América (Norte, Centro y Sur), y también de Europa, quienes compartieron sus experiencias más sobresalientes en las diversas vertientes de esta multidisciplina. En esta ocasión se incorporó el simposio bianual itinerante de alcoholes y levaduras que se realiza en diversos países latinoamericanos, habiéndose seleccionado México para su séptima edición. La mesa directiva de la SMBB decidió integrarlo a su congreso por contener áreas temáticas compatibles.

Más del 65% de los asistentes al congreso fueron jóvenes estudiantes provenientes de 85 universidades,





institutos tecnológicos y centros de investigación de todo el país. Este hecho refleja dos de las principales filosofías de la SMBB; que son promover la divulgación de conocimientos de frontera entre las nuevas generaciones, y fomentar la participación de todas las instituciones del país interesadas en la biotecnología y la bioingeniería. Gracias al apoyo proporcionado por la Secretaría de Educación Pública, y la asociación de empresas AgroBIO México, fue posible becar la asistencia de 100 estudiantes al evento.

El programa científico incluyó 834 contribuciones que se distribuyeron en forma de 10 conferencias plenarias, 11 simposios con 4 conferencias temáticas cada uno, 160 presentaciones orales y 620 en cartel. Cabe destacar que cerca del 15 % de las presentaciones correspondieron a trabajos realizados en Morelos.

Las presentaciones reflejaron los avances que se realizan en investigación básica y aplicada en todas las áreas de la biotecnología actual. Por ejemplo, en BIOTECNOLOGÍA MÉDICA se discutieron desarrollos nacionales muy importantes como el método recombinante para producir una nueva vacuna contra la cisticercosis, la caracterización genética de la bacteria causante de la tuberculosis y proyectos relacionados con la producción de biofarmacéuticos basados en plantas. Asimismo, científicos extranjeros analizaron las perspectivas de los beneficios terapéuticos con el uso de células madre y algunos métodos novedosos para la producción de vacunas contra el virus H1N1. En el caso de la

BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA se presentaron trabajos revelantes realizados por científicos mexicanos con el uso de biofertilizantes en sustitución a fertilizantes químicos, estudios genómicos de variedades de maíz mexicano que explican su domesticación, así como investigaciones recientes que ilustran como es posible evitar la aparición de resistencia de insectos plaga a las toxinas insecticidas producidas por la bacterias.

En BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA se analizaron estudios sobre bacterias lácticas que son explotadas por su actividad benéfica para conservar alimentos en vista de que producen compuestos antimicrobianos, así como la utilización de consorcios de microorganismos que se adicionan a algunos tipos de quesos para evitar el crecimiento de bacterias patógenas. En el simposio de BIOCATÁLISIS (la cual utiliza a proteínas que permiten acelerar la velocidad de reacciones bioquímicas) se discutieron las aplicaciones de los biocatalizadores en la síntesis orgánica, la importancia de nuevos biocatalizadores con aplicaciones médicas como analgésicos o antiinflamatorios, así como la preparación de biocatalizadores con estructuras nanométricas.

En el caso de la BIOTECNOLOGÍA MARINA se presentaron algunos resultados que indican que las bacterias que habitan en los mares pueden ser fuentes de nuevos metabolitos bioactivos y se hizo evidente que el desarrollo de este campo presenta un rezago en comparación con otras áreas, a pesar de concentrar un recurso natural extenso e importante para el país.

De acuerdo con la imperiosa necesidad de mantener un ambiente limpio, en BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA AMBIENTAL, la cual representa el área que más se trabaja en México, se revisaron nuevas tecnologías para el tratamiento de aire contaminado en base a biofiltros que provocan la degradación de contaminantes en compuestos no tóxicos, el tratamiento de efluentes con el uso de consorcios bacterianos y el uso de sistemas enzimáticos de hongos para degradar compuestos xenobióticos contaminantes como plaguicidas, hidrocarburos o explosivos. En el área de BIOINGENIERÍA se habló sobre avances en el diseño de biorreactores y reactores para cultivar células de mamífero; así como del diseño y aplicación de técnicas avanzadas que permiten visualizar los eventos que ocurren en tercera dimensión en el interior de estos tanques.

En los temas de BIOCOMBUSTIBLES y BIOENERGÍA se abordó la obtención de etanol carburante a partir de residuos agroindustriales, con énfasis en los avances realizados en Cuba, Colombia y México. También se presentaron estudios relacionados con la producción de otros biocombustibles como el butanol que es compatible con la gasolina y motores actuales, el biodiesel obtenido a partir de plantas oleaginosas mexicanas, y el biopetróleo que constituye una nueva ventana de investigación en donde modificando vías bioquímicas de las bacterias, es posible producir compuestos similares a los que se obtienen del petróleo. Se habló sobre la bioelectricidad, que plantea la generación de este recurso a partir de basura, teniendo aplicaciones prácticas en ambientes extremos como el fondo del mar, pantanos y otros lugares inhóspitos.

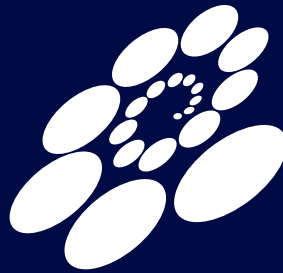
En el simposio de LEVADURAS se presentaron avances en la utilización de estos fascinantes microorganismos para la producción de cerveza, el aislamiento y caracterización de cepas especiales para la fabricación de ron y cerveza, el uso de metodologías moleculares para caracterizar productos de fermentación en bebidas como la “cachaza” brasileña, y la aplicación eficiente de levaduras para convertir los desechos de quesería en etanol. Un simposio particularmente atractivo fue el de BEBIDAS ALCOHÓLICAS MEXICANAS, en el que se presentaron no solo los conocimientos ya establecidos sino la aplicación de metodologías modernas de microbiología, bioprocesos y genómica a la producción de bebidas como el pulque, sotol, mezcal y el tradicional tequila.

Se incluyó una mesa redonda sobre redes temáticas de COOPERACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA, donde miembros de la SMBB y representantes del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología hicieron planteamientos y discutieron las ventajas que pueden brindar dichas redes para propiciar un mejor aprovechamiento de los recursos destinados a generar investigaciones de calidad, hacer frente a la falta de apoyos en ciertas áreas de la biotecnología, crear sinergias entre los especialistas y evitar la duplicidad de esfuerzos.

La relevancia y aplicación de las muchas investigaciones presentadas en el congreso, enfatizan la importancia para que en México se continúe invirtiendo en biotecnología y bioingeniería, con el fin de resolver problemas urgentes que apremian a la ciencia y a nuestra sociedad.

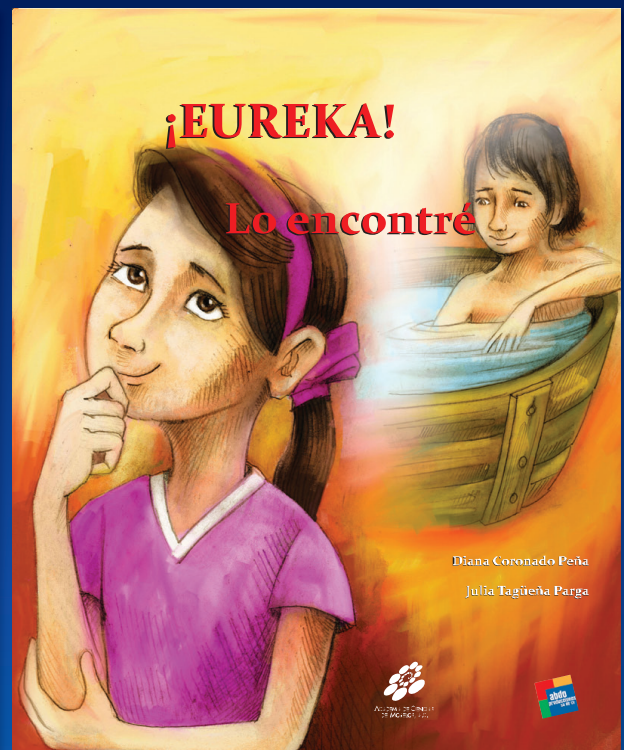
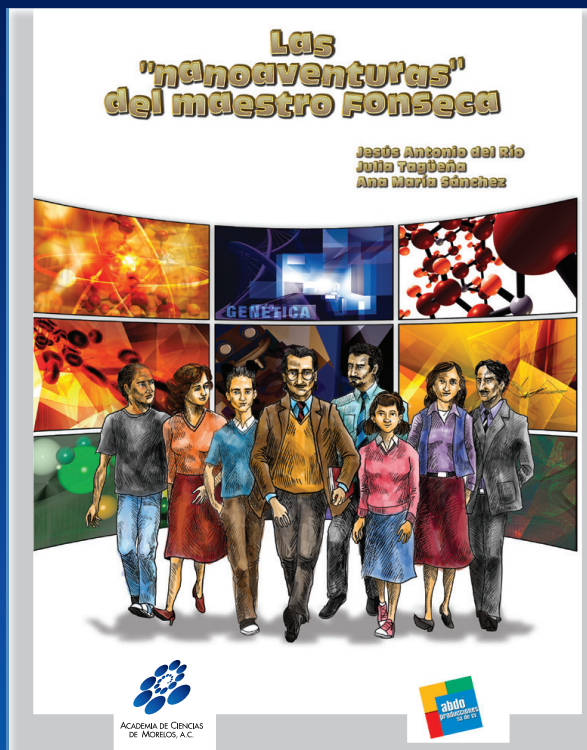


**ESTE LIBRO SE TERMINÓ DE IMPRIMIR EL 20
DE SEPTIEMBRE DE 2012, EN LOS TALLERES DE
PERIÓDICO DIARIO DE INFORMACIÓN GENERAL
ECOS DE MORELOS, S.A. DE C.V. (LA UNIÓN DE
MORELOS) CON UN TIRAJE DE 1,000 EJEMPLARES,
MÁS SOBRANTES PARA REPOSICIÓN**



ACADEMIA DE CIENCIAS
DE MORELOS, A.C.

Otros libros editados por la ACMor



www.acmor.org.mx

La Unión
DE MORELOS

www.launion.com.mx



ACADEMIA DE CIENCIAS
DE MORELOS, A.C.

www.acmor.org.mx

ISBN: 978-607-95682-1-4



9 786079 568214