



Cinvestav

25

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS | VOL. 25, NÚM. 04 | OCTUBRE-DICIEMBRE 2006



LA INVESTIGACIÓN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS



Cinvestav

III Ciclo de Conferencias
La Tecnología y la Ciencia desde el Cinvestav
Programa 2006-2007 para estudiantes de Secundaria y Preparatoria
Auditorio Arturo Rosenblueth 11:00 horas

Septiembre 14

"¿De qué está hecho el universo?"

Dr. Tonatiuh Matos Chassin, Departamento de Física

Septiembre 21

"La ciencia de los materiales de construcción y su importancia en el cuidado del medio ambiente"

Dr. J. Iván Escalante García, Departamento de Ingeniería Cerámica, Unidad Saltillo

Octubre 5

"¿Qué es el cáncer? ¿Cómo prevenirlo y curarlo?"

Dr. Patricio Ganglio Vidal, Departamento de Genética y Biología Molecular

Octubre 19

"Nanotecnología, un salto gigante hacia un mundo en miniatura"

Dr. Jorge Tiburcio Baez, Departamento de Química

Noviembre 9

"¿Sabes qué hace la marihuana a tu cerebro?"

Brenda González Hernández, Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias

Noviembre 23

"Entendiendo el funcionamiento del cerebro a partir de sus señales eléctricas y magnéticas"

Dr. David Gutiérrez Ruiz, Unidad Monterrey

Diciembre 7

"Energía, calor y moléculas"

Dr. Aarón Rojas Aguilar, Departamento de Química

Enero 18

"El cáncer de hígado: ¿cómo se produce?, ¿cómo se puede diagnosticar?"

Dr. Saúl Villa Treviño, Departamento de Biología Celular

Febrero 8

"Computación cuántica: sumando con átomos"

Dr. Oscar Rosas Ortiz, Departamento de Física

Febrero 22

"A qué huele y a qué sabe la química"

Adrián Peña Hueso, Adriana Esparza Ruiz, Raúl Colorado Peralta, Departamento de Química

Marzo 8

"Las matemáticas se pueden aprender"

Dr. L. Manuel Santos Trigo, Departamento de Matemática Educativa

Marzo 22

"La energía mediante celdas solares fotovoltaicas y sus aplicaciones"

Dr. Yasuhiro Matsumoto, Departamento de Ingeniería Eléctrica

Abril 19

"Hierbas que curan"

Dr. Jorge Molina Torres, Departamento de Biotecnología y Bioquímica, Unidad Irapuato.

Mayo 3

"Giardia lamblia: parásito extraño y peligroso"

Araceli Castillo Romero, Departamento de Biología Celular

Mayo 17

"La obesidad y la bioquímica"

Dr. José Víctor Calderón Salinas, Departamento de Bioquímica

Mayo 31

"Aprendices del nuevo milenio en ciencias naturales"

Dra. Dalila Aldana Aranda, Departamento de Recursos del Mar, Unidad Mérida

Junio 7

"Forma y regularidad"

Hugo Espinosa Pérez y Aarón Reyes Rodríguez, Departamento de Matemática Educativa

Junio 21

"Enlaces simple, doble, triple,quíntuple"

Dr. Alberto Vela Amieva, Departamento de Química

Para mayor información:

Dra. Angelina Flores Parra, Departamento de Química, Cinvestav al 5061-3720 o 5061-3800 Ext. 4003 correo: aflores@cinvestav.mx

Cinvestav

octubre-diciembre 2006

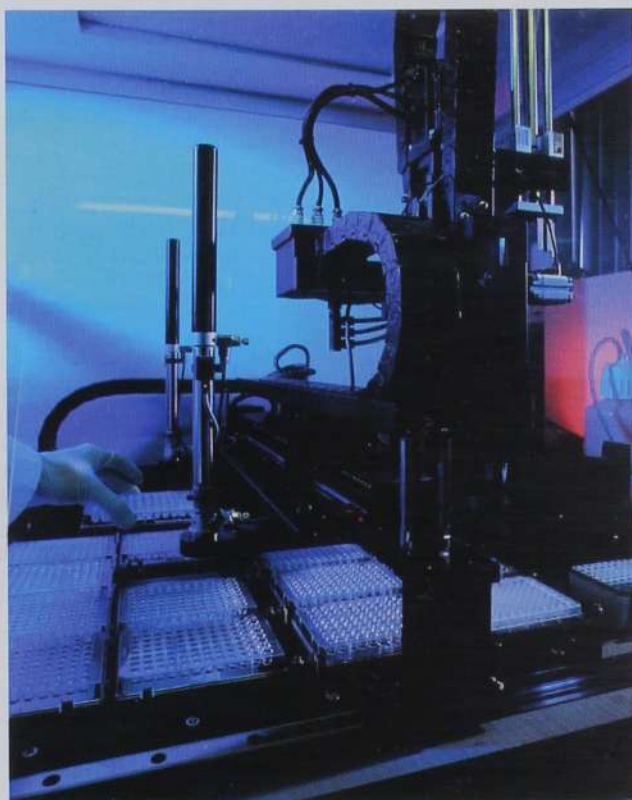


Foto: Cinvestav-Campus Guanajuato, archivo Cinvestav.

LA INVESTIGACIÓN EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Contenido

Editorial

Luz Manuel Santos Trigo 3

Generación limpia de energía eléctrica

Juan M. Ramírez y Emmanuel Torres 4

Generación electroquímica de energía eléctrica

Javier Rodríguez Varela 15

Presencia de arsénico en la Comarca Lagunera y su solución desde el punto de vista técnico

Mayeli Álvarez Silva y Alejandro Uribe Salas 24

Los enigmáticos números primos

Martha Rzedowski 30

Un modelo neuronal para la distrofia miotónica

Mario Bermúdez de León y Bulmaro Cisneros 38

Ácidos nucleicos terapéuticos contra cáncer cervical: una alternativa viable

Luis Marat Álvarez Salas 44

Polinucleótido fosforilasa: una joya de las ribonucleasas

Jaime García Mena 48

Yucatán en las Olimpiadas de Biología: Cuna de talentos

Victoria Patiño Suárez y Dalila Aldana Aranda 58

Cambio de las líneas costeras

Victor Castillo Escalante 64

Christian de Duve

David Pestieu y Dominique Meeus 70

The Millennium Problems

Manuel Santos 76

Noticias

78



CINVESTAV

Rosalinda Contreras Theurel
DIRECTORA GENERAL

José Mustre de León
SECRETARIO ACADÉMICO

Luis Alfonso Torres Gómez
SECRETARIO DE PLANEACIÓN

Víctor Gabriel Gutiérrez Lugo
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Jania Argüelles Castro
JEFA DE DIFUSIÓN

REVISTA CINVESTAV

Luz Manuel Santos Trigo
DIRECTOR EDITORIAL

María Barbieri
CORRECCIÓN DE ESTILO

SERIF
Héctor Montes de Oca
Carolina Rodríguez
DISEÑO

SUSCRIPCIONES Y DISTRIBUCIÓN
revista@cinvestav.mx
T/F (55) 50 61 33 71

CONSEJO EDITORIAL

Marcelino Cerejido Mattioli
FISIOLÓGIA

Carlos Coello Coello
SECCIÓN DE COMPUTACIÓN

Antonio Fernández Fuentes
UNIDAD SALTILLO

Eugenio Frixione Garduño
SECCIÓN DE METODOLOGÍA
Y TEORÍA DE LA CIENCIA

Gabriel López Castro
FÍSICA

Luis Enrique Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA

José Luis Naredo Villagrán
UNIDAD QUERÉTARO

Rodrigo Tarkus Patiño Díaz
UNIDAD MÉRIDA

Ángeles Paz Sandoval
QUÍMICA

Betzabet Quintanilla Vega
SECCIÓN EXTERNA DE TOXICOLOGÍA

Eduardo Remedi Alione
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS

Arturo Sánchez Carmona
UNIDAD GUADALAJARA

La revista Cinvestav antes Avance y Perspectiva, órgano oficial del Cinvestav (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados) es una publicación trimestral dedicada a la difusión y divulgación de la actividad científica y de la vida académica del Centro. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores. Se autoriza la publicación parcial o total del material publicado con el requisito de que se cite la fuente. La edición correspondiente a octubre-diciembre 2006; volumen 25, número 4 se terminó de imprimir en noviembre de 2006. Tiraje: 5000 ejemplares. Certificado de Reserva de Derecho de Autor 04-2006-051210075200-102, expedido por la Dirección General de Derechos de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Certificado de Licitud de Título 13538 y Certificado de Licitud de Contenidos 11111, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1870-5499. Negativos, impresión y encuadernación: Lito Laser S.A. de C.V., Primera Privada de Aquiles Serdán núm. 28, Col. Santo Domingo Azcapotzalco, CP 02160, Del. Azcapotzalco, México D.F. Sede del Cinvestav: Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, CP 07360, Del. Gustavo A. Madero, México D.F. Web del Cinvestav: www.cinvestav.mx

Editorial

Entre las metas relevantes del proyecto editorial del que forma parte la revista *Cinvestav* se destaca la promoción de una identidad de la institución que refleje el quehacer y productos académicos de la comunidad. ¿Cuáles son las líneas de investigación que se cultivan en el Centro?, ¿cuáles son los temas y problemas de investigación que se estudian?, ¿qué significa resolver un problema particular?, ¿qué beneficios aporta a la sociedad la investigación que se realiza en la institución?, ¿cómo comunicar los resultados de la investigación a un público amplio? Estas preguntas resultan importantes al plantear la tarea de informar a la sociedad en su conjunto sobre el trabajo que se realiza cotidianamente en la institución.

Las contribuciones que se publican en este número abordan áreas y problemas asociados con distintos proyectos de investigación que generalmente se desarrollan en un ambiente de colaboración con estudiantes y otros investigadores. Informar sobre la relevancia de los problemas, los métodos de trabajo y los resultados de la investigación permitirá a los estudiantes y lectores en general conocer las formas de trabajo y los resultados asociados con la investigación. La idea es que la actividad de publicar reportes de investigación para un público amplio se considere una parte fundamental del desarrollo de los proyectos.

Además de informar sobre las distintas fases y productos que emerjan de la investigación, las contribuciones que se publican en la revista pueden resultar un material interesante para profesores y estudiantes preuniversitarios. En este contexto, se invita a los profesores a transformar el material que se publica en la revista en actividades de reflexión para sus estudiantes. Por ejemplo, se pueden elaborar guías que ayuden a sus estudiantes a identificar preguntas relevantes asociadas con el contenido, conexiones con otras áreas, resolución de problemas similares o extensión de las ideas a otros contextos o disciplinas.

Una comunicación eficiente entre la comunidad científica y la sociedad se basa en diálogo continuo en ambas direcciones: por un lado los problemas y las necesidades sociales pueden orientar y estructurar la agenda de los proyectos de investigación y por otro lado los productos de la investigación deben ser reconocidos y valorados por la sociedad. En esta perspectiva, la revista *Cinvestav* ofrece en su versión electrónica la oportunidad para que los lectores puedan opinar directamente sobre los contenidos que se publican. La idea es que los autores puedan responder a los comentarios y las observaciones que los lectores envíen. La dirección electrónica de la revista es: www.cinvestav.mx/revistacinvestav/index2.html

Además, los lectores tendrán la oportunidad de enviar sugerencias sobre temas que consideren importantes que se incluyan en la publicación.

Así la revista intenta fomentar una reflexión continua entre los investigadores acerca de la necesidad e importancia de considerar en la agenda de investigación estrategias que permitan establecer y mantener un diálogo con los distintos sectores de la sociedad.

Luz Manuel Santos Trigo
msantos@cinvestav.mx

Generación limpia de energía eléctrica

LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EMPLEANDO FUENTES RENOVABLES, COMO LA EÓLICA, HIDRÁULICA, BIOMASA, ETC., ES A NIVEL MUNDIAL UNA REALIDAD. MÉXICO CUENTA CON UN GRAN POTENCIAL Y DIVERSIDAD DE FUENTES RENOVABLES A LO LARGO DE TODO EL PAÍS.

Juan M. Ramírez y Emmanuel Torres

Introducción

Este artículo presenta un panorama global sobre la generación de electricidad en México. Países como China, India, Alemania, España y Estados Unidos, por mencionar algunos, han desarrollado tecnología que les ha permitido hacer uso de diversas fuentes renovables para la generación de energía eléctrica contribuyendo con esto a mejores condiciones ambientales. Sin embargo, este potencial apenas comienza a ser explorado y su contribución a la generación de energía eléctrica proyectada para los próximos cinco años es mínima.

Actualmente la energía eléctrica a nivel global se encuentra en un escenario difícil. Este tipo de energía ha sido la clave en el progreso de la civilización humana. El consumo de la energía eléctrica se ha incrementado de forma rápida, esto con la finalidad de mejorar los estándares de vida, particularmente en las naciones industrializadas. A la fecha, cerca de 87% del total de la energía se genera por medio de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), 6% se genera en plantas nucleares, y el 7% restante por medio de fuentes renovables (principalmente en plantas hidroeléctricas y eólicas).

Desafortunadamente, el mundo tiene cantidades limitadas de combustible fósil y de fuentes de potencia

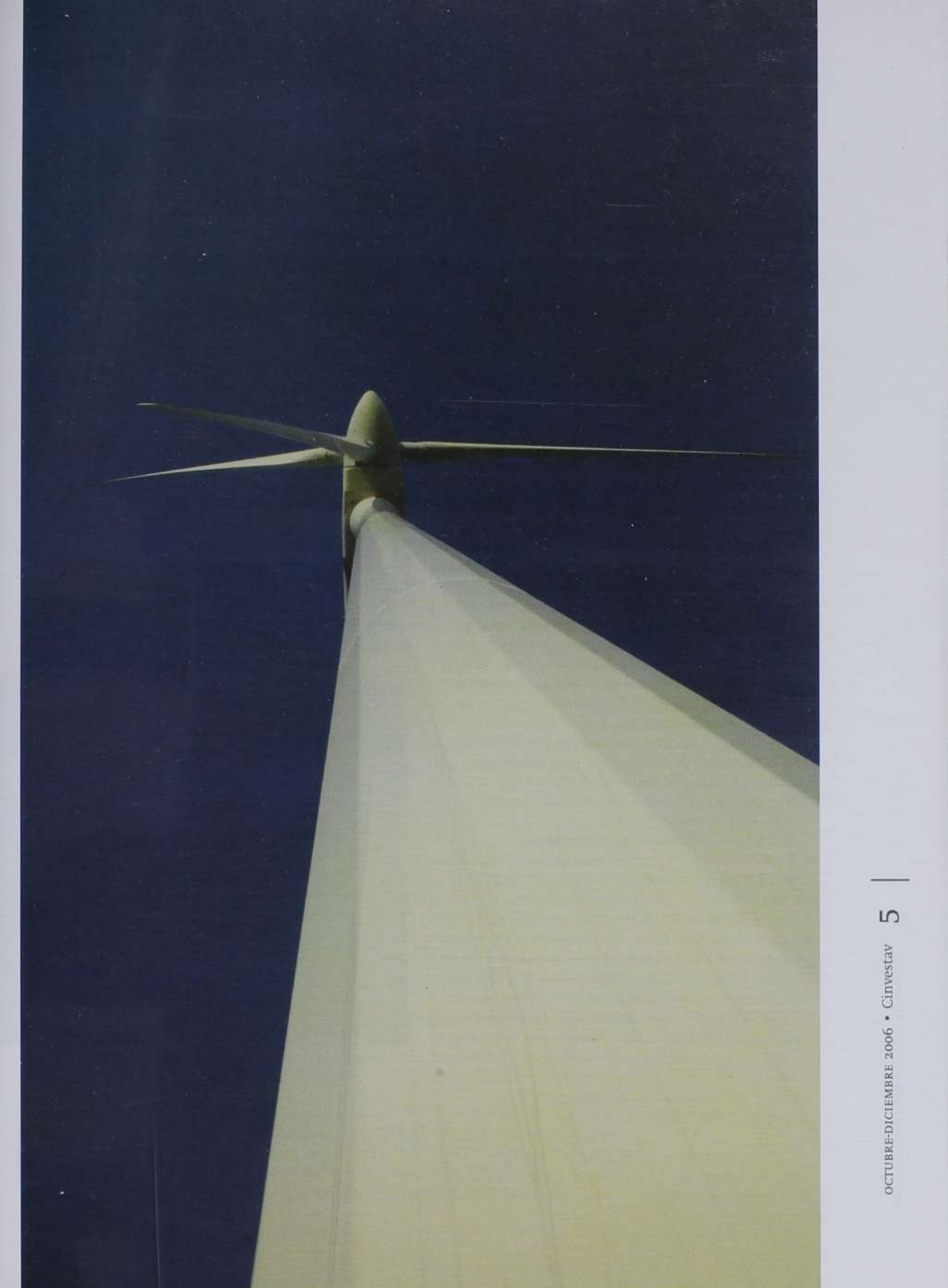
nuclear. De acuerdo con cálculos recientes, el uranio natural utilizado en las plantas nucleares durará cerca de 50 años, el petróleo no más de 100 años, el gas 150 años, y el carbón 200 años.¹ La dependencia hacia los combustibles fósiles y nucleares está provocando contaminación ambiental y problemas de seguridad, los cuales actualmente se han convertido en aspectos importantes en nuestra sociedad. Adicionalmente, existe el problema de la contaminación urbana debido principalmente a vehículos con motores de combustión interna.

Aspectos generales sobre las fuentes renovables

El impacto de la contaminación del ambiente en el calentamiento global y los cambios climáticos resultantes pueden tener consecuencias desastrosas a largo plazo. La energía renovable es aquella que posibilita una explotación ilimitada del recurso, en virtud de que su cantidad no se reduce a medida que ésta se aprovecha. Por ello, debe promoverse una mayor diversificación en la generación de la electricidad, impulsando y desarrollando tecnologías que aprovechan energía renovable, de tal forma que contribuyan al desarrollo sustentable del país.²

JUAN M. RAMÍREZ Doctor en Ingeniería Eléctrica por la Universidad Autónoma de Nuevo León en 1992. Desde 1989 está adscrito a la Unidad Guadalajara del Cinvestav. Sus áreas de interés incluyen: control y operación de redes eléctricas y la electrónica de potencia. jramirez@gdl.cinvestav.mx

EMMANUEL TORRES M. en C. en Ingeniería Eléctrica por la Unidad Guadalajara del Cinvestav. Sus áreas de investigación son: generación de energía eléctrica con fuentes renovables, control del generador de inducción y la electrónica de potencia. etorres@gdl.cinvestav.mx



El desarrollo tecnológico para la generación de energía eléctrica se está orientando hacia las fuentes seguras y renovables, como la eólica, la fotovoltaica y las celdas de combustible.

El mundo tiene enormes fuentes de energía eólica. Se ha estimado que explotando tan sólo 10% de la energía eólica disponible se podría suministrar toda la electricidad necesaria en el mundo. Los avances tecnológicos recientes en turbinas eólicas de velocidad variable, la electrónica de potencia y controles, han hecho que la energía eólica sea competitiva frente a las fuentes convencionales de energía como carbón y gas natural. Un tercio de la población en el mundo vive lejos de la red de suministro de potencia eléctrica. Para ellos la energía eólica y la energía fotovoltaica son una alternativa muy importante.

El 1% de la energía demandada en Estados Unidos es suministrada por energía eólica, la cual crecerá en 5% para el año 2020. En Dinamarca 13% de la electricidad es suministrada por fuentes eólicas, las cuales se incrementarán en 50% para el 2030. Alemania es el líder mundial en energía eólica con una capacidad instalada de 4500 MW, y Estados Unidos es el segundo con 2554 MW instalados. Países como India y China tienen grandes programas de expansión en generación eólica.¹

Uno de los problemas de la energía eólica es que su disponibilidad es variable y, por lo tanto, necesita ser respaldada por otras fuentes de potencia. Los sistemas fotovoltaicos tienen la ventaja adicional de ser estáticos y de requerir poco mantenimiento y reparaciones. Sin embargo, la potencia fotovoltaica es típicamente cinco veces más cara que la potencia eólica. Actualmente, existen investigaciones y esfuerzos por desarrollar paneles fotovoltaicos de bajo costo para aplicaciones generales. La eficiencia de la conversión de la potencia solar es típicamente de 16% y su disponibilidad es también esporádica.

El combustible primario para las celdas de combustible es el hidrógeno, el cual puede extraerse del agua o de algún combustible (gasolina o metanol), pero sólo en el primer caso puede considerarse como energía renovable. Las celdas de combustible son estáticas y tienen una gran eficiencia de conversión (60%); sin embargo, son pesadas y caras, y tienen una pobre respuesta transitoria. Las celdas de combustible son una gran promesa para el futuro, particularmente para los autos eléctricos, aunque una gran cantidad de investigación debe realizarse para conseguir este objetivo.¹

Potencial y principales fuentes de energía renovable en México

Actualmente en México, con excepción de los recursos hidráulicos y geotérmicos, sólo una mínima parte de la generación de electricidad emplea energías renovables, esto a pesar de que existe un gran potencial, con calidad excepcional y una diversa localización geográfica de las fuentes. El uso de las energías renovables para la generación eléctrica se ve favorecido por los siguientes factores:

- Amplia disponibilidad de recursos energéticos renovables en el territorio nacional, aunque todavía no han sido suficientemente explorados ni sistemáticamente caracterizados.
- Existencia de nichos para posibles aplicaciones rentables, como es el caso de la electrificación rural, la generación distribuida y la pequeña generación.
- Los beneficios ambientales que ofrecen, como son el uso de recursos renovables en sustitución de combustibles fósiles, y sus bajas emisiones contaminantes.
- Varias de las tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables están disponibles en el mercado, algunas ya están maduras y otras en proceso de desarrollo.

La Agencia Internacional de la Energía pronostica que el crecimiento medio anual en el uso comercial de las energías rentables será de 2.2% para el año 2015, y que 20% de las necesidades energéticas mundiales serán satisfechas con fuentes renovables para el 2020.²



Fig. 1. Vista aérea de la cortina desde aguas abajo central hidroeléctrica Chicoasén.

La Agencia Internacional de la Energía pronostica que el crecimiento medio anual en el uso comercial de las energías rentables será de 2.2% para el año 2015, y que 20% de las necesidades energéticas mundiales serán satisfechas con fuentes renovables para el 2020.

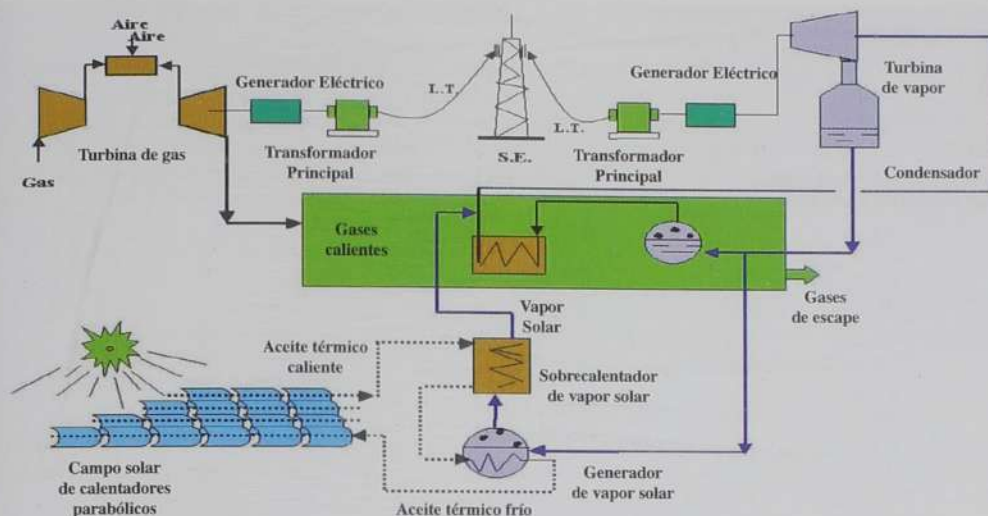


Fig. 2. Esquema de generación de un ciclo combinado, integrado con un campo solar con tecnología de espejos parabólicos.

En México, las energías renovables maduras son la hidroeléctrica y la geotérmica. En el 2001 representaron 27.1% de la capacidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y aportaron 17.1% de la generación total. En menor medida, se cuenta con tecnologías probadas empleando fuentes eólicas y de biomasa (industria azucarera y de celulosa y papel), cuya participación aún es marginal en el SEN.²

Dentro del programa de expansión de la CFE se incluyen los proyectos hidroeléctricos de El Cajón y de Chicoasén en su segunda etapa con una capacidad conjunta de 1,686 MW (11.8 % de la capacidad adicional comprometida¹), mientras que en el 2003 se concluyó la construcción de 107 MW de capacidad instalada con centrales geotérmicas en Los Azufres. La figura 1 muestra una vista aérea de la central hidroeléctrica Chicoasén.

Desarrollo y evolución de las fuentes renovables en México

Energía solar

La principal energía renovable en el mundo es la solar (radiación infrarroja y ultravioleta). El uso de la energía solar mediante dispositivos fotovoltaicos presenta oportunidades para electrificación de zonas remotas, las cuales no tienen acceso a la red pública de suministro, o usarla como respaldo de otras fuentes renovables, como la eólica o en sistemas híbridos. El potencial de energía solar en México es uno de los más altos del mundo, aproximadamente tres cuartas partes del territorio nacional son zonas con insolación media del orden de los 5 kWh/m². De 1993 al 2001 la capacidad instalada de estos sistemas se incrementó de 7.1 MW a 14.3 MW. Para el año 2011 se espera contar con

28 MW instalados. La CFE cuenta con una planta híbrida en San Juanico, Baja California Sur, conformada por 17 kW fotovoltaicos, 100 kW eólicos y un generador diesel de 80 kW. Además tiene en construcción la central de ciclo combinado Agua Prieta II con Campo Solar, la cual estará integrada por dos turbinas de gas, dos recuperadores de calor y una turbina de vapor con una capacidad conjunta de 650 MW, incluyendo la capacidad del campo solar de 25 MW que iniciará su operación comercial en el segundo trimestre del 2009.³ La figura 2 muestra un diagrama esquemático de la central Agua Prieta II.

Energía eólica

De las energías renovables, la eólica está considerada como una de las más prometedoras para la generación masiva de electricidad en el mediano plazo. La capacidad mundial de generación eólica conectada a la red actualmente rebasa los 25,000 MW,² mientras que otras tecnologías como la fotovoltaica se instalan en cantidades superiores a los 200 MW/año, en aplicaciones de electrificación rural y en aplicaciones conectadas a la red.⁴ Según datos proporcionados por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), en México existe un potencial de aproximadamente 5,000 MW en zonas como el Istmo de Tehuantepec, las costas de Quintana Roo, Veracruz, Tamaulipas y Baja California. La región central de Zacatecas, San Luis Potosí e Hidalgo. Según datos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) existen 2,900 MW aprovechables en Oaxaca, Zacatecas e Hidalgo.

La situación del desarrollo de la energía eólica comenzó a cambiar en 1994 cuando la central eólica La Venta (1.5 MW conectada a la red) entró en operación en



Fig. 3. Aerogeneradores de la central eólica La Venta.

El mundo tiene enormes fuentes de energía eólica. Se ha estimado que explotando tan sólo 10% de la energía eólica disponible se podría suministrar toda la electricidad necesaria en el mundo.

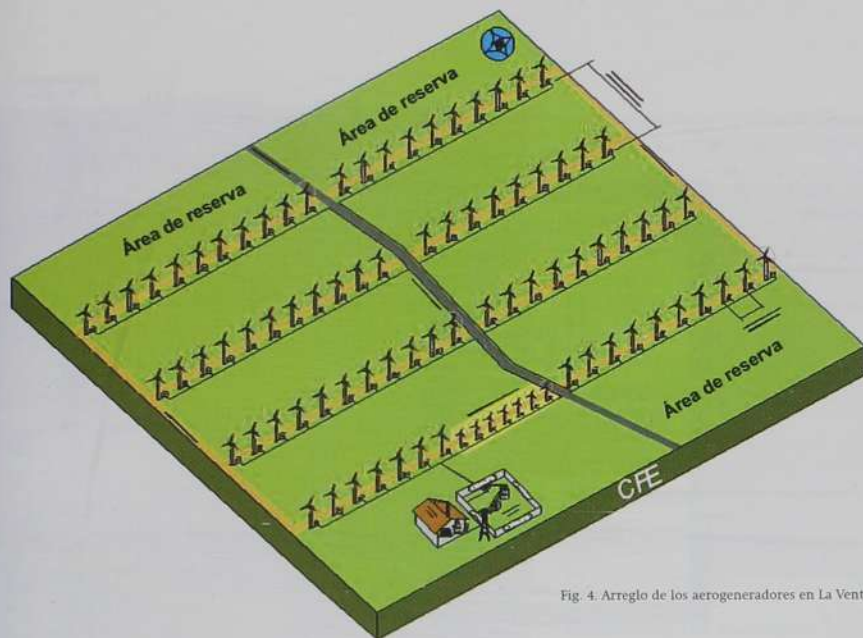


Fig. 4. Arreglo de los aerogeneradores en La Venta II.

el Estado de Oaxaca. La figura 3 muestra la central eólica La Venta. En 1998 la estación eólica Guerrero Negro ubicada en Baja California Sur comenzó a operar con una capacidad de 600 kW.⁵ Sin embargo, al contrario de La Venta, este sistema no se encuentra conectado a la red, en su lugar la energía generada se usa en actividades agrícolas.

En Ramos Arizpe, Coahuila, la empresa Cementos Apasco instaló una planta de 550 kW, adicionalmente existen más de 3 MW eólicos instalados en el país, a través de pequeños aerogeneradores y aerobombas de agua que en 2001 generaron cerca de 10.6 GWh. En noviembre del presente año entrará en funcionamiento la central eólica La Venta II con una capacidad de 83.3 MW.⁶ La figura 4 muestra un diagrama de la distribución de los aerogeneradores en La Venta II.

Minihidráulica

Los caudales que forman riachuelos y cascadas en las montañas pueden aprovecharse para impulsar turbinas y generar energía eléctrica. Un estudio reciente realizado por la CONAE⁷ indica que México cuenta con más de 100 años de experiencia en la generación minihidroeléctrica. A la fecha, CFE tiene 13 plantas de este tipo, Luz y Fuerza del Centro cuenta con nueve plantas y existen 61 plantas operando por productores independientes. A su vez 36 plantas generadoras han dejado de operar debido a los altos costos de operación y equipamiento obsoleto. El área estudiada cubre 26,376 km² y representa 37% del total del Estado de Veracruz. Los seis ríos principales son: Tuxpan, Cazones, Tecolutla, Bobos-Nautla, Actopan y La Antigua. Estos tienen en total 57 afluentes o ríos tributarios en donde se localizaron los sitios potenciales. Se identificaron 100 sitios en total, al menos 62 sitios son viables con una potencia media total de 364 MW. El potencial estimado para centrales con capacidades instaladas menores a los

10 MW se sitúa en los 3,250 MW.

Actualmente se han instalado 34 centrales dentro de este rango de capacidad, en las que se ha instalado una capacidad total de 109 MW, generándose anualmente 479 GWh. Los proyectos minihidráulicos por su naturaleza se ubican al fondo de cañadas, al pie de alguna presa pequeña de almacenamiento o un canal de riego. Dichos sitios se encuentran regularmente alejados de centros urbanos importantes, es decir su entorno es principalmente rural. La figura 5 muestra un esquema de una central hidroeléctrica. La energía generada se puede transportar por medio de una línea de transmisión construida ex profeso, o bien pagar un porteo por el uso de líneas existentes. El atractivo principal de las plantas micromini-hidráulicas es la posibilidad de reducir costos. Se puede esperar en forma conservadora que los ahorros vayan de un 20 a un 30% respecto a las tarifas eléctricas que cobran las compañías públicas de electricidad.

Los usuarios potenciales de la energía micromini-hidráulica son:⁸

- Grupos industriales o agroindustriales.** En función de la cantidad de energía que se pueda extraer en forma rentable de una minicentral (1 a 5 MW) es posible que varios industriales o agroindustriales ubicados en la región o zona de influencia del proyecto puedan ser alimentados parcial o totalmente con esta forma de energía.
- Los gobiernos municipales.** Es un hecho que muchos gobiernos municipales del país se ven limitados e incluso en ocasiones imposibilitados de cubrir sus adeudos a la empresa pública de electricidad, en lo relativo al alumbrado público y al bombeo de agua. En este sentido es posible que un gobierno municipal se asocie con un desarrollador de minihidráulica para concretar la construcción de una central que le

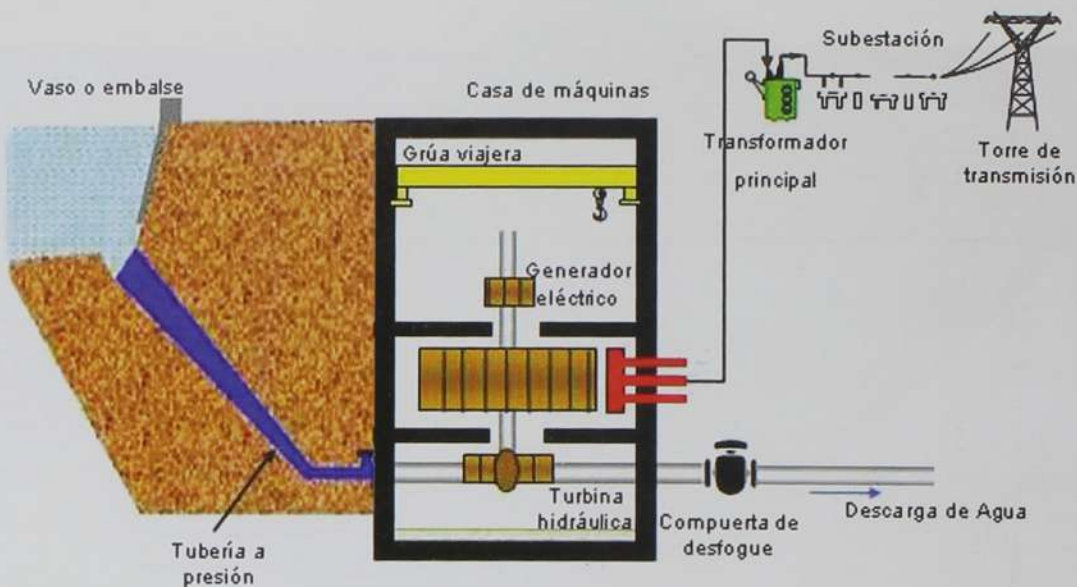


Fig. 5. Diagrama esquemático de una central hidroeléctrica.

permita un abasto parcial o total de energía eléctrica para estos servicios.

c) *Las comunidades rurales aisladas.* Existen comunidades que por su lejanía con los centros urbanos se las cataloga como "aisladas". En dichas comunidades puede haber servicio eléctrico o no. La economía de estas comunidades se centra principalmente en labores agrícolas. Para el mejor desempeño de dichas labores comunitarias se requiere de fuentes energéticas accesibles. Es en este sentido que la opción minihidráulica puede representar un factor importante para apoyar la economía de estas zonas. En resumen los beneficios esperados son:

- Un ahorro importante en el pago de la energía, sin que esta demerite la calidad de los servicios.
- No se requiere que los municipios ni los gobiernos a nivel estatal o federal realicen fuertes inversiones.
- Se promueve el uso de energía limpia no contaminante.
- Los precios de la electricidad que pagan los municipios dejan de depender de la disponibilidad de los hidrocarburos y siempre serán inferiores a los de la compañía pública de electricidad.
- Se proporciona energía eléctrica a comunidades aisladas impulsando el desarrollo económico de la región.
- Desarrollo económico de la industria metalmeccánica.
- Derrama económica durante la construcción.
- Arraigo en las zonas rurales y capacitación.

Una tarea importante que se deberá cumplir en breve, a fin de promover el aprovechamiento de estos recursos, es el estudio de la factibilidad técnica y económica de desarrollar proyectos en los distintos sitios identificados, ya que solamente una pequeña parte del potencial existente en diferentes regiones de nuestro país ha sido explorado. El agua, como fuente de energía, es un recurso renovable que no contamina, no produce subproductos, su utilización como combustible no limita su aprovechamiento para otras aplicaciones, por lo que es un recurso noble que debería ser explotado con más interés para satisfacer necesidades de electrificación en regiones donde se den las condiciones. Los permisos de generación minihidráulica autorizados por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) indican que al cierre del 2002 se contaba con seis permisos en operación, los cuales representan 32 MW instalados y una generación eléctrica de 120 GWh/año. Para el 2011 se espera contar con 284 MW instalados y 1,373 GWh/año de generación, considerando un crecimiento anual de 5% a partir del 2005.

Biomasa

Esta tecnología emplea la materia orgánica que puede ser utilizada como energía (desechos sólidos urbanos y agropecuarios, así como maderas, follaje, bagazo de caña y residuos de los bosques). El aprovechamiento de la biomasa como energético puede realizarse vía combustión directa o mediante la conversión de la biomasa en diferentes combustibles, a través de la biodigestión anaerobia, pirolisis, gasificación o fermentación.



Fig. 6. Central geotermoelectrica Cerro Prieto.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) estima que la producción de residuos sólidos municipales en el país es de 90,000 toneladas diarias, con lo que se podría soportar una generación aproximada de 150 MW. Esta alternativa de generación puede ser ya rentable en el caso de ciudades medianas y grandes, para propósitos de autogeneración municipal.

Hasta agosto del 2002 existían dos permisos autorizados por la CRE para la generación de energía eléctrica empleando el biogás de rellenos sanitarios municipales en la ciudad de Monterrey, N. L.; la capacidad instalada es de 10.8 MW y una generación de 54 GWh/año. Adicionalmente, existen 44 permisos autorizados para sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña) con una capacidad total de 391 MW de capacidad y 709 GWh de generación.

Geotermia

La industria geotérmica actual está basada en la explotación de los llamados recursos geotérmicos hidrotermales; sin embargo, la viabilidad a largo plazo de este recurso energético dependerá del desarrollo de tecnología que permita el aprovechamiento de todos los tipos de recursos geotérmicos (roca seca caliente, geopresurizados, marinos y magmáticos).

La gerencia de proyectos geotermoelectricos de la CFE ha establecido la existencia de más de 1,400 manifestaciones termales en 27 estados del país. Recientemente en algunos lugares ya se han perforado pozos exploratorios, como en Las Tres Vírgenes (Baja California Sur), Los Negritos (Michoacán) y Acoculco (Puebla). En el 2001 fueron instalados en el campo de Las Tres Vírgenes las dos primeras unidades de 5 MW cada una, y próximamente se contará con 100 MW adicionales en el campo geotérmico de Los Azufres, en Michoacán.² La capacidad instalada actual de energía geotérmica es de 838 MW, en los campos de Cerro Prieto (figura 6), Los Azufres (Michoacán) y Humeros (Puebla), lo que representa 2.2% de la capacidad total observada en 2001. El impacto ambiental de los desarrollos geotérmicos se puede eliminar casi completamente. La tabla 1 presenta el potencial de las fuentes renovables en México que se ha estimado a la fecha por diversas instituciones.

Costos de las energías renovables

Algunas de las tecnologías necesarias para emplear las fuentes renovables son de costo elevado. Sin embargo, con el desarrollo tecnológico la tendencia es hacia una disminución en los costos, lo que permitirá un mayor auge en el empleo de las energías renovables. Los costos de los sistemas fotovoltaicos son todavía muy elevados, ya que se encuentran en un rango de 3,500 a 7,000 dólares por kW instalado, y de 25 a 150 centavos de dólar por kWh generado.

Respecto a los sistemas fototérmicos los costos correspondientes se pronostican en el rango de 2,000 a 4,000 dólares por kW y de 10 a 25 centavos de dólar por kWh. Para los sistemas eólicos los costos típicos de inversión en instalaciones para el aprovechamiento de la energía del viento están en alrededor de 1,000 dólares por kW instalado, y los costos de generación entre 5 y 11 centavos de dólar por kWh. Con respecto a la generación minihidráulica los costos de instalación varían en un rango amplio de 800 a 6,000 dólares por kW instalado, con costos de generación de 3 a 45 centavos de dólar por kWh. Los costos de inversión asociados con los proyectos de biomasa se encuentran en un rango de 630 a 1,170 dólares por kW instalado, la electricidad producida tiene un costo de 4 a 6 centavos de dólar por kWh generado. La tabla 2 presenta un resumen de los costos de generación de las fuentes renovables.

Futuro de las fuentes renovables

En el 2000 iniciaron las actividades que conforman el Plan Piloto para el Desarrollo de las Energías

El potencial de energía solar en México es uno de los más altos del mundo, aproximadamente tres cuartas partes del territorio nacional, son zonas con insolación media del orden de los 5 kWh/m².

Fuente	Localización de la fuente	Capacidad Estimada	Capacidad Instalada
Solar	¾ del territorio nacional	5.5 kW/m ²	13.2 MW (Fuente: CONAE)
Eólica	Istmo de Tehuantepec, las costas de Quintana Roo, Veracruz, Tamaulipas y Baja California. La región central de Zacatecas, San Luis Potosí e Hidalgo (Fuente: SENER)	5,000 MW (Fuente: SENER)	2 MW (Fuente: CONAE)
	Oaxaca, Zacatecas, Hidalgo	2,900 MW (Fuente: CFE)	
Geotérmica	Cerro Prieto (Baja California Norte); Azufres (Michoacán), Húmeros (Puebla), Tres Virgenes (Baja California Sur), Primavera (Jalisco)	35,782 MW	855 MW (Fuente: SENER)
Mini hidro-eléctrica < 5MW	Chiapas, Veracruz, Puebla, Tabasco	3,200 MW (Fuente: CONAE)	76 MW (Fuente: CONAE)

Tabla 1. Fuentes de energía renovables para la generación de energía en México.⁷

Renovables en México, auspiciado por la Secretaría de Energía y ejecutado por la Gerencia de Energías No Convencionales del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Dicho Plan incluye los siguientes objetivos: contribuir al establecimiento de una política nacional de energía sustentable, identificar barreras para la implementación de las energías renovables, crear elementos que faciliten la implantación de las energías renovables en el país, y catalizar el desarrollo industrial de las tecnologías para su aprovechamiento. Este plan cuenta con siete proyectos, de los cuales: tres son de energía solar, uno de energía eólica, uno de generación con biogás de relleno sanitario municipal, uno para el mapeo de los recursos geotérmicos de baja temperatura y uno para el desarrollo de un sistema de información geográfica de fuentes renovables en México.²

Con los desarrollos tecnológicos en los últimos cuatro años y los precios actuales del gas natural, las tecnologías de gasificación de residuos de vacío o

Fuente de Energía	Costos de Inversión dólar /kW instalado centavos de dólar/kWh	
Solar	Fotovoltaicos: 3,500 a 7,000	25 a 150
	Fototérmicos: 2,000 a 4,000	10 a 25
Eólica	1,000	5 a 11
Mini-hidráulica	800 a 6,000	3 a 45
Biomasa	630 a 1,170	4 a 6

Tabla 2. Costos de inversión de las fuentes renovables.²

carbón se han vuelto competitivas con las tecnologías de gas natural y siendo una tecnología limpia es una opción excelente para lograr la diversificación de combustibles en el país.

El desarrollo y la aplicación de las energías renovables para la generación eléctrica en México en el horizonte de los próximos 10 años dependerán de la evolución de factores críticos que incluyen el desarrollo tecnológico y de mercado en el plano internacional, así como de aspectos ambientales. La tabla 3 presenta la capacidad estimada por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que podría instalarse en el país empleando fuentes renovables para finales del año 2011, así como la probabilidad de que esto ocurra y los factores que pueden favorecer o dificultar su realización.²

Barreras para el desarrollo de las fuentes renovables en México

Actualmente los sectores eléctricos del mundo atraviesan por una revolución tecnológica que está modificando radicalmente su organización y operación: las empresas de electricidad ya no actúan de manera vertical, como simples suministradores de insumos, sino que hoy día se han transformado en empresas especializadas que ofrecen bienes y servicios personalizados. Para lograr la modernización del sector eléctrico es necesario que las empresas e instituciones del mismo lleven a cabo su manejo, planeación y desarrollo con plena autonomía, para así responder de la mejor manera posible a las necesidades de corto, mediano y largo plazo de los usuarios y no responder a objetivos ajenos a los de la industria eléctrica.²

En México se necesita una reglamentación del sector eléctrico que sea flexible y brinde la oportunidad y seguridad a la inversión para el desarrollo de proyectos de generación de energía con fuentes alternativas, y que impulsen la investigación y el desarrollo de estas tecnologías por parte de las empresas públicas responsables del suministro de energía eléctrica. La reforma propuesta debe cumplir con los siguientes objetivos:

Dentro del programa de expansión de la CFE se incluyen los proyectos hidroeléctricos de El Cajón y de Chicoasén en su segunda etapa con una capacidad conjunta de 1,686 MW.

- Lograr el abasto de electricidad suficiente para cubrir el crecimiento de la demanda de energía eléctrica.
- Llevar a cabo una profunda modernización de la infraestructura actual para alcanzar una mayor eficiencia del sector.
- Fortalecer a las empresas públicas del sector, para que tengan un funcionamiento equiparable al de sus competidores y puedan convertirse en empresas públicas productivas.

En particular, la propuesta incluye la no privatización de la industria eléctrica, y prevé que el Estado mantenga la propiedad de los activos de CFE y de LFC. Esta propuesta en uno de sus doce puntos contempla un impulso a la inversión en proyectos que promuevan el uso de las fuentes de energía alternas para la generación de energía eléctrica.

Recurso	Capacidad probable para el 2011 (MW)	Probabilidad	Factores críticos para su desarrollo
Eólico	2,000	Media	Marco legal
Solar Foto-voltaico	10-20	Alta	Desarrollo de mercado
Solar Térmico	30-50	Baja	Desarrollo tecnológico y marco legal
Biomasa	150	Alta	Desarrollo tecnológico y marco legal
Mini-hidráulica	150	Alta	Desarrollo tecnológico y marco legal
Celdas de combustible	10-20	Media	Desarrollo tecnológico y de mercado
Geotermia de Alta Entalpia (T>180°C)	2,400 MWe	Alta	Mejorar competitividad en costos
Geotermia de Baja Entalpia (T<180°C)	5,000 Mwt	Alta	Marco legal

Tabla 3. Proyección del crecimiento de las fuentes renovables en México.
Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Conclusiones

México cuenta con un gran potencial y diversidad de fuentes renovables: solar, eólica, minihidráulica, biomasa y geotérmica a lo largo y ancho de todo el país. Sin embargo, a excepción de las grandes hidroeléctricas y de las plantas geotérmicas, este potencial apenas comienza a ser explotado. A nivel mundial, la generación de energía eléctrica usando fuentes renovables es una realidad desde hace ya varios años. Se necesitan regulaciones del sector eléctrico que permitan el desarrollo de estas fuentes y presten seguridad a la inversión.

A pesar de que existen proyectos eléctricos en construcción que emplean fuentes renovables, la contribución de estas energías apenas figura a nivel global en la generación de energía en nuestro país. Debe apoyarse la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan de forma económica, segura y confiable el empleo de los recursos renovables con los que cuenta México. Los beneficios del uso de energías renovables son sin duda alguna la preservación del ambiente, mejores condiciones ambientales, la no dependencia de combustibles fósiles y por ende una reducción de los costos en la generación de energía. Falta mucho por hacer en México respecto al empleo de las fuentes renovables y es tiempo de que el sector eléctrico tome como una alternativa viable y confiable el uso de estas tecnologías limpias, las cuales siempre benefician a la humanidad y a la conservación de nuestro planeta. ●

[Referencias]

- ¹ M. Godoy Simoes, y Felix A. Farret, *Renewable Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators*, CRC Press, 2004.
- ² *Prospección del Sector Eléctrico 2001-2010*, Secretaría de Energía, CRE.
- ³ Ponencia "Innovaciones Tecnológicas", XIX Reunión de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial 2006.
- ⁴ Added Values of Photovoltaic Power Systems. International Energy Agency, Report PVPS T1-09:2001.
- ⁵ The North American Fund for Environmental Cooperation, "The Potential for Using a Renewable Certificate System to Encourage Renewable Energy Development in Mexico".
- ⁶ Ponencia "Central Eólica La Venta II", XIX Reunión de Verano de Potencia, Aplicaciones Industriales y Exposición Industrial 2006.
- ⁷ Estudio de la situación minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla, 1995.
- ⁸ Programas Estatales de Minihidráulica. CONAE, 2002.

¹ Capacidad adicional comprometida. Capacidad adicional que se pondrá al servicio del Sistema Eléctrico Nacional en los próximos años, a través de fuentes de generación en proceso de construcción, licitación o ya contratadas, así como de compras firmes de capacidad, incluyendo importaciones.

Celda SOFC en operación a alta temperatura.



Generación electroquímica de energía eléctrica:

de los dispositivos electrónicos portátiles a las plantas industriales

UNO DE LOS CAMPOS DISCIPLINARIOS QUE HA TENIDO UN MAYOR AVANCE EN LOS ÚLTIMOS AÑOS, EN BUSCA DE SUSTITUIR AL PETRÓLEO COMO COMBUSTIBLE, TIENE QUE VER CON LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR VÍA ELECTROQUÍMICA, QUE ADEMÁS PUEDE TENER UN DOBLE IMPACTO AMBIENTAL.

Javier Rodríguez Varela

Introducción

A pesar de cierta controversia, se ha establecido que en las próximas décadas las reservas mundiales de petróleo disminuirán de forma acelerada,¹ lo que traerá como consecuencia un fuerte impacto en la economía de aquellos países que no hayan desarrollado tecnologías alternativas de generación de energía. Como parte de este escenario, en algunos medios científicos se ha propuesto un cambio radical en el vector energético mundial y el paso de una economía basada en el petróleo a una basada en el hidrógeno como combustible. Obviamente, este paso requeriría de un periodo de transición que permitiera sustituir la tecnología que ha soportado el desarrollo mundial

desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, por una nueva tecnología no contaminante y de mayor eficiencia de conversión.

En otro escenario, diversos grupos de investigación proponen la producción de biocombustibles a partir de medios biológicos como una alternativa viable para la generación de energía de manera económica y aceptable desde un punto de vista medioambiental.² Por ejemplo, mediante la aplicación de procesos de estabilización anaerobia de efluentes residuales y con el apoyo de modernas técnicas de control es posible optimizar el contenido de biometano en los gases generados por efluentes urbanos e industriales. Igualmente, procesos de este tipo pueden emplearse

JAVIER RODRÍGUEZ VARELA Profesor Titular en la Unidad Saltillo del Cinvestav. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1. Hizo el doctorado en ingeniería de materiales-electroquímica en la École Polytechnique de Montréal sobre "celdas de combustible de consumo directo de gas propano". Realizó una estancia posdoctoral en la misma École Polytechnique en temas relacionados con la electro-oxidación

directa de alcoholes a baja temperatura y con nuevos electrocatalizadores para la reacción de reducción del oxígeno con alta tolerancia a moléculas orgánicas. Los temas que desarrolla son la electrocatálisis, la electroquímica, las celdas de combustible y las fuentes alternativas de energía. Ha sido evaluador de Proyectos de Investigación de Fondos Mixtos y Fondos Sectoriales del Conacyt.
javier.varela@cinvestav.edu.mx

En buena medida, uno de los principales atractivos de las celdas tiene que ver con la variedad de combustibles que pueden emplearse para alimentarlas y de esta manera generar energía eléctrica.

para producción de biohidrógeno. En este contexto, uno de los mayores avances en el campo de los biocombustibles está relacionado con la producción de bioetanol, un líquido incoloro de baja toxicidad y medioambientalmente compatible, que es producido principalmente por un proceso de fermentación de caña de azúcar, aunque también puede obtenerse químicamente reaccionando etileno con vapor. En algunos países el bioetanol es producido en volúmenes importantes y es aceptado por la sociedad como un excelente aditivo para la gasolina.

Ahora bien, existen algunos puntos importantes que deben ser considerados antes de poder hablar de una economía basada en hidrógeno y biocombustibles. En primer lugar, se debe establecer a gran escala la industria de generación de estos combustibles, la cual debe contar con tecnologías de producción de grandes volúmenes no costosa y confiable. En segundo lugar, se deben desarrollar nuevos dispositivos de conversión de energía que permitan el aprovechamiento de la energía contenida en los combustibles arriba mencionados y que a la vez resulten atractivos por su alta eficiencia y bajo impacto al medioambiente.

Uno de los campos disciplinarios que ha tenido un mayor avance en los últimos años tiene que ver con la generación de energía eléctrica por vía electroquímica. Particularmente, se ha trabajado en el desarrollo de celdas de combustible de baja y alta temperatura.³⁻⁵ Tanto en la industria como en la academia, grupos de investigación básica y aplicada han alcanzado metas

cuya finalidad es lograr la comercialización a gran escala de estos dispositivos. Recientemente se ha llevado a cabo investigación que ha impactado positivamente en los costos de producción de las celdas. Por ejemplo, gracias a nuevas formulaciones de diseño se ha reducido notablemente la cantidad de electrocatalizador empleada en electrodos de celdas de combustible. Debido a que el electrocatalizador más utilizado en celdas de baja temperatura es el platino (Pt), una carga menor de material catalítico en los electrodos repercute de manera directa en el costo de una celda en términos de pesos (o dólares) por kilowatt-hora. Esto, aunado a su alta eficiencia energética, ha dado como resultado que las celdas de combustible se ubiquen en una posición relevante y sean catalogadas como uno de los principales generadores de energía del futuro.

Pero, ¿Qué relación existe entre las celdas de combustible, el hidrógeno y los biocombustibles? En buena medida, uno de los principales atractivos de las celdas tiene que ver con la variedad de combustibles que pueden emplearse para alimentarlas y de esta manera generar energía eléctrica. Como ha sido mencionado, existen celdas de baja y de alta temperatura, lo que permite contemplar diversos tipos de combustibles, que van desde el hidrógeno puro hasta hidrocarburos, pasando por alcoholes como metanol y etanol. Además, el combustible que se utiliza tiene una influencia determinante en la densidad de potencia que se puede obtener de una celda, y por lo tanto su aplicación como unidad de generación de electricidad.

En las próximas décadas las reservas mundiales de petróleo disminuirán de forma acelerada.



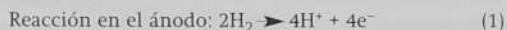
En este sentido, un sistema que contemple el acoplamiento de un proceso biológico de gasificación de efluentes con una celda de combustible puede resultar una opción altamente eficiente y económica para generar energía eléctrica, teniendo un doble impacto medioambiental: la limpieza de aguas residuales, y el aprovechamiento del biocombustible producido empleando dispositivos electroquímicos de alta eficiencia.

Las celdas de combustible³

Una celda de combustible es un generador electroquímico que produce energía eléctrica directamente a partir de la reacción química entre un combustible y el oxígeno del aire. Las celdas están integradas por tres elementos principales: dos electrodos (ánodo y cátodo) y un electrolito. En el ánodo se lleva a cabo la reacción de oxidación del combustible, generando electrones y protones. Los protones formados son transportados por difusión hacia el cátodo a través del electrolito, mientras que los electrones emprenden un circuito externo. En el cátodo se desarrolla la reacción de reducción del oxígeno por combinación entre el oxígeno del aire, y los electrones y protones producidos en el ánodo. El electrolito es el medio de transporte de los protones de un electrodo al otro y sirve de separador entre los reactivos anódicos y catódicos. Las principales características de los electrolitos de alto desempeño incluyen una alta conductividad protónica, una alta

resistividad electrónica y una excelente estabilidad tanto electroquímica como térmica. La figura 1 presenta un esquema de las reacciones que tienen lugar en una celda hidrógeno/oxígeno de baja temperatura.

La reacción de oxidorreducción que tiene lugar en una celda de este tipo genera agua y calor como productos de reacción. Dichas reacciones son:



El producto de las reacciones en una celda H_2/O_2 es agua y calor, como se aprecia en la reacción (3).

Las celdas de combustible pueden clasificarse de diversas formas: i) según el combustible utilizado (i.e., la celda H_2/O_2), ii) de acuerdo con la temperatura de operación (baja, intermedia o alta), iii) según el electrolito (de membrana, de óxido sólido, etc.). A continuación se hará una breve descripción de los dos tipos de celdas que han alcanzado un mayor desarrollo y sus aplicaciones de acuerdo con el tipo de combustible y por consiguiente a la potencia eléctrica generada. También presentaremos una relación entre éstas y los biocombustibles, que representan una alternativa viable para operar celdas de combustible.

Autobús funcionando con celdas de combustible PEM.



Celdas PEM de 15 kW y 4 kW, 100 y 60 W.



El desarrollo de membranas perfluoradas conteniendo grupos de ácido sulfónico por parte de la sociedad E.I. DuPont Nemours hizo renacer el interés por las celdas de membrana polimérica.

Las Celdas de Combustible de Electrolito de Membrana Polimérica⁴

Las Celdas de Combustible de Electrolito de Membrana Polimérica, o celdas tipo PEM (Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells) son sistemas que han experimentado un avance tecnológico importante en los últimos años. Recientemente algunos de los problemas más importantes relacionados con las celdas PEM H_2/O_2 han sido identificados y resueltos. En la actualidad, altas densidades de potencia pueden obtenerse a presiones y temperaturas relativamente bajas, empleando electrodos a difusión de gas a base de metales nobles y un polímero sólido como electrolito. Debido a su desempeño y características físicas las celdas PEM han sido propuestas como la mejor alternativa para vehículos eléctricos.

Sin embargo, el desarrollo de las celdas PEM no ha sido fácil. La celda H_2/O_2 experimentó un progreso importante en los años sesenta gracias al programa espacial Gemini. A pesar de esto, las primeras celdas implementadas en esos años presentaban serios problemas tecnológicos, entre los cuales podemos mencionar dos: la baja estabilidad electroquímica de las membranas y la cantidad muy elevada de electrocatalizadores a base de Pt utilizada en las celdas.

Evidentemente, la inestabilidad de las membranas desaceleró el desarrollo de las celdas PEM. Las primeras celdas empleaban membranas poliméricas con una estructura basada en hidrocarburos como el poliestireno con grupos de ácido sulfónico transversalmente ligados a una película de

fluorocarburo inerte. Estas membranas no tenían una estabilidad electroquímica apropiada y presentaban serios problemas de degradación causada por la ruptura de enlaces C—H en su estructura, lo que limitaba de manera significativa la temperatura de operación de las celdas. El desarrollo de membranas perfluoradas conteniendo grupos de ácido sulfónico por parte de la sociedad E.I. DuPont Nemours hizo renacer el interés por las celdas de membrana polimérica. Tal es el caso de las membranas de la familia de Nafion, que son ionómeros constituidos por cadenas fluorocarbonadas que portan grupos de ácido sulfónico distribuidos a lo largo de la cadena principal de politetrafluoretileno o PTFE (Teflón). Las membranas de Nafion son sintetizadas por copolimerización del tetrafluoretileno y éter vinilo perfluorado. El copolímero obtenido es laminado en forma de película de varias decenas de μm de espesor. Las membranas de la familia de Nafion presentan una alta conductividad protónica y estabilidades electroquímica, térmica y mecánica importantes.

Por otro lado, la cantidad elevada de platino requerido por las primeras celdas PEM, en algunos casos del orden de 50-60 miligramos de Pt por centímetro cuadrado (mg_{Pt}/cm^2), muy importante desde el punto de vista económico, afectó la aceptación generalizada de las celdas. En este sentido, un avance tecnológico muy importante fue logrado por investigadores de Los Alamos National Laboratory. Con el solo hecho de agregar Nafion líquido a la superficie catalítica de los electrodos fue posible aumentar la conductividad protónica en la interfaz electrodo-

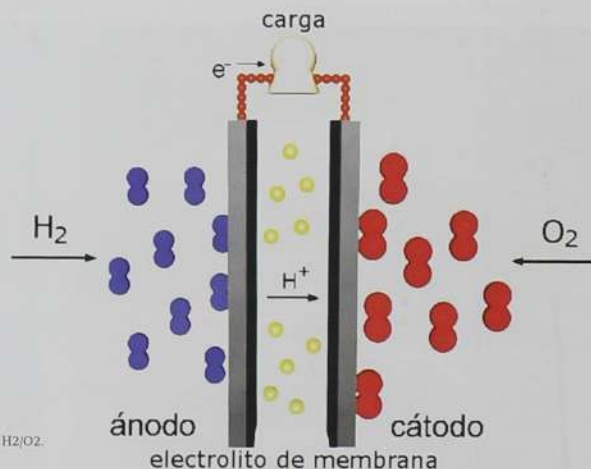


Fig. 1. Representación esquemática de una celda PEM H_2/O_2 .

electrolito, creando de esta forma una capa catalítica en tres dimensiones. La presencia del Nafion promueve la creación de una zona de triple contacto formada por los reactivos gaseosos, el electrolito sólido y el electrodo. Es en esta zona donde las reacciones que tienen lugar en la superficie del electrodo se desarrollan rápidamente. Ha sido demostrado que utilizando esta técnica de preparación un electrodo con una cantidad de electrocatalizador mucho más pequeña puede presentar desempeños comparables a electrodos preparados utilizando otras técnicas con una cantidad mucho mayor de electrocatalizador (por ejemplo 0.35 vs. 4 mg_{Pt}/cm²). Evidentemente, esta baja carga de material catalítico ha tenido un impacto favorable en el desarrollo de las celdas PEM, con una disminución en los costos de fabricación.

Las celdas PEM trabajan en un intervalo entre 25 y 80°C. La temperatura está limitada por la máxima temperatura a la que pueden operar las membranas en niveles aceptables de desempeño. Esto reduce a su vez las opciones en lo que se refiere a combustibles que pueden ser empleados en celdas de baja temperatura. Por ejemplo, la cinética de reacción de hidrocarburos a baja temperatura es muy lenta, por lo que las densidades de corriente que se obtienen de celdas del tipo hidrocarburo/oxígeno son muy bajas. Por lo tanto, se reduce de cierta manera el número de combustibles considerado una opción real para este tipo de celdas.

La celda PEM H₂/O₂

Existen al menos dos factores a considerar cuando diversos combustibles son propuestos para alimentar

una celda PEM: i) la cinética de reacción del combustible dada la temperatura de operación de la celda, ii) el efecto de los intermediarios de reacción sobre los electrocatalizadores de la celda de combustible.

En el caso del hidrógeno, la cinética de reacción es muy rápida incluso a temperatura ambiente. Además, la reacción de oxidación del H₂ no genera especies intermediarias que pudieran afectar el desempeño de los electrocatalizadores. En este sentido, normalmente ánodos y cátodos a base de Pt son empleados en celdas PEM H₂/O₂. Este metal presenta la mayor actividad catalítica tanto para la oxidación del hidrógeno como para la reducción del oxígeno. Estas ventajas hacen del Pt el material por excelencia en este tipo de celdas.

Debido a esto, es posible obtener altos desempeños de celdas H₂/O₂, lo que abre la posibilidad a múltiples aplicaciones para estos dispositivos. Así, densidades de potencia que van de unos cuantos watts eléctricos (W_e) a varias decenas de kW_e pueden obtenerse de celdas PEM que funcionan con hidrógeno. Un intervalo tan amplio en densidad de potencia otorga ventajas a las celdas con respecto a las baterías convencionales, sobre todo al considerar una densidad de potencia por unidad de volumen o de peso, la cual es muy pequeña en el caso de las últimas. Debido a estas características existe una amplia gama de aplicaciones para celdas PEM H₂/O₂, lo cual les ha abierto un nicho de mercado muy importante. Algunas de las aplicaciones de las celdas H₂/O₂ se muestran en la tabla 1, incluyendo las potencias típicas obtenidas.

Aplicación	Intervalo de potencia
Transportación (vehículos y autobuses)	50-250 kW _e
Residencial	1-5 kW _e
Industrial	10-20 kW _e

Tabla 1. Principales aplicaciones de las celdas PEM H₂/O₂ y potencias típicas.

La celda de consumo directo de alcohol

Las celdas PEM de consumo directo de alcohol han sido desarrolladas como una alternativa al uso del hidrógeno. Esta estrategia se basa en la alta densidad de energía liberada por algunos alcoholes y en el estado líquido de estos combustibles, lo cual elimina los problemas relacionados con el almacenamiento de combustibles gaseosos. Dos alcoholes han sido los más estudiados como en celdas PEM: el metanol y el etanol (6.1 y 8.0 kWh/kg en densidad de energía, respectivamente).

Por otro lado, la electro-oxidación directa de alcoholes a bajas temperaturas presenta varias desventajas comparada con la electro-oxidación del hidrógeno, debido principalmente a los intermediarios de reacción que se forman durante una oxidación incompleta de las moléculas orgánicas y que reducen la actividad catalítica de los electrodos de platino usados como ánodos. Por ejemplo, uno de los intermediarios de reacción que más afectan al Pt es el CO, que se forma de la oxidación parcial tanto de metanol como de etanol. Sin embargo, el desarrollo de aleaciones de platino con elementos como rutenio o estaño (PtRu y PtSn, respectivamente), con mayor tolerancia a especies intermediarias, ha sido un factor determinante para incrementar las densidades de corriente obtenidas de celdas de metanol y etanol.

Con el uso de las aleaciones como electrocatalizadores anódicos, densidades de potencia que van desde unos pocos mWe a varios kWe pueden obtenerse de celdas alimentadas con este tipo de combustibles líquidos. Las principales aplicaciones

de las celdas PEM de consumo directo de alcoholes, así como las potencias típicas, se muestran en la tabla 2.

Las aplicaciones que se consideran más atractivas para las celdas de consumo directo de alcohol son tanto en vehículos eléctricos como en dispositivos portátiles.

Las celdas PEM y los biocombustibles

Diversos biocombustibles pueden ser considerados en aplicaciones que incluyan celdas de baja temperatura. Por ejemplo, las celdas PEM pueden ser alimentadas con biohidrógeno obtenido de un proceso biológico de gasificación. Esto abre la posibilidad de acoplar un sistema de generación de biocombustibles con una celda de combustible, lo cual aumentaría la eficiencia de generación de energía eléctrica, si se toman en consideración las altas eficiencias alcanzadas por los sistemas electroquímicos.

Otra estrategia interesante propuesta recientemente incluye el uso de bioetanol como combustible en celdas de consumo directo. Este alcohol es el biocombustible de más alto volumen de producción a nivel mundial y su proceso de generación es ampliamente conocido y confiable. Además el nivel de pureza del etanol biológico es aceptable para alimentar una celda C_2H_5OH/O_2 . Tal tipo de celda puede representar una opción interesante debido a que se trata de un proceso de generación de energía que en principio no altera el ciclo del CO_2 . Con esto se reduce el riesgo de emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En este sentido, se considera que la importancia de sistemas híbridos como el aquí descrito se incrementará

Aplicación	Intervalo de potencia
Transportación (vehículos eléctricos, sistemas de potencia auxiliares)	25-50 kWe
Dispositivos portátiles (teléfonos celulares, computadoras portátiles)	1-3 We
Microdispositivos electrónicos	20 mW-1 We
Sistemas estacionarios (residencias, ¹ sistemas de potencia remotos ²)	15-10 kWe 210-100 kWe

Tabla 2. Aplicaciones e intervalos de potencia de celdas PEM

a medida que disminuyan las reservas de petróleo y se requiera el uso de combustibles alternativos. Además, se pueden poner a punto técnicas de control para optimizar el volumen de biocombustible producido durante el proceso de gasificación, de tal manera que se tendría un ciclo producción-generación de electricidad medioambientalmente compatible.

Las Celdas de Combustible de Óxido Sólido⁵

Las Celdas de Combustible de Óxido Sólido o SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) deben su nombre al tipo de electrolito que se emplea en su construcción. Se trata de óxidos cerámicos en estado sólido con características muy especiales, debido a las altas temperaturas de operación que alcanzan las celdas de esta clase. Al igual que las celdas PEM, las celdas de alta temperatura han logrado un avance tecnológico importante y se ubican en una etapa de precomercialización a gran escala. En las últimas décadas la compañía Siemens ha sido líder a nivel mundial en ciencia básica y desarrollo de productos de celdas SOFC. Recientemente, esta compañía anunció la puesta en operación de un sistema híbrido SOFC/turbina de gas de 220 kW operando con gas natural como combustible, el primer sistema híbrido de su tipo, el cual ha alcanzado una eficiencia eléctrica de alrededor de 53 %. En esta configuración, la temperatura del gas a la salida de la celda de combustible es de 850 °C, lo que permite su aprovechamiento en la turbina para cogeneración de electricidad.

Siemens también ha desarrollado dispositivos de generación combinada de potencia y calor o CHP

(Combined Heat and Power), donde el calor generado por las celdas SOFC es aprovechado en algún otro proceso. De esta manera, la eficiencia global de una unidad CHP puede aumentar en alrededor de 80%. Un sistema CHP de 250 kW ha sido instalado recientemente por Siemens en Toronto, Canadá, y está bajo evaluación.

El principio de operación de las celdas SOFC se basa en reacciones exotérmicas que se desarrollan de tal forma que su temperatura de operación está normalmente en el intervalo de 700 a 1000 °C, aunque existe otro tipo de celdas que ha sido llamado Celdas de Combustible de Óxido Sólido de Temperatura Intermedia o IT-SOFC (Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells), el cual tiene una temperatura de operación entre 400 y 600 °C. Debido a las altas temperaturas, los materiales empleados deben tener propiedades termomecánicas que les permitan mantener un alto desempeño bajo condiciones de trabajo extremas. La tabla 3 muestra los materiales más utilizados en celdas SOFC.

El material que ha demostrado un mejor desempeño como electrolito en celdas SOFC es el circonio estabilizado con itrio o YSZ (Yttria-Stabilized Zirconia). El YSZ es un material cerámico con una alta conductividad iónica, además de que llama la atención su coeficiente de expansión térmica y su resistencia a la fractura a altas temperaturas. Por otro lado, las altas temperaturas permiten que metales como el níquel y el cobre o materiales cerámicos del tipo LaMnO_3 puedan ser utilizados como electrocatalizadores en ánodos y cátodos, respectivamente. Esto permite reemplazar al

Aplicación	Electrolitos	Ánodos	Cátodos
Celda SOFC	Circonio estabilizado con itrio o YSZ (Yttria-Stabilized Zirconia) Cerio dopado con samario o SDC (Samaria-Doped Ceria) $\text{La}_{0.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Gd}_{0.8}\text{Mg}_{0.2}\text{O}_3$ (LSGM)	NiO/YSZ NiO/SDC Cu/YSZ	LaMnO_3 dopado con Sr, Ce o Pr $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3/\text{SDC}$

Tabla 3. Materiales con mejor desempeño en celdas SOFC.

Las celdas de combustible pueden ser empleadas como generadores de electricidad en una amplia gama de aplicaciones, en intervalos de potencia eléctrica que van de unos pocos mW a varios cientos de kW.

platino, un metal caro y ampliamente empleado en celdas PEM, por otros materiales más económicos.

Precisamente, debido a las altas temperaturas de operación, las celdas SOFC ofrecen una mayor flexibilidad al momento de evaluar la factibilidad de diversos combustibles. Esto significa que aparte del hidrógeno, combustibles que contienen carbón en su estructura molecular pueden ser considerados para celdas de alta temperatura. Así, hidrocarburos como CH_4 y C_3H_8 han sido utilizados para alimentar celdas SOFC. Al mismo tiempo, la oxidación de alcoholes como metanol (CH_3OH) y etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) en celdas IT-SOFC ha sido estudiada, obteniéndose altas densidades de corriente.

Una ventaja de las celdas SOFC con respecto a las celdas PEM involucra el límite de impurezas permitido cuando se utiliza hidrógeno como combustible. Por ejemplo, en el caso de las celdas de baja temperatura los niveles permitidos de CO son del orden de 10 ppm en el gas alimentado al ánodo. Concentraciones arriba de este valor tienen un efecto negativo sobre los electrocatalizadores de ánodos a base de platino de celdas PEM, debido a que las moléculas de CO se adsorben fuertemente sobre los sitios catalíticos del electrocatalizador e inhiben la reacción de oxidación del hidrógeno en el ánodo. En contraste, el nivel de impurezas no representa ningún problema en las celdas SOFC. De hecho, gases carbonosos como CO y CO_2 han sido utilizados como combustibles en celdas de óxido sólido.

En este sentido, hidrógeno de baja pureza conteniendo altas concentraciones de monóxido y dióxido de carbono puede ser considerado en

aplicaciones a alta temperatura. La tabla 4 presenta una lista de combustibles que han sido utilizados en celdas SOFC y que se catalogan con un alto grado de factibilidad para su empleo en este tipo de celdas.

En la tabla 5 se presentan algunas aplicaciones de las celdas SOFC, además del intervalo de potencia típico que puede ser generado por estos dispositivos.

Una variación del sistema híbrido SOFC/turbina de gas mencionado aquí arriba ha sido propuesta y está basada en el uso de carbón como combustible. En esta configuración, el carbón es sometido a un proceso de gasificación a partir del cual se obtiene gas de síntesis y posteriormente hidrógeno. En este caso, no es necesario someter al gas de síntesis a un complicado tratamiento para obtener hidrógeno de alta pureza. Aun con cierto nivel de impurezas, el H_2 obtenido a partir del gas de síntesis puede ser introducido a la celda SOFC para generación de electricidad. El sistema de generación propuesto tendría principalmente tres tipos de aplicación: i) como sistema central de potencia, ii) como dispositivo de generación en sistemas de transporte, y iii) como sistema de generación distribuida de energía. Un esquema del ciclo basado en la gasificación del carbón y que incluye el aprovechamiento de los gases producidos en una celda SOFC para generación de electricidad es presentado en la figura 2.

Las celdas SOFC y los biocombustibles

Tal como se muestra en la tabla 6, las celdas SOFC pueden ser alimentadas con una gran variedad de biocombustibles, incluyendo diversos gases carbonosos

Combustible	
H ₂ de baja y alta pureza	CO ₂
Carbón	Diesel
CH ₄	Gasolina
C ₃ H ₈	Biogases
CO	Metanol
	Etanol

Tabla 4. Combustibles considerados para aplicación en celdas SOFC.

Aplicación	Intervalo de potencia
Residencial (incluye sistemas CHP)	5-10 kWe
Industrial (incluye cogeneración y CHP)	10-250 kWe

Tabla 5. Principales aplicaciones de las celdas SOFC.

que no podrían ser usados de manera ventajosa en celdas de baja temperatura. Esto incluye hidrocarburos, donde destaca el CH_4 y C_3H_8 . Además, hidrógeno conteniendo altos niveles de impurezas puede ser considerado para su uso en celdas de alta temperatura. Así, el biohidrógeno obtenido de un proceso de gasificación puede ser introducido directamente en la celda, sin necesidad de ser sometido a procesos de purificación.

Un caso particular de un proceso biológico acoplado a una celda SOFC ha sido propuesto recientemente en la Unidad Saltillo del Cinvestav. Se trata de la optimización del contenido de biometano en un proceso de gasificación de efluentes residuales empleando técnicas avanzadas de control, y su posterior aprovechamiento como combustible en una celda de alta temperatura. Una aproximación de este tipo permite obtener al menos tres beneficios en el corto plazo:

- Se contribuye a tratar eficientemente los efluentes residuales, disminuyendo así el efecto de la contaminación ambiental que estos producen.
- Se propone lograr un mejor control del proceso para mantener un alto rendimiento en el flujo y las propiedades del biogás.
- Se implementan sistemas electroquímicos de conversión de energía de alta eficiencia que hacen posible el aprovechamiento *in situ* del biocombustible generado.

De esta manera, se considera que las celdas SOFC tienen un nicho de oportunidad en sistemas híbridos basados en biocombustibles.

Conclusiones

Las celdas de combustible representan una opción interesante como generadores de energía eléctrica. Se ha discutido en este trabajo sobre los tipos de celdas que presentan un mayor avance tecnológico y se encuentran en etapa de precomercialización: las celdas PEM de baja temperatura y las celdas SOFC de alta temperatura. Cada una de estas tecnologías presenta ventajas y desventajas, aunque ambas tienen un nicho de oportunidad en el mercado energético. Las celdas de combustible pueden ser empleadas como generadores de electricidad en una amplia gama de aplicaciones, en intervalos de potencia eléctrica que van de unos pocos mW a varios cientos de kW.

Otro aspecto interesante es que una serie de biocombustibles obtenidos a partir de procesos biológicos pueden ser usados para alimentar las celdas de combustible. En el caso de las celdas de baja temperatura, tanto biohidrógeno como bioalcoholes pueden ser una opción viable. Por otro lado, las celdas de alta temperatura presentan una mayor flexibilidad y biocombustibles que contienen impurezas o gases carbonosos pueden ser introducidos en la celda sin afectar el desempeño de los electrocatalizadores de ánodos. Un caso de estudio lo es la producción de biometano en efluentes residuales y su uso como combustible en una celda SOFC para generar energía eléctrica. ●

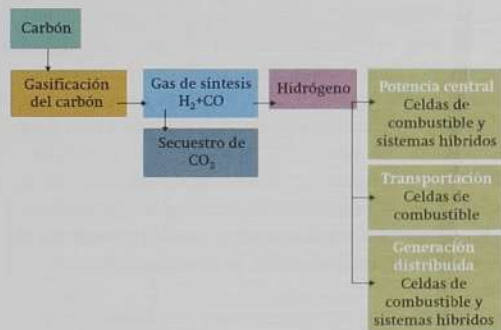


Figura 2. Representación de un sistema basado en el carbón como combustible. El sistema incluye el aprovechamiento de los gases generados (H_2 + algunas impurezas) en una celda de combustible SOFC.

[Bibliografía]

- Larminie, J. y A. Dicks, *Fuel Cell Systems Explained*, John Wiley y Sons, Inc., Inglaterra, 2000.
- Lewis, N.S. California Institute of Technology, <http://nsl.caltech.edu>, consultado en junio de 2005.
- Lymberopoulos, N. *Fuel Cells and their application in Bio-energy*, Reporte técnico, Centre for Renewable Energy Sources, Grecia, febrero de 2005.
- Stone, Ch. y A.E. Morrison, *From Curiosity to Power to Change the World*, Solid State Ionics, 152, 1, 2002.
- Williams, M.C., J.P. Strakey y W.A. Surdoyal, U.S. Department of Energy's Solid Oxide Fuel Cells: Technical Advances, *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2, 295, 2005.

Presencia de arsénico en la Comarca Lagunera y su solución desde el punto de vista técnico

PARA ENCONTRAR UNA SOLUCIÓN DEFINITIVA A LA PRESENCIA NATURAL O ANTROPOGÉNICA DE ARSÉNICO EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO, ES NECESARIO QUE LAS AUTORIDADES, LA POBLACIÓN AFECTADA Y LA COMUNIDAD CIENTÍFICA TRABAJEN CONJUNTAMENTE EN LA BÚSQUEDA DE SOLUCIONES PRÁCTICAS. LA PRIMERA MEDIDA ES, DESDE LUEGO, LA DIFUSIÓN DE LA INFORMACIÓN.

Mayeli Alvarez Silva y Alejandro Uribe Salas

El agua es sustancia indispensable para la supervivencia de todas las entidades vivas que poblamos la faz de la Tierra. Sus propiedades únicas han determinado la naturaleza física y biológica de nuestro planeta.

Más de 70% de nuestro peso está constituido por agua. Ésta es indispensable para llevar a cabo los procesos metabólicos que convierten el alimento en energía, además de ser el medio por el cual se regula la temperatura corporal y se transportan las excreciones.

El agua ha estado íntimamente ligada al desarrollo de la humanidad: hace ya alrededor de 7000 años que a las márgenes de los ríos Tigris y Éufrates, en Oriente Medio, se estableció la cuna de la civilización.

En el territorio que actualmente ocupa la República Mexicana se asentaron grandes culturas con una visión cosmogónica, que pronto se percataron de que sin agua no es posible la vida; por eso pusieron en manos de los dioses la tarea importantísima de proporcionar agua a todos los seres vivos: el de la lluvia (Tláloc en el altiplano central, Tajín entre los totonacas, Cocío para los zapotecas y Chaac

en el pueblo maya) es quizá el más importante, en virtud de la ansiedad con la que esperaban las lluvias.

Paradójicamente, el agua que es fuente de vida también puede ser causa de muerte si contiene especies nocivas a la salud: su carácter de solvente universal la hace vulnerable a la contaminación.

De entre todas las especies contaminantes se destaca el arsénico. La ingesta crónica de este elemento a través de agua para beber está asociada a graves padecimientos, entre los que se encuentran daños en el sistema cardiovascular, neuropatías, abortos espontáneos, hiperpigmentación cutánea y cáncer. Ésta es la razón por la cual la Organización Mundial de la Salud marca la concentración máxima permisible en 10 miligramos por metro cúbico, equivalente a 0.01 ppm. Sin embargo, no existe una concentración segura de arsénico, y los límites se establecen de acuerdo con la eficiencia de remoción de las tecnologías disponibles.

En México las regulaciones son más permisivas: el límite máximo estipulado en la modificación a la

MAYELI ALVAREZ SILVA Maestra en Ciencias (2006) de Ingeniería Metalúrgica del Cinvestav, obtuvo el título de Ing. Químico (2003) en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El tema de su tesis para obtener el grado de maestría fue "Desarrollo de un Método Doméstico de Remoción del Arsénico Contenido en Agua de Consumo Humano, mediante la adsorción sobre hidróxido férrico". Ha presentado su trabajo en diversos congresos nacionales e internacionales. mayeli.alvarez@cinvestav.edu.mx

ALEJANDRO URIBE SALAS Ing. Químico (1980) y M. C. en Metalurgia y Materiales (1986) por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Doctor en Ciencias (1991) del Departamento de Ing. Minera y Metalúrgica de la Universidad McGill, Montreal, Canadá. Investigador del Cinvestav desde 1992. Sus áreas de interés están dentro de la extracción de metales y minerales y el tratamiento de efluentes acuosos. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel II) y ha recibido reconocimientos nacionales e internacionales. alejandro.uribe@cinvestav.edu.mx



Comarca Lagunera.

Imagen cortesía de USGS National Center for EROS and NASA Landsat Program Science Office.

Actualmente, en la Unidad Saltillo del Cinvestav está en curso un proyecto que apuesta por la remoción mediante adsorción-coprecipitación con sales de hierro y filtración posterior.

Proceso	Ventajas	Desventajas
Procesos de membrana		
Ultrafiltración	Estudiado exhaustivamente. Buena eficiencia de remoción.	Alto costo de operación.
Nanofiltración	Es una buena alternativa para el tratamiento de agua con grandes cantidades de SDT.	- Alto costo de operación. - Inversión fija y costos de operación altos.
Ósmosis inversa	Remueve eficientemente el arsénico. El agua no requiere pre-tratamientos.	Volumenes grandes de agua de rechazo.
Tratamiento electroquímicos		
Electrodiálisis	Remueve otros contaminantes además del arsénico.	Altos gastos operativos por consumo de energía eléctrica. No es eficiente para el tratamiento de efluentes con altos SDT.
Electrocoagulación	Efectivo para el tratamiento de efluentes con altos SDT. Aplicable para el tratamiento de agua en un amplio rango de pH.	Altos gastos operativos por consumo de energía eléctrica.
Adsorción		
Alúmina activada	Fácil operación. Remueve eficientemente el As(V) y aceptable desempeño en la eliminación de As(III).	No aplicable en la presencia de iones competitivos (i.e., F-, SiO₃²⁻ y PO₄³⁻). Muy dependiente del pH. Regeneración complicada del adsorbente.
Carbón activado granular	Mejora su eficiencia al tratarse con óxidos metálicos.	Poco eficiente.
Hidróxido férrico granular	- Alta eficiencia de remoción. - Fácil operación.	- Adsorbente de importación. - No se regenera.
Otros métodos		
Intercambio iónico	No requiere control estricto de pH. Las resinas son regeneradas fácilmente.	No es aplicable en el tratamiento de agua con altos SDT o sulfatos.
Adsorción-coprecipitación	Método versátil que puede simplificarse para aplicar en el sitio de uso. Remueve eficientemente el arsénico pentavalente. Efectivo en un amplio rango de pH.	Alto gasto operativo derivado del consumo de reactivos y la disposición de sólidos residuales.

Tabla 1. Comparación de las diversas tecnologías disponibles para la remoción del arsénico.

Variables originales		Variables codificadas	
Temperatura °C	Relación molar Fe/As	Factor A temperatura	Factor B Fe/As
10	10	-1	-1
30	10	+1	-1
10	20	-1	+1
30	20	+1	+1
20	15	0	0
20	15	0	0
20	15	0	0

Tabla 2. Primer diseño factorial 22.

Norma Oficial Mexicana para agua de uso y consumo humano es de 25 miligramos por metro cúbico. A pesar de que es bien sabida la importancia del suministro de agua segura, como medida preventiva de patologías relacionadas con la ingesta crónica de agua contaminada, se carece de tecnologías que permitan disminuir las concentraciones a costos razonables, sin contar con la dificultad de acceder a métodos de análisis que permitan detectar niveles tan bajos.

Problemática en México

En la Comarca Lagunera, región situada en el centro norte de México y que comprende varios municipios de los Estados de Durango y Coahuila, se han detectado acuíferos cuya concentración de arsénico excede decenas de veces los límites establecidos por las regulaciones. En esta región existen zonas en las que el hidroarsenicismo crónico es endémico y donde incluso han surgido brotes de enfermedades asociadas.

La presencia del arsénico en los acuíferos de la Comarca se ha relacionado con fuentes diversas: actividad hidrotermal, uso de pesticidas, industria minera y orígenes sedimentarios. Debido a la sobreexplotación bárbara de los acuíferos, motivada históricamente por las necesidades de la industria agropecuaria de la región, la calidad del agua es cada vez más baja; además del incremento en las concentraciones de arsénico ya existen problemas severos de alta salinidad.

Los habitantes de las poblaciones rurales conforman el grupo más vulnerable, ya que en muchas ocasiones tienen como única fuente de abastecimiento el agua envenenada; en el mejor de los casos se han aplicado medidas paliativas, como el suministro de agua "segura" a través de pipas que, a decir de algunos pobladores, no es del todo regular. Igualmente alarmante resultó conocer los resultados arrojados del análisis químico realizado en laboratorios de la Unidad Saltillo del Cinvestav: las muestras del agua de abasto, proporcionada por habitantes de dos ejidos del municipio de Francisco I. Madero sobrepasaban con mucho los 25 miligramos por metro cúbico. Por tanto, la implementación de una tecnología simple y de bajo

pH	Tf, °C	Orden aleatorizado	Factor A temperatura	Factor B Fe/As	Respuesta: arsénico remanente, µg/L
7.1	13	2	-1	-1	51
7.2	29	5	+1	-1	41
6.9	13	6	-1	+1	14
6.9	27	3	+1	+1	<10
7.0	19	1	0	0	<10
7.0	22	4	0	0	<10
7.0	22	7	0	0	<10

Tabla 3. Resultados del primer bloque experimental.

costo, que permita remover el arsénico a niveles permisibles, representa una necesidad apremiante.

Métodos de remediación

Existe gran variedad de métodos para la remoción de las especies inorgánicas de arsénico presentes en agua de consumo humano, entre los que se cuentan la ósmosis inversa, la electrocoagulación, el intercambio iónico y la adsorción en óxidos metálicos.

Para lograr una correcta elección de la tecnología de remediación, además de la localización y tamaño del sistema, la calidad del agua es un factor importante a tomarse en cuenta. Así, algunos métodos no constituyen una opción viable para tratamiento de aguas que contengan un alto nivel de sólidos disueltos totales (es decir, SDT > 500 mg/L). En la tabla 1 se describen las opciones más importantes de tratamiento y sus principales ventajas y limitaciones.

La remoción de arsénico mediante adsorción-coprecipitación con sales de hierro y filtración posterior es un método atractivo, debido a que presenta una buena relación costo-beneficio. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos sitúa a esta tecnología como una de las siete mejores disponibles debido a su probada eficiencia en estudios exhaustivos. Tiene la ventaja adicional de ser una técnica versátil, lo que permite su aplicación en el sitio de uso, además de que puede simplificarse de tal modo que la infraestructura e inversión fija para su implementación sean mínimas. Por estas razones, representa una buena opción para el tratamiento de agua contaminada en poblaciones rurales cuya situación económica y dispersión de las viviendas hagan inviable la instalación de una planta tratadora de agua.

En este proceso, típicamente se añaden sales de hierro (son comunes el cloruro y el sulfato férricos) al agua a tratar, las cuales se hidrolizan y precipitan como óxidos hidratados insolubles, adsorbiendo el arsénico presente.

Desarrollo del sistema

Actualmente, en la Unidad Saltillo del Cinvestav está en curso un proyecto que apuesta por este método de remoción. El objetivo general consiste en el desarrollo y la eventual puesta en marcha de una tecnología de remediación aplicable a nivel domiciliario, de bajo costo y operación simple. Los resultados obtenidos a la fecha resultan prometedores, por lo que se considera indispensable continuar con la investigación.

El sistema propuesto se divide en dos partes principales: la adsorción del arsénico en la superficie del óxido férrico y, posteriormente, la eliminación de las partículas mediante una etapa de filtración.

En el estudio se realizó la optimización de dos variables independientes: la cantidad de sal férrica (e.g., cloruro férrico), expresada como relación molar Fe/As, y la temperatura; la variable dependiente del proceso es la concentración de arsénico remanente en solución. Para tal fin se empleó la técnica estadística conocida como "método de superficie de respuesta". En términos generales, esta técnica permite conocer las relaciones empíricas entre una o varias respuestas (factores dependientes) y una serie de variables de control (factores independientes).

La optimización de las variables consideradas fue lograda en dos etapas; en la primera de ellas se llevó a cabo un diseño factorial 2^2 con tres puntos centrales, a fin de ajustar los resultados a un modelo polinomial de primer orden, representado por la siguiente ecuación:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$$

Donde y es la concentración de arsénico remanente en solución, x_1 la temperatura, x_2 la relación molar Fe/As, y b_0 , b_1 y b_2 los coeficientes de regresión.

Los niveles iniciales de adición de sal férrica se seleccionaron de acuerdo con resultados de experimentos preliminares; en el caso de la temperatura se consideraron las temperaturas promedio en invierno y en verano de la Comarca Lagunera para los niveles bajo y alto, respectivamente (ver tabla 2). Este diseño presenta las siguientes ventajas: permite comprobar si el modelo plano es adecuado y proporciona una estimación del error experimental.

En la segunda parte del estudio se usó un diseño factorial 2^2 con cuatro puntos axiales y dos puntos centrales. En esta nueva región experimental los resultados se ajustaron a un modelo polinomial de segundo orden, que tiene la siguiente forma:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2$$

La metodología de los experimentos elementales se resume como sigue: primero se preparó una solución de arsénico pentavalente empleando para tal efecto agua

La ingesta crónica de arsénico a través de agua para beber está asociada a graves padecimientos, entre los que se encuentran daños en el sistema cardiovascular, neuropatías, abortos espontáneos, hiperpigmentación cutánea y cáncer.

pH	Orden aleatorizado	Variables originales		Variables codificadas		
		Temperatura °C	Relación molar Fe/As	Factor A temperatura	Factor B Fe/As	Respuesta: arsénico remanente, µg/L
7.2	4	6	15	$-\sqrt{2}$	0	23
7.6	2	34	15	$+\sqrt{2}$	0	28
7.6	5	20	8	0	$-\sqrt{2}$	68
7.3	3	20	22	0	$+\sqrt{2}$	<10
7.5	1	20	15	0	0	11
7.4	6	20	15	0	0	11

Tabla 4. Resultados del segundo bloque experimental.

municipal de Ramos Arizpe, Coah., que se caracteriza por tener una gran cantidad de sólidos disueltos; posteriormente, se agregó la cantidad correspondiente de sal de hierro; se agitó por espacio de 15 minutos y se procedió a separar los sólidos portadores del arsénico adsorbido, empleando papel filtro. Finalmente, se analizó el arsénico remanente en solución.

Los resultados del primer bloque experimental, que se muestran en la tabla 3, nos permiten estimar los coeficientes de regresión del modelo de primer orden; en este punto se asume que la región experimental puede ser considerada como un plano (fig. 1). Al verificar la validez de este modelo, mediante la comparación del error experimental estimado con los parámetros de segundo orden, se observa que no resulta adecuado.

A fin de realizar un ajuste más preciso, el diseño experimental indica que es necesario incorporar más experimentos: cuatro puntos axiales y dos centrales, cuyo resultado está expresado en la tabla 4. La regresión cuadrática de los resultados de los dos bloques experimentales da lugar a la ecuación siguiente:

$$y = 207.577 - 3.504x_1 + 0.073x_1^2 - 18.059x_2 + 0.466x_2^2 + 0.0323x_1x_2$$

Donde y es el arsénico remanente en $\mu\text{g/L}$, x_1 es la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ y x_2 la relación molar Fe/As. La figura 2 es la representación gráfica de dicha ecuación en el rango de interés de las variables independientes.

De la inspección de la figura anterior, se infiere que la relación molar hierro-arsénico es el factor más importante del proceso, siendo mayor la remoción al aumentarse la cantidad de hierro agregado, hasta alcanzar relaciones molares Fe/As alrededor de 18. Relaciones molares mayores parecen tener un efecto adverso. En primera instancia, esto podría atribuirse a la complejidad del proceso, en el cual interaccionan varios fenómenos: la precipitación de los óxidos de hierro, la adsorción del arsénico pentavalente presente y demás especies presentes.

Para relaciones molares bajas (e.g., menores a 10) y altas (e.g., mayores a 25), la temperatura no muestra un

efecto sustancial; para una relación molar dada, el incremento de la temperatura no favorece la remoción. No obstante, para relaciones molares cercanas a la óptima, la eficiencia de remoción se favorece a medida que se aumenta la temperatura hasta llegar a $\sim 20^{\circ}\text{C}$, y disminuye para incrementos posteriores. A pesar de lo anterior, el proceso de remoción de arsénico de agua dura empleando este método parece ser efectivo a cualquier valor de temperatura, siempre y cuando la relación molar de hierro-arsénico sea de alrededor de 18.

Los valores encontrados del proceso de optimización se han probado para remover arsénico pentavalente de agua de diferentes calidades químicas obteniendo buenos resultados. Sin embargo, el tratamiento de agua con arsénico trivalente no ha resultado tan efectivo y la remoción no es completa, por lo que sería necesario incorporar una etapa previa de oxidación, en caso de que el agua a tratar contenga dicha especie.

Luego de la adsorción-coprecipitación del arsénico en los óxidos férricos es preciso separarlos del agua. Una opción sencilla la constituye el empleo de filtros de lecho, que puede estar construido por arena caliza o fibra de vidrio. En este estudio se probaron ambos materiales filtrantes para probar su eficacia. Fueron construidos dos filtros pequeños para los experimentos; estos consistieron en hacer pasar suspensiones de óxidos férricos (portadores del arsénico) a través de ellos y tomar una muestra del líquido filtrado después de hacer pasar un volumen de solución igual a unas 50 veces el volumen del lecho. La muestra fue tratada con ácido para disolver el precipitado remanente y se analizó para determinar el porcentaje de remoción, mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$\% \text{Remoción} = \frac{C_0 - C_f}{C_0} \times 100$$

Donde C_0 es la concentración inicial y C_f es la concentración final de arsénico en el agua filtrada.

La figura 3 muestra la remoción de arsénico en función de los volúmenes de cama tratados. Se observa

Para lograr una correcta elección de la tecnología de remediación, además de la localización y tamaño del sistema, la calidad del agua es un factor importante a tomarse en cuenta.

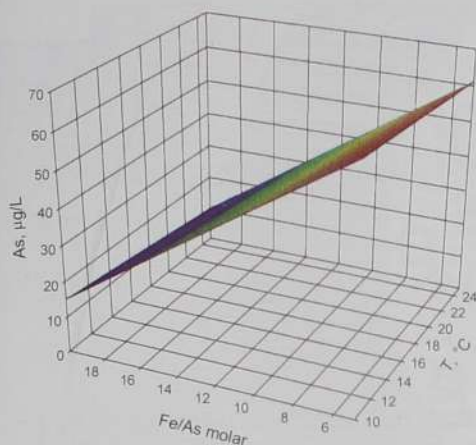


Fig. 1. Superficie de respuesta obtenida de la regresión lineal de los resultados del primer bloque experimental.

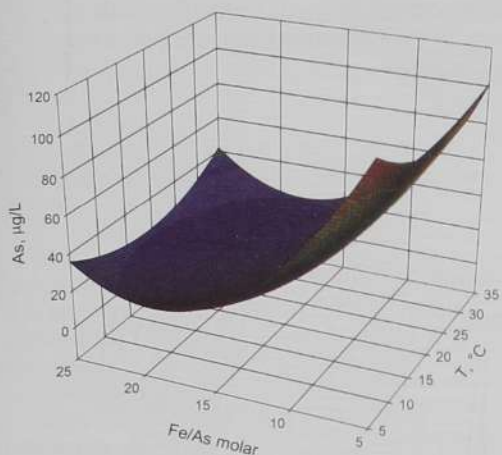


Fig. 2. Superficie de respuesta obtenida de la regresión cuadrática de los resultados del primero y del segundo bloque experimental.

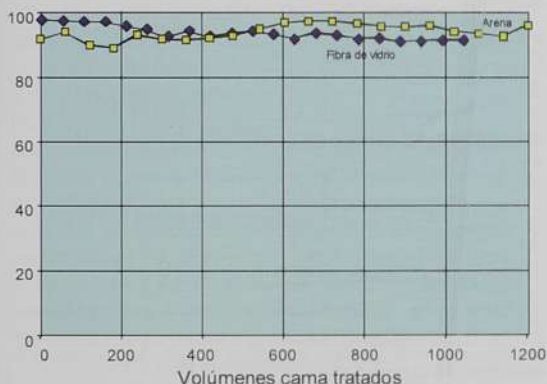


Fig. 3. Comparativo del porcentaje de remoción de arsénico en función de los volúmenes cama de suspensión tratados, al emplear lana de vidrio y arena caliza como material filtrante. Un volumen cama equivale al volumen del lecho filtrante.

que ambos materiales filtrantes ofrecen un buen desempeño; mientras que el filtro de fibra de vidrio baja ligeramente su eficiencia de remoción a medida que se trata más suspensión, el de arena mejora; es probable que esto se deba a que la torta de sólidos formada sobre la cama de arena actúa como otra barrera física para las partículas en la filtración subsecuente.

La elección de uno u otro material dependerá de la ponderación que se le dé a las características de cada uno: así, el caudal de suspensión tratada en el filtro de fibra de vidrio resulta mucho mayor que en el de arena; por otro lado, la construcción del filtro de arena implica un menor costo, pues se dispone de ésta en la región. Otra ventaja de emplear la arena caliza resulta de la disposición de residuos: luego de agotado el filtro, la arena puede mezclarse con cemento y emplearla como material de construcción, de esta manera se asegura que el arsénico no se libere y retorne nuevamente al ambiente.

Recapitulando, el procedimiento completo se puede resumir en los siguientes puntos:

- Determinación de la cantidad de arsénico presente en el agua.
- En caso de que el agua a tratar contenga As(III), además de As(V), es requerida una etapa previa de oxidación; por ejemplo, mediante adición de hipoclorito de sodio.
- Dosificación de la sal férrica, agitando vigorosamente por algunos minutos.
- Hacer pasar la suspensión a través del filtro de lecho.
- Cuando el caudal de agua tratada disminuya a niveles inoperables es necesario reemplazar el material del lecho. ●

Epílogo

A pesar de los esfuerzos realizados, el problema de la contaminación del agua con arsénico persiste. La comunidad científica comprometida con el bienestar social tiene la responsabilidad y la obligación de seguir trabajando en soluciones aplicables a nuestra realidad nacional. A nivel personal, es preciso que todos y cada uno de los mexicanos cuidemos este recurso vital, evitando su desperdicio y uso indebido. De nuestro proceder dependerá nuestra supervivencia.

[Nota]

Es necesario verificar periódicamente mediante análisis químico la composición del agua de salida.

[Referencias]

- <http://who.int/mediacentre/factsheets/fs210/en/>
- http://unesco.org/courier/2001_01/UKplanet.htm/
- <http://www.sos-arsenic.net/>
- <http://www.epa.gov/safewater/arsenic/index.html>

Los enigmáticos números primos

LOS NÚMEROS PRIMOS SON LOS "LADRILLOS" CON LOS QUE, MULTIPLICATIVAMENTE HABLANDO, SE CONSTRUYEN LOS ENTEROS POSITIVOS. DADA LA ANTIGÜEDAD Y EL INTERÉS EN EL TEMA, LOS VÍNCULOS SON MUY NUMEROSOS, DEMASIADOS PARA EL ESPACIO DISPONIBLE, POR LO QUE SOLAMENTE SE PRESENTARÁN ALGUNOS HECHOS Y CONJETURAS RELACIONADAS CON LOS NÚMEROS PRIMOS.

Martha Rzedowski

Introducción

Dentro de este contexto, comenzaremos por abordar las siguientes preguntas: ¿Qué significa -0 ? ¿El número 0 es par o impar?, ¿no es ni par ni impar? ¿El número 1 es primo? Sin entrar en la precisión de qué es un número, convengamos en que los números naturales son los que nos sirven para contar, esto es, son los números

1, 2, 3, 4, 5, ...

Para algunos el número 0 forma parte del conjunto de números naturales y para otros no, cuestión de ponerse de acuerdo.

El conjunto de números enteros consiste de los números naturales, 0 (el número cero) y los negativos de los naturales. Los enteros positivos coinciden con los números naturales.

La adición de enteros es asociativa, conmutativa, contiene a 0 , que es el *neutro aditivo* (cumple $a + 0 = a$ para todo entero a) y cada entero a tiene su *inverso aditivo*, denotado por $-a$ (se tiene $a + (-a) = 0$).

Puesto que $0 + 0 = 0$, concluimos:

$$-0 = 0,$$

esto es, 0 es su propio inverso aditivo.

La multiplicación de enteros es asociativa, conmutativa y contiene a 1 que es el *neutro multiplicativo* (cumple $a \cdot 1 = a$). Los únicos enteros que tienen inverso multiplicativo son 1 y -1 . Este fenómeno da lugar a la definición de divisibilidad.

Antes demos que 0 multiplicado por cualquier entero es igual a 0 (de hecho esta propiedad de 0 se tiene en contextos mucho más generales y es ampliamente utilizada). Por la propiedad distributiva y la propiedad que define a 0 , tenemos:

$$0 \cdot n + 0 \cdot n = (0 + 0) \cdot n = 0 \cdot n = 0 \cdot n + 0,$$

cancelando $0 \cdot n$ concluimos:

$$0 \cdot n = 0.$$

Divisibilidad: Sean a, b números enteros. Decimos que a divide a b o que b es un múltiplo de a si existe un entero n tal que:

$$b = a \cdot n.$$

Dado que $0 = 0 \cdot 2$, tenemos que 0 es un múltiplo de 2 , esto es,

0 es par.

MARTHA RZEDOWSKI CALDERÓN Investigadora Titular del Departamento de Control Automático. Sus temas de investigación se encuentran dentro de la teoría algebraica de números, entre ellos están el problema inverso de la teoría de Galois, la representación de diferenciales

holomorfas y las extensiones de campos con ramificación controlada. También son de su interés la historia, la filosofía, la enseñanza y la divulgación de las matemáticas.
mrzedowski@ctrl.cinvestav.mx



Módulo 12.

Un número primo p es un número mayor que 1 cuyos únicos divisores positivos son 1 y p . Equivalentemente (y esta equivalencia no es inmediata) tenemos que el entero p , mayor que 1, es un número primo si y sólo si siempre que p divida al producto de los enteros a y b , necesariamente p divide a a o p divide a b .

El Teorema Fundamental de la Aritmética nos dice que todo entero mayor que 1 se puede escribir de manera única como producto de primos (ordenados de menor a mayor, según el orden usual).

Nótese que deliberadamente se excluyen 0 y 1 del conjunto de números primos. Excluir a 1 es con el objeto de que se cumpla el Teorema Fundamental de la Aritmética sin excepciones. De no hacerlo así, no sería cierta la unicidad en el teorema anterior (pues, por ejemplo, $6 = 2 \cdot 3 = 1 \cdot 2 \cdot 3$). Excluir a 0 es indispensable para la equivalencia mencionada anteriormente. Con respecto a los enteros negativos, hemos de excluir a -1 por la misma razón que a 1. Los demás enteros negativos son tradicionalmente excluidos, pero podrían ser incluidos algunos sin graves consecuencias (de hacerlo así, -2 sería "tan primo" como 2, de hecho 2 y -2 son lo que se dice "asociados"). No obstante, nos adherimos a la definición más comúnmente aceptada que requiere a un número primo ser positivo.

Un número entero positivo se dice que es compuesto si es producto de dos o más primos. En particular

1 no es ni primo ni compuesto.

Los enteros, diferentes de 0, m y n se dice que son primos relativos si no los divide ningún entero positivo además de 1. Por ejemplo, 3 y 5 son primos relativos, 12 y 35 también lo son, pero 12 y 18 no son primos relativos pues 3 los divide a ambos.

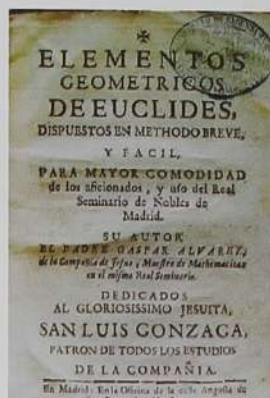
Enteros módulo n

Sea n un entero mayor que 1. Decimos que los enteros a y b son congruentes módulo n y escribimos $a \equiv b \pmod{n}$ si n divide a $b - a$. Este concepto lo usamos ampliamente en nuestra forma de medir el tiempo. Para llevar cuenta de las horas día a día, nuestros relojes miden las horas módulo 12 (con a.m. y p.m.) y, según la hora oficial, se miden módulo 24; para los días de la semana, los contamos módulo 7 (si hoy es lunes, en 7 días volverá a ser lunes), para los días del mes, módulo 28, 29, 30 ó 31; para los meses del año, módulo 12. Finalmente, para especificar el año en curso, en lugar de escribir 2006, con frecuencia lo consideramos módulo 2000 y escribimos simplemente 06.

La función ϕ de Euler

Esta función nos cuenta, para el entero no negativo n la cantidad de enteros no negativos menores que n y primos relativos con n (se conviene que $\phi(1) = 1$). Si p es primo, entonces $\phi(p) = p - 1$. La función ϕ es multiplicativa en el sentido de que si m y n son primos relativos, entonces $\phi(m \cdot n) = \phi(m) \cdot \phi(n)$.

El número 2 es primo, de hecho es el único primo par. Los demás primos son impares y son de la forma $4n + 3$ o de la forma $4n + 1$.



Los Elementos de Euclides.



Euclides.

Infinidad de números primos

La que sigue es esencialmente la demostración que aparece en el Libro IX de *Los Elementos de Euclides* (c. 330 - 270 a.C.). Con el fin de probar que hay una infinidad de números primos, supongamos que hubiera una cantidad finita de primos, digamos $p_1, p_2, \dots, p_n$. Consideramos el número:

$$N = p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n + 1.$$

El número N no puede ser divisible por ninguno de los primos $p_1, p_2, \dots, p_n$, pues si algún p_i dividiera a N , como p_i también divide a $p_1 \cdot p_2 \cdot \dots \cdot p_n$, tendríamos que p_i también dividiría a 1, lo cual no sucede. Entonces, N es un primo nuevo o bien es producto de primos nuevos, de cualquier manera tenemos una contradicción (pues habíamos supuesto que los únicos primos eran $p_1, p_2, \dots, p_n$). Esta contradicción nos lleva a concluir que la cantidad de primos es infinita.

Euler demostró en 1737 que la suma de los recíprocos de los primos

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{11} + \frac{1}{13} + \dots$$

es infinita. Esto nos da otro argumento, un tanto rebuscado, para concluir que la cantidad de primos es infinita (pues si fuera una cantidad finita, la suma anterior habría sido finita).

La carrera de los primos

El número 2 es primo, de hecho es el único primo par. Los demás primos son impares y son de la forma $4n + 3$, como 3, 7, 11, 19, etc. o de la forma $4n + 1$, como 5, 13, 17, 29, etc. Los primos de la forma $4n + 1$ y 2 se pueden escribir como suma de dos cuadrados de enteros, por ejemplo $2 = 1^2 + 1^2$ y $13 = 2^2 + 3^2$, mientras que los primos de la forma $4n + 3$ no pueden escribirse como suma de los cuadrados de dos enteros. Hay una infinidad de primos de la forma $4n + 3$ y una infinidad de primos de la forma $4n + 1$.

Si se van contando los que son de cada tipo, pareciera que los de la forma $4n + 3$ siempre empataran

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Antes.

†	2	3	†	5
†	7	†	†	†
11	†	13	†	†
†	17	†	19	†
†	†	23	†	†

Después.

o fueran ganando, pero no es así, la delantera cambia por primera vez en el 2945º primo $26861 = 4 \cdot 6715 + 1$, para ser perdida inmediatamente.

Criba de Eratóstenes

Eratóstenes de Cyrene (271 - 194 a.C.), quien calculó con bastante exactitud la circunferencia de la Tierra, inventó su famosa criba para encontrar números primos. Digamos que queremos determinar todos los números primos hasta el entero N . Hacemos una lista de todos los números desde 1 hasta N . Como ya quedamos en que 1 no es primo, lo tachamos. Dejamos a 2 que es primo y tachamos a todos los demás pares que haya en la lista. Dejamos a 3 que es primo y tachamos a todos los demás múltiplos de 3. El siguiente sin tachar es 5 que es primo, lo dejamos y tachamos a todos los demás múltiplos de 5. Seguimos de esta manera hasta alcanzar el mayor número primo que sea menor o igual que $\sqrt{N}$. Este mecanismo de obtención y determinación de primos deja de ser práctico para números muy grandes.

Interpretación de la criba de Eratóstenes:

Multiplicativamente hablando, los primos son esbeltos, a comparación de los compuestos, por lo que los primos pasan fácilmente por los hoyos de la criba, mientras que los compuestos no pasan.

Números de Fermat

Pierre de Fermat (1607-1665) estudió los números de la forma

$$F_n = 2^{2^n} + 1.$$

Estos números son conocidos como *números de Fermat*. Los primeros cinco (para $n = 0, 1, 2, 3, 4$) son 3, 5, 17, 257, 65537 y son primos. Fermat conjeturó que todos lo serían. Sin embargo, Euler probó en 1732 que 641 es factor de $F_5 = 2^{2^5} + 1 = 4294967297$. Los números de Fermat que se han estudiado con éxito son, excepto por los primeros cinco, todos compuestos. Se ha conjeturado que el número de primos de Fermat es finito (pudieran ser sólo los cinco conocidos) y también se ha conjeturado que es infinito. El hecho más reciente

del que tengo noticia al respecto es que el 16 de mayo de 2006 Asko Vuori descubrió un nuevo factor de un número de Fermat:

$$121531 \cdot 2^{30260} + 1 \text{ divide a } F_{30256}.$$

Actualizados a esta fecha menciono varios hechos: hay números de Fermat que se sabe que son compuestos pero de los cuales no se conocen ninguno de sus factores, entre ellos está F_{14} ; no se sabe si F_{33} es primo o no; el número de Fermat más grande del que se sabe que es compuesto es $F_{2478782}$.

De particular interés son los primos de Fermat pues los polígonos regulares que se pueden construir usando sólo regla y compás son los que tienen un número de lados igual a

$$N = 2^n \cdot p_1 \cdot \dots \cdot p_k,$$

donde $N \geq 3$, n y k son números enteros mayores o iguales que 0 y $p_1, \dots, p_k$ son primos de Fermat distintos. Entre ellos están el triángulo equilátero, el cuadrado, el pentágono, el hexágono y el decágono regulares y también el heptadecágono (polígono de 17 lados) regular. El descubrimiento de una construcción geométrica de este último fue lo que decidió a Carl F. Gauss en 1796 a dedicar su vida a las matemáticas.

¿Cómo averiguar si un número es o no primo?

Existen *pruebas de primalidad y métodos de factorización*, pues un problema es distinguir números primos de números compuestos y otro es, para estos últimos, encontrar todos sus factores primos. El uso de las computadoras ha sido de primordial importancia en la implementación de estos criterios y métodos. Uno de ellos es la criba de Eratóstenes, otro se explorará enseguida y algunos más se mencionarán más adelante.

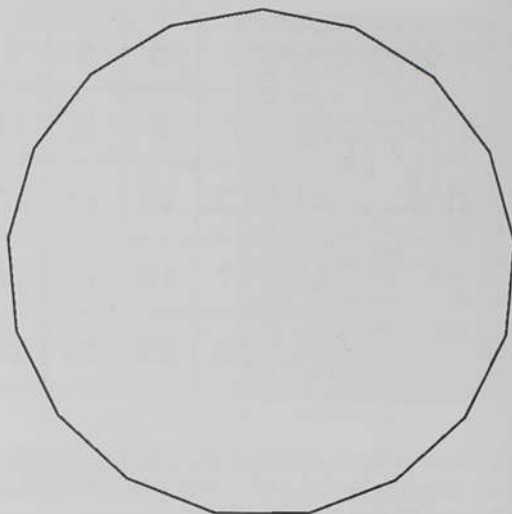
El Teorema Pequeño de Fermat dice que si p es un número primo, entonces

$$a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p}$$

para todo entero a primo relativo con p .

Podemos usar este teorema para demostrar que 6 no es primo: supongamos 6 fuera primo, nos fijamos en

Existen pruebas de primalidad y métodos de factorización, pues un problema es distinguir números primos de números compuestos y otro es, para estos últimos, encontrar todos sus factores primos. El uso de las computadoras ha sido de primordial importancia en la implementación de estos criterios y métodos. Uno de ellos es la criba de Eratóstenes.



Heptadecágono.

$5 = 6 - 1$, que es primo relativo con 6. Como estamos suponiendo que 6 es primo, por el teorema, deberíamos tener $5^{6-1} \equiv 1 \pmod{6}$, pero $5^5 = 3125$ no es congruente con $1 \pmod{6}$, lo que es una contradicción que nos permite concluir que 6 no es primo. Nótese que hemos probado que 6 es compuesto, sin presentar ningún factor.

Sin embargo, el recíproco del teorema no es cierto. Por ejemplo, el número compuesto $341 = 11 \cdot 31$ cumple $2^{341-1} \equiv 1 \pmod{341}$, con 2 primo relativo con 341. Por lo tanto, el teorema no basta para probar que cierto número es primo. A los números, como 341, que satisfacen esta propiedad se les llama *seudoprimos* respecto a la base 2. Hay números que son *seudoprimos* respecto a todas las bases y son conocidos como *números de Carmichael*; el más pequeño de ellos es 561. Robert D. Carmichael conjeturó en 1910 que hay una cantidad infinita de tales números, hecho que fue probado en 1994 por Alford, Granville y Pomerance.

Conjetura de Goldbach

Christian Goldbach (1690 - 1764) fue contemporáneo de Euler, a quien animó a estudiar el número de Fermat $F_5 = 2^{2^5} + 1$, mismo que Euler probó es compuesto. El 7 de junio de 1742 Goldbach escribió una carta a Euler en la que sugería que todo número entero mayor que 2 es suma de tres primos. Actualmente se conoce como *Conjetura de Goldbach* el enunciado: Todo número par mayor que 2 es la suma de dos primos. A la fecha, esta conjetura no ha sido probada.

Evidencia:

$$\begin{aligned} 4 &= 2 + 2 \\ 6 &= 3 + 3 \\ 8 &= 5 + 3 \\ 10 &= 3 + 7 = 5 + 5 \\ 12 &= 5 + 7 \\ 14 &= 3 + 11 = 7 + 7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\dots \\ 24 &= 5 + 19 = 7 + 17 = 11 + 13 \\ 26 &= 3 + 23 = 7 + 19 = 13 + 13 \\ 28 &= 5 + 23 = 11 + 17 \\ &\dots \end{aligned}$$

En 1998, J. Richstein verificó la conjetura para números hasta $4 \cdot 10^{14}$.

Conjetura de los primos gemelos

En el conjunto de los números primos nos encontramos con parejas de primos que difieren por 2. Por ejemplo: 3 y 5, 5 y 7, 11 y 13, 17 y 19, 29 y 31. Estos son los llamados *primos gemelos*. La conjetura de los primos gemelos nos dice que hay una infinidad de ellos.

En 1919 V. Brun probó que la suma de los recíprocos de los primos gemelos converge a una constante, llamada ahora *constante de Brun*:

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \frac{1}{11} + \frac{1}{13} + \dots = 1.0021605\dots$$

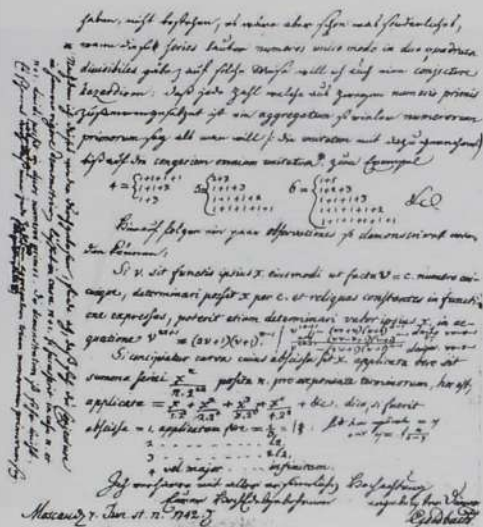
Por lo que aquí no podemos usar el argumento que usamos arriba para demostrar que la cantidad de números primos es infinita. De hecho, no ha sido probada esta conjetura. La pareja de números primos gemelos más grandes encontrada a la fecha es:

$$100314512544015 \cdot 2^{171960} - 1$$

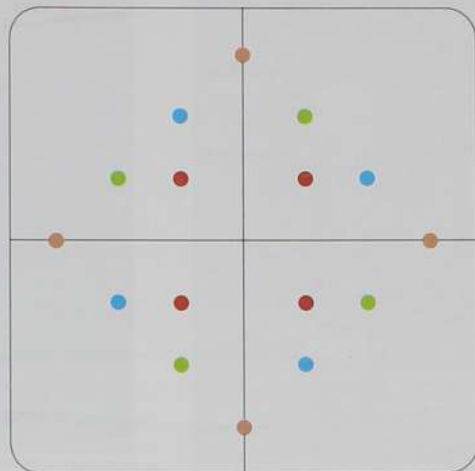
$$\text{y } 100314512544015 \cdot 2^{171960} + 1,$$

con alrededor de 51 780 dígitos cada uno, encontrada por Jarai, Farkas, Csajbok, Kasza y Jarai en junio de 2006.

Por otro lado, se puede demostrar que dados cualesquier tres números naturales n , k y l , existen al menos n números consecutivos que son divisibles, cada uno de ellos, por al menos k primos distintos, cada uno de ellos a la potencia l . En aparente contraposición, tenemos el *Postulado de Bertrand*, el cual nos dice que



Carta de Goldbach dirigida a Euler (1742).



Primos gaussianos.

dado cualquier número natural $n \geq 2$, entre n y $2n$ se encuentra al menos un número primo.

Números de Mersenne

Marin Mersenne (1588 - 1648) fue un matemático, filósofo y científico francés. Los números de Mersenne se definen por $M_n = 2^n - 1$, para n un entero positivo. Si M_n es primo, entonces n es primo. Sin embargo, no se tiene el recíproco: en 1536 H. Regius observó que $M_{11} = 2^{11} - 1 = 2047 = 23 \cdot 89$. Mersenne aventuró en su libro *Cogitata Physico-Mathematica* (1644) una lista de números de Mersenne primos y de manera que $n \leq 257$. En su lista hay errores, le sobran dos y le faltan tres. Los números de Mersenne M_n que son primos para $n \leq 257$ corresponden precisamente a $n = 2, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 31, 61, 89, 107, 127$. Ya que los criterios para primos de Mersenne son relativamente simples (uno de ellos es el criterio de Lucas, basado en el Teorema Pequeño de Fermat, mejorado por Lehmer, Kraitichik y Pockling), el récord de primo más grande conocido casi siempre ha sido un primo de Mersenne.

El 44º primo de Mersenne conocido (que no es necesariamente el 44º primo de Mersenne que existe) y que es también el más grande número primo conocido es $M_{32582657} = 2^{32582657} - 1$, con 9 808 358 dígitos, encontrado por C. Cooper y S. Boone el 4 de septiembre de 2006. El primo más grande conocido, que no es primo de Mersenne, es $27653 \cdot 2^{9167433} + 1$, con 2 759 677 dígitos, encontrado por D. Gordon en junio de 2005.

Primos de Sophie Germain

Sophie Germain (1776 - 1831) fue una matemática francesa que usó el seudónimo Monsieur Le Blanc para

poder continuar avanzando en sus estudios, enviar sus trabajos y mantener comunicación con otros matemáticos, sin correr el riesgo al rechazo por ser mujer. Debe mencionarse que tanto su maestro J. L. Lagrange como Gauss al enterarse de que era mujer reconocieron y respetaron su trabajo. Los primos de Sophie Germain son los primos p para los cuales $2p + 1$ es primo también. La colección de primos de S. Germain comienza como sigue: 2, 3, 5, 11, 23, 29, 41, 53, 83, 89, 113, 131, 173, 179, ...

Ella demostró que si p es un primo de S. Germain, entonces no existen enteros x, y, z , ninguno de ellos 0 ni múltiplo de p , tales que $x^p + y^p = z^p$. Este es el Caso I, para este tipo de primos, del celebrado Último Teorema de Fermat (1604) que fue final y totalmente probado en 1994 por A. Wiles. No se sabe si el número de primos de S. Germain es finito o no. El primo de Sophie Germain más grande que se conoce es:

$$137211941292195 \cdot 2^{171960} - 1,$$

con 51 780 dígitos, obtenido por Jarai, Farkas, Csajbok Kasza y Jarai en mayo de 2006. Obsérvese el récord para pareja de primos gemelos.

Relación entre números de Mersenne y primos de S. Germain

Euler probó en 1750 que si p es un primo mayor que 3 y $p \equiv 3 \pmod{4}$, entonces p es un primo de S. Germain (que, desde luego, aún no llevaba ese nombre) si y solamente si $2p + 1$ divide al número de Mersenne M_p y por tanto, en este caso, M_p es compuesto.

Por ejemplo, sea $p = 7$. Tenemos $p > 3$ y $p \equiv 3 \pmod{4}$. Observamos que 7 no es primo de S. Germain ni 15 divide a $M_7 = 127$ que, por cierto, en este caso es primo. Otro ejemplo, si $p = 11$, entonces $p > 3$ y $p \equiv 3 \pmod{4}$. Tenemos que 11 sí es primo de S. Germain y que 23 divide a $M_{11} = 2047 = 23 \cdot 89$. Finalmente, sea $p = 43$.



Magicicada septendecim.

También $p > 3$ y $p \equiv 3 \pmod{4}$. El primo 43 no es primo de S. Germain ni 87 divide a $M_{43} = 431 \cdot 9\,719 \cdot 2\,099\,863$, que en este caso no es primo.

El criterio anterior permite, en algunos casos, determinar que un número de Mersenne es compuesto y presentar un factor, pero, como se observa en los ejemplos, no determina si un número de Mersenne es primo.

Primos gaussianos

Hay otros ambientes donde también hay primos. Uno de ellos es el conjunto de enteros gaussianos, cuyos elementos son de la forma $a + bi$, donde $i = \sqrt{-1}$ y a, b son números enteros usuales. En este conjunto son primos: $1 + i$ (y sus "asociados": $-1 - i, 1 - i, -1 + i$), los enteros gaussianos de la forma $a + bi$ (y "asociados"), donde $a^2 + b^2 = p$ y p es un primo usual de la forma $4n + 1$ como por ejemplo $2 + i$ pues $5 = 4 \cdot 1 + 1 = 1^2 + 2^2 = 2^2 + 1^2$; también son primos en el conjunto de enteros gaussianos nuestros conocidos primos p de la forma $4n + 3$, como por ejemplo 3, 7, etc. (y sus "asociados" $-3, 3i, -3i, -7, 7i, -7i$, respectivamente, etc.). Estos son todos los primos gaussianos.

Una ventaja de ser primo

Ciertas especies de cigarras pasan 7, 13 ó 17 años bajo tierra antes de emerger como adultas a la superficie, reproducirse y morir en poco tiempo. Se ha sugerido, para explicar este fenómeno, que es resultado de la evolución y que tener ciclos de vida que son números primos es favorable a las cigarras para librarse de depredadores o parásitos. De esta manera, si el ciclo de vida del parásito o depredador es bienal o trienal, las cigarras difícilmente se

encontrarán con su parásito o depredador. Esta estrategia parece ser selectivamente ventajosa, especialmente para aquellos organismos que son muy vulnerables.

Criptografía

Nos será de utilidad el siguiente Teorema de Euler, que es una generalización del Teorema Pequeño de Fermat, y que nos dice que si n es un entero positivo, entonces

$$a^{\phi(n)} \equiv 1 \pmod{n}$$

para todo entero a primo relativo con n .

La teoría de números primos ha encontrado aplicación directa en la criptografía. La criptografía estudia métodos para cifrar mensajes secretos, que pudieran ser información sensible, de manera que sólo puedan ser descifrados por el receptor y por nadie más que los pudiera interceptar. El emisor y el receptor han de ponerse de acuerdo sobre la clave y ésta ha de ser cambiada con cierta frecuencia. En la criptografía de clave pública las claves para cifrar y descifrar son distintas. La clave para cifrar es del conocimiento público y el mensaje cifrado podría ser interceptado, pero sin la clave para descifrar no sería fácil hacerlo. La idea es que cualquiera pudiera enviar un mensaje cifrado y solamente el receptor pudiera descifrarlo. El algoritmo RSA es el método más conocido de criptografía de clave pública. Puesto que este procedimiento es lento, no es usado para el envío de mensajes completos, sino para el envío de una clave de criptografía convencional. El nombre RSA es acrónimo de Ronald Rivest, Adi Shamir y Leonard Adleman, quienes alrededor de 1977 se dieron cuenta de que los números primos eran la base ideal para un proceso de cifrado fácil y descifrado difícil. Se toman dos números primos muy grandes p y q , digamos que de más de 200

Ciertas especies de cigarras pasan 7, 13 ó 17 años bajo tierra antes de emerger como adultas a la superficie. Se ha sugerido, para explicar este fenómeno, que es resultado de la evolución y que tener ciclos de vida que son números primos es favorable a las cigarras para librarse de depredadores o parásitos.



Leonhard Euler.

digitos cada uno, y se multiplican para encontrar un número compuesto n muy grande y que se espera sea "imposible" de factorizar con los métodos disponibles. Se encuentran dos enteros distintos d y e tales que:

$$d \cdot e \equiv 1 \pmod{\phi(n)}.$$

Los números n y e son la clave pública, es decir, son conocidos por todo el mundo. El mensaje oculto que se desea enviar es un número M que ha de ser menor que n . El emisor calcula y envía

$$M^e \pmod{n}.$$

El receptor, que tiene la clave privada d , calcula $(M^e)^d \pmod{n}$. Apoyándose en el Teorema de Euler mencionado antes, se cumple que

$$(M^e)^d \equiv M \pmod{n}$$

y de esta manera, puesto que M es menor que n , se obtiene M .

A guisa de ejemplo, tomamos los primos $p = 3$ y $q = 11$ y los mantenemos secretos. Desde luego que estos primos no son grandes, sólo se usan para ilustrar el algoritmo. Su producto $n = 33$ es del dominio público. Puesto que conocemos la factorización de 33, podemos calcular $\phi(33) = \phi(3) \cdot \phi(11) = 2 \cdot 10 = 20$. Existen enteros e y d menores que 20 y tales que $d \cdot e \equiv 1 \pmod{20}$. Elegimos $e = 3$ y $d = 7$. También e será del dominio público. Pero d le es proporcionado sólo a quien es el destinatario. La información a enviar ha de ser un número M entre 1 y n . El mensaje que se envía (y que pudiera ser interceptado) es $M^e \pmod{n}$. El destinatario al recibirlo descifra el mensaje original calculando $(M^e)^d \pmod{n}$. Por ejemplo, si $M = 5$, el emisor calcula $5^3 \pmod{33} \equiv 125 \pmod{33} \equiv 26 \pmod{33}$ y envía el mensaje 26. El destinatario calcula $26^7 \pmod{33} \equiv 26^2 \cdot 26^2 \cdot 26^2 \cdot 26 \pmod{33} \equiv 16 \cdot 16$

$\cdot 16 \cdot 26 \pmod{33} \equiv 25 \cdot 16 \cdot 26 \pmod{33} \equiv 4 \cdot 26 \pmod{33} \equiv 5 \pmod{33}$ y obtiene el mensaje original, a saber $M = 5$. Otro ejemplo, digamos que $M = 2$. El emisor calcula $2^3 \equiv 8 \pmod{33}$ y envía el dato 8. El destinatario calcula $8^7 \pmod{33} \equiv 2097152 \pmod{33} \equiv 2 \pmod{33}$ y recupera el dato $M = 2$.

La conexión cuántica

Menciono muy brevemente que hay una conexión entre la Hipótesis de Riemann, importante conjetura acerca de los ceros de la función zeta de Riemann, y la física cuántica. La función zeta de Riemann está profundamente relacionada con la distribución de los números primos. La Hipótesis de Riemann es uno de los problemas más importantes (sino es que el más importante) de las matemáticas contemporáneas, se ha ofrecido un premio de un millón de dólares estadounidenses por demostrarla.

Comentarios finales

El año próximo se cumplirán 300 años del nacimiento de Leonhard Euler (1707 - 1783), uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos y que tanto ha tenido que decir acerca de los números primos. Seguramente será ocasión de múltiples homenajes.

A modo de despedida se transcribe una cita de Paul Erdős, notable matemático húngaro del siglo XX y uno de los más prolíficos que han existido, contribuyó a la teoría de números probabilística.

"Dios podría no estar jugando a los dados con el universo, pero algo extraño está pasando con los números primos". ●

[Referencias]

Wells, David, *Prime Numbers, The Most Mysterious Figures in Math*, John Wiley and Sons, 2005.
<http://primes.utm.edu/>
<http://www.prothsearch.net/fermat.html>

Un modelo neuronal para la distrofia miotónica

DENTRO DEL GRUPO DE LAS DISTROFIAS MUSCULARES QUE AFECTAN AL HUMANO, LA DISTROFIA MIOTÓNICA SE DISTINGUE POR SER EL PADECIMIENTO MUSCULAR MÁS FRECUENTE EN EL ADULTO, PRESENTA UNA INCIDENCIA DE 1 EN 8,000 INDIVIDUOS Y UN PATRÓN DE HERENCIA AUTOSÓMICO DOMINANTE.¹

Mario Bermúdez de León y Bulmaro Cisneros

La distrofia miotónica

La distrofia miotónica DM1 fue inicialmente descrita por el médico alemán Hans Steinert en el año 1904, quien reportó la presencia de debilidad muscular generalizada y atrofia testicular en pacientes con este tipo de distrofia.

De acuerdo con la severidad de los síntomas, actualmente se reconocen dos variantes de la DM1: la forma clásica y la forma congénita. La DM1 clásica se caracteriza por la presencia de cataratas, debilidad muscular, atrofia testicular y miotonía (dificultad para relajar los músculos después de una contracción muscular) (fig. 1). La DM1 congénita presenta, además de la sintomatología de la forma clásica, retraso mental severo y alteraciones en el desarrollo muscular.¹ Una de las características de la DM1 que más ha llamado la atención de los genetistas es el fenómeno de "anticipación", el cual se refiere al aumento en la severidad de los síntomas en generaciones sucesivas de individuos afectados que pertenecen a una misma genealogía.²

Identificación del gen de la DM1

Gracias al advenimiento de técnicas más sofisticadas de Biología Molecular, en 1992 se logró identificar mediante "genética reversa" (localización de un gen mediante mapeo cromosómico y la posterior identificación de su producto proteico) el gen que en su estado mutado es responsable de la DM1 (fig. 2), el cual se localiza en el cromosoma 19 humano y recibe el nombre de DMPK (*Dystrophin Myotonin Protein Kinase*).³ Los individuos normales presentan en la región 3' no traducida del gen DMPK de 5 a 35 repeticiones del triplete de bases citosina-adenina-guanina (CTG); por su parte, los pacientes con DM1 presentan un número incrementado del triplete CTG que va de 40 hasta varios miles de repeticiones (fig. 2). De manera interesante, el fenómeno de la "anticipación" tiene una relación directa con el número de repeticiones del triplete CTG, ya que se ha observado que a medida que su número es mayor la enfermedad se manifiesta a una edad más temprana y los síntomas son más severos.³

MARIO BERMÚDEZ DE LEÓN Realiza una estancia de investigación apoyada por la Muscular Dystrophy Association, EUA. Médico Veterinario de la Universidad Autónoma Metropolitana. Maestro y Doctor en Ciencias del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav. Miembro del SNI (nivel I).
mario@cinvestav.mx

BULMARO CISNEROS Investigador Titular del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav. Biólogo de la FES-Iztacala de la UNAM. Maestro y Doctor en Ciencias por el Cinvestav. Sus líneas de Investigación incluyen el estudio de las bases moleculares de la distrofia miotónica y distrofia molecular de Duchenne, así como la regulación del transporte nuclear de proteínas. Miembro del SNI (nivel I). bcisnero@cinvestav.mx

Gracias al advenimiento de técnicas más sofisticadas de Biología Molecular, en 1992 se logró identificar mediante "genética reversa" el gen que en su estado mutado es responsable de la DM1 y recibe el nombre de DMPK (Dystrophin Myotonin Protein Kinase).

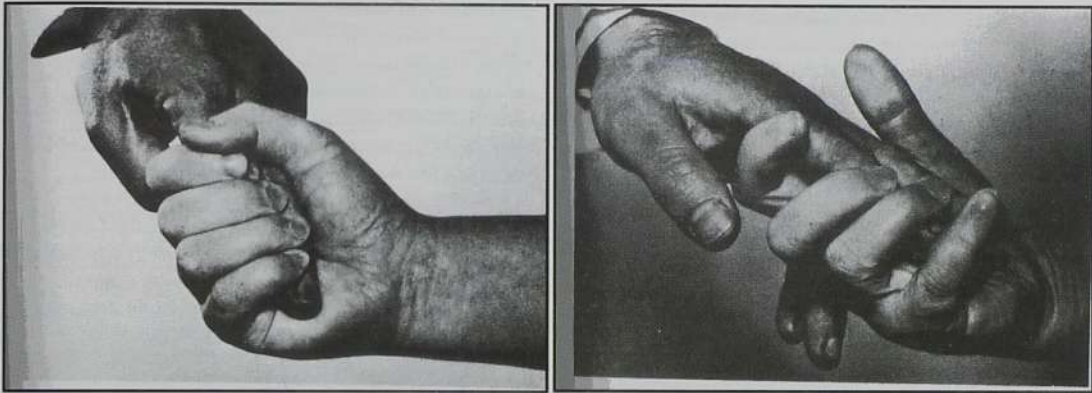


Fig. 1. La miotonía es una característica clínica de la distrofia miotónica. Después de una contracción se observa la dificultad de relajar los músculos de la mano, debido al daño muscular que ocurre, en un periodo de tiempo corto.

Cromosoma 19

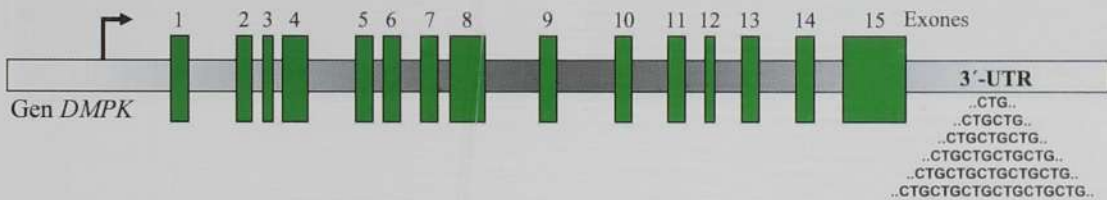


Fig. 2. Estructura del gen DMPK localizado en el cromosoma 19. Las cajas verdes simbolizan los 15 exones que codifican para la proteína DMPK. La flecha indica el sitio de inicio de la transcripción del gen. Cuando la región 3'-no traducida (3'-UTR), la cual contiene los repetidos CTG, sobrepasa los 40 repetidos se comienzan a observar las manifestaciones clínicas de la distrofia miotónica.

Bases moleculares de la DM1 en el músculo

Por un tiempo prolongado fue difícil entender cómo una mutación que no afecta a la proteína producto del gen DMPK podría causar la DM1. Sin embargo, durante los últimos siete años se han realizado una serie de estudios utilizando líneas celulares de origen muscular y ratones transgénicos para la DM1 que han permitido establecer las bases moleculares de esta patología en el músculo.^{4,5}

La figura 3 muestra el esquema del modelo que actualmente es el más aceptado para explicar la DM1. Este modelo postula que la presencia de un número anormal de repeticiones del triplete CTG le confiere al RNA mensajero (RNAm) del gen DMPK una conformación anormal que le impide ser transportado hacia el citoplasma para ser traducido, provocando su acumulación anormal en el núcleo de las células musculares. La presencia abundante del RNAm mutante da lugar a interacciones aberrantes entre este transcrito y diferentes proteínas nucleares, lo que afecta otras funciones celulares básicas, como son la maduración alternativa de transcritos y la activación de la transcripción. Asimismo, el modelo postula que el transcrito mutante altera la función de proteínas que regulan el ciclo celular (p21) y el programa de diferenciación muscular (MyoD y miogenina), provocando finalmente la inhibición de la diferenciación muscular.^{6,7}

Desarrollo de un modelo neuronal para el estudio de la DM1

La sintomatología de la DM1 a nivel del Sistema Nervioso Central incluye daño cognoscitivo, hipersomnolencia, alta sensibilidad a anestésicos,

disfunción neuroendocrina, y alteraciones de personalidad y conducta.⁸ No obstante, el estudio del efecto del triplete CTG mutante sobre la función de las neuronas no ha sido abordado. Bajo este escenario, nuestro grupo de trabajo decidió desarrollar un modelo experimental para estudiar las bases moleculares de la DM1 en células neuronales. Elegimos la línea celular PC12 debido a que ha sido ampliamente utilizada para estudios de diferenciación neuronal; cuando estas células son tratadas con el factor de crecimiento neuronal (NGF) desarrollan neuritas, secretan diversos neurotransmisores y son capaces de excitarse eléctricamente.⁹

Como un primer paso, incorporamos al genoma de las células PC12 el gen de la enzima cloranfenicol acetil transferasa fusionado a la región 3' no traducida del gen DMPK con 5, 60 ó 90 repeticiones del triplete CTG (clonas CTG5, CTG30 y CTG90, respectivamente). De manera interesante, observamos que la expresión de los repetidos CTG inhibió la diferenciación neuronal de las células CTG90¹⁰ (fig. 4). Para que el programa de diferenciación neuronal se lleve a cabo se requiere la participación de cientos de genes, por lo que es prácticamente imposible identificar *a priori* cuál es el defecto bioquímico que presentan las células CTG90. Ante esta problemática decidimos utilizar la tecnología de microarreglos de DNA, la cual permite evaluar cuantitativamente la expresión de miles de genes de manera simultánea. Para este fin, utilizamos un microarreglo de rata que contiene 5,000 fragmentos de DNA, correspondientes al mismo número de genes distintos (fig. 5). Por medio de este análisis identificamos 1,685 genes con expresión alterada en las células CTG90, los cuales están involucrados en diversos

La sintomatología de la DM1 a nivel del Sistema Nervioso Central incluye daño cognoscitivo, hipersomnolencia, alta sensibilidad a anestésicos, disfunción neuroendocrina, y alteraciones de personalidad y conducta.

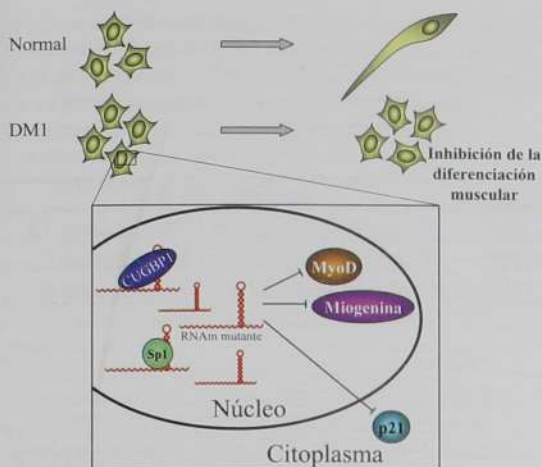


Fig. 3. Modelo de la inhibición de la diferenciación muscular por la expresión de los repetidos CTG. El RNA mensajero (RNAm) mutante del gen DMPK adquiere una conformación anormal que le impide ser transportado al citoplasma. Su presencia abundante en el núcleo secuestra a factores involucrados en la maduración alternativa de transcritos (CUGBP1) y en la activación de la transcripción (Sp1); asimismo, altera la función de las proteínas que regulan el programa de diferenciación muscular (MyoD) y miogenina) y el ciclo celular (p21), lo cual finalmente impide la diferenciación muscular en los pacientes con distrofia miotónica (DM1).

De acuerdo con la severidad de los síntomas, actualmente se reconocen dos variantes de la DM1: la forma clásica y la forma congénita.

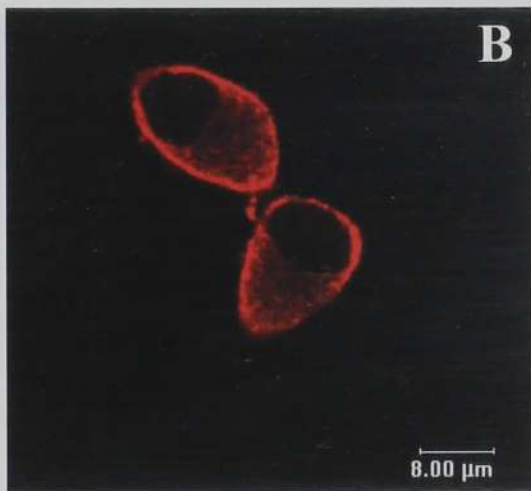
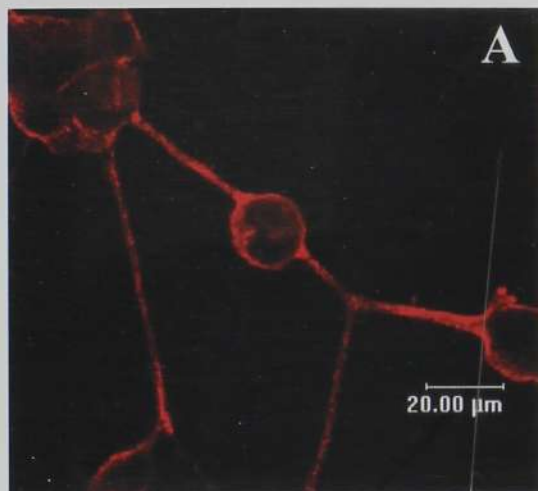
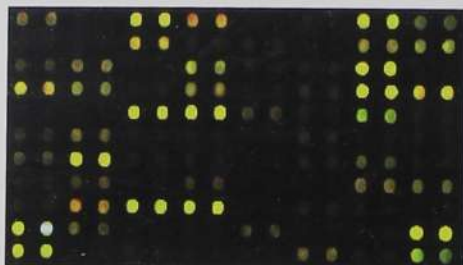


Fig. 4. Efecto de la expresión de los repetidos CTG sobre la diferenciación neuronal de las células PC12. Ensayos de inmunofluorescencia indirecta donde se muestra la localización subcelular de la proteína α-tubulina, componente esencial de los microtúbulos. Se observa la diferenciación neuronal de las células PC12 silvestres (A) y la ausencia de neuritas en las células CTG90 (B), las cuales expresan un número anormal de repetidos CTG. Fotografías tomadas del artículo de Hernández-Hernández, et al.¹¹

Silvestres CTG90



No. GenBank	Nombre del gen
NM_030995	Proteína Asociada a Microtúbulos 1a
NM_013066	Proteína Asociada a Microtúbulos 2
NM_017204	Proteína Asociada a Microtúbulos 6

Fig. 5. Los repetidos CTG afectaron la expresión de genes que codifican para proteínas de unión a los microtúbulos. Se muestra una imagen de fluorescencia tomada por microscopía confocal, donde se compara la expresión de las células PC12 silvestres y CTG90 mediante la técnica de microarreglos. Se utilizó una sonda marcada en rojo para las células PC12 silvestres y una sonda marcada en verde para las células CTG90. Cuando la señal es roja indica que un gen en particular tiene una mayor expresión en las células control y si la señal es verde indica que existe una mayor expresión del gen en las células CTG90; finalmente, si la señal generada es amarilla indica que el gen en particular se expresa en la misma proporción en los dos tipos celulares. La tabla muestra el nombre de los genes afectados por los repetidos CTG y su número de acceso al banco de genes (GenBank).

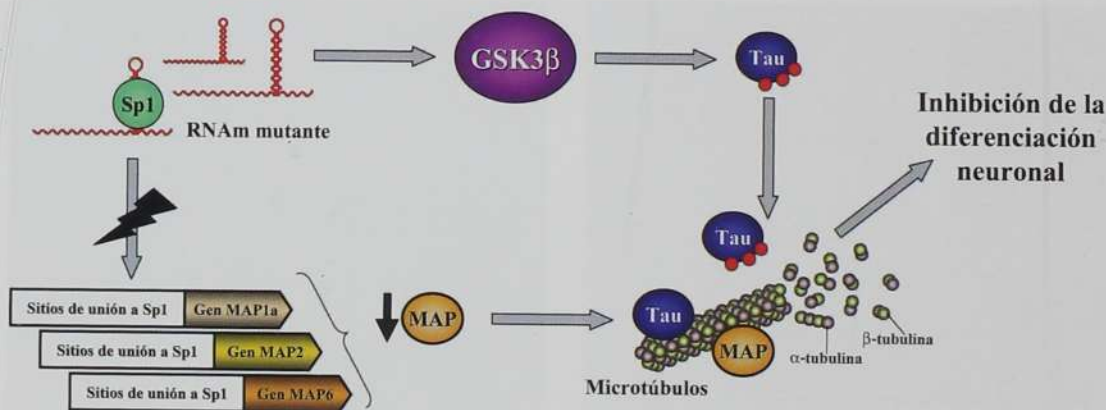


Fig. 6. Modelo hipotético de la inhibición de la diferenciación neuronal por la expresión de los repetidos CTG en las células PC12. El modelo propone que el RNA mensajero (RNAm) mutante de la DM1 secuestra al factor activador de la transcripción Sp1, el cual ya no podría activar la transcripción de los genes MAP1a, MAP2 y MAP6. Los niveles bajos de expresión de las proteínas MAP provocarían una inestabilidad de los microtúbulos, lo que explicaría la incapacidad de las células CTG90 para extender las neuritas durante el proceso de diferenciación neuronal. Por otro lado, el RNA mutante incrementa la actividad de la cinasa GSK3β, lo que a su vez provocaría un incremento en los niveles de fosforilación de la proteína Tau (esferitas rojas) afectando su unión a los microtúbulos. La falta de interacción de Tau con los microtúbulos provocaría la inhibición de la diferenciación neuronal de las células CTG90.

procesos celulares (metabolismo, ciclo celular, diferenciación celular, etc.). Dentro de esta gama amplia de genes nos llamó la atención la expresión disminuida de un grupo pequeño de genes que codifican para proteínas de unión a microtúbulos (MAP1a, MAP2 y MAP6), los cuales participan en el ensamblaje y estabilización de microtúbulos durante la extensión de neuritas. Los microtúbulos son estructuras esenciales para el mantenimiento de la morfología celular. La baja expresión de estos genes en las células CTG90 se confirmó mediante ensayos de RT-PCR (transcripción reversa acoplada a la reacción en cadena de la polimerasa).

Una de las características distintivas del daño cerebral de los pacientes con DM1 es la presencia de agregados de la proteína Tau hiperfosforilada en la neurocorteza. Normalmente, la proteína Tau se asocia a los microtúbulos en células neuronales, pero su fosforilación anormal afecta negativamente su función y se ha relacionado de manera directa con la enfermedad de Alzheimer. Decidimos explorar si nuestro modelo neuronal podría recrear las alteraciones de Tau presentes en los pacientes con DM1, y utilizarse para profundizar en el estudio de este fenómeno. Demostramos que la proteína Tau se encuentra hiperfosforilada en las células CTG90 tratadas con NGF. De manera interesante, demostramos que la hiperfosforilación de Tau en las células CTG90 es debida a un defecto primario en la vía de señalización que controla su fosforilación, ya que encontramos una actividad incrementada de la enzima GSK3 β (una de las cinasas que fosforila a Tau).¹¹

En la figura 6 se resumen nuestros principales resultados mediante un esquema del modelo que proponemos para explicar la deficiencia de las células CTG90 para diferenciarse a neuronas en respuesta al NGF. La deficiente expresión de las proteínas asociadas a microtúbulos (MAP1a, MAP2 y MAP6) podría explicar la incapacidad de las células CTG90 para extender neuritas durante la diferenciación neuronal inducida por el NGF; sin embargo, no conocemos el mecanismo molecular por medio del cual los repetidos CTG mutantes afectan su expresión. Tomando en consideración que recientemente se demostró que el transcrito mutante de la DM1 secuestra al factor activador de la transcripción Sp1 y que nosotros hemos identificado sitios de unión para Sp1 en las regiones reguladoras de la transcripción de los genes MAP1a, MAP2 y MAP6 (resultados no publicados), es plausible proponer en nuestro modelo que en las células CTG90 la expresión de estos genes se ve disminuida debido a que el RNA mutante que porta repetidos CUG atrapa a Sp1 y le impide activar la transcripción.¹² Por lo que respecta a la proteína Tau, proponemos que la elevada actividad de GSK3 β en las células CTG90 causa un incremento en la fosforilación de Tau, lo que afectando su unión a los microtúbulos finalmente provocaría la incapacidad de las células CTG90 para extender neuritas.

Consideramos que las proteínas asociadas a microtúbulos podrían ser blancos moleculares bajo estudio para elucidar los mecanismos moleculares de la DM1 en el sistema nervioso. ●

Referencias

- Harper, P. S., *Myotonic Dystrophy*, Londres, W.B. Saunders, 2001.
- Howeler, C. J., Busch, H. F., Geraedts, J. P., Niermeijer, M. F. y Staal, A., 1989, Anticipation in myotonic dystrophy: fact or fiction?, en *Brain*, vol. 112, pp. 779-797.
- Brook, J. D., McCurrach, M. E., Harley, H. G., Buckler, A. J., Church, D., Aburatani, H., Hunter, K., Stanton, V. P., Thirion, J. P., Hudson, T., et al., 1992, Molecular basis of myotonic dystrophy: expansion of a trinucleotide (CTG) repeat at the 3' end of a transcript encoding a protein kinase family member, en *Cell*, vol. 68, pp. 799-808.
- Amack, J. D., Paguio, A. P. & Mahadevan, M. S., 1999, Cis and trans effects of the myotonic dystrophy (DM) mutation in a cell culture model, en *Human Molecular Genetics*, vol. 8, pp. 1975-1984.
- Timchenko, N. A., Patel, R., Iakova, P., Cai, Z. J., Quan, L. y Timchenko, L. T., 2004, Overexpression of CUG triplet repeat-binding protein, CUGBP1, in mice inhibits myogenesis, *Journal of Biological Chemistry*, vol. 279, pp. 13129-13139.
- Davis, B. M., McCurrach, M. E., Taneja, K. L., Singer, R. H. y Housman, D. E., 1997, Expansion of a CUG trinucleotide repeat in the 3' untranslated region of myotonic dystrophy protein kinase transcripts results in nuclear retention of transcripts, en *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 94, pp. 7388-7393.
- Taneja, K. L., McCurrach, M., Schalling, M., Housman, D. y Singer, R. H., 1995, Foci of trinucleotide repeat transcripts in nuclei of myotonic dystrophy cells and tissues, en *The Journal of Cell Biology*, vol. 128, pp. 995-1002.
- Gibbs, J. W., 3rd, Ciafaloni, E. y Radtke, R. A., 2002, Excessive daytime somnolence and increased rapid eye movement pressure in myotonic dystrophy, en *Sleep*, vol. 25, pp. 662-665.
- Tischler, A. S. y Greene, L. A., 1978, Morphologic and cytochemical properties of a clonal line of rat adrenal pheochromocytoma cells which respond to nerve growth factor, en *Laboratory Investigation*, vol. 39, pp. 77-89.
- Quintero-Mora, M. L., Depardon, F., James-Waring, Robert, G. K. y Cisneros, B., 2002, Expanded CTG repeats inhibit neuronal differentiation of the PC12 cell line, en *Biochemical and Biophysical Research Communications*, vol. 295, pp. 289-294.
- Hernández-Hernández, O., Bermúdez-de-León, M., Gómez, P., Velázquez-Bernardino, P., García-Sierra, F. y Cisneros, B., 2006, Myotonic dystrophy expanded CUG repeats disturb the expression and phosphorylation of Tau in PC12 cells, en *Journal of Neuroscience Research*, vol. 84, pp. 841-851.
- Ebralidze, A., Wang, Y., Petkova, V., Ebralidze, K. y Junghans, R. P., 2004, RNA leaching of transcription factors disrupts transcription in myotonic dystrophy, en *Science*, vol. 303, pp. 383-387.

Ácidos nucleicos terapéuticos contra cáncer cervical: una alternativa viable

LA INCIDENCIA Y MORTALIDAD DEL CÁNCER CERVICAL SON PROBLEMAS MUY SERIOS DE SALUD PÚBLICA EN LATINOAMÉRICA. LA PREGUNTA OBVIA ES, ¿POR QUÉ? PARA RESOLVER ESTA CUESTIÓN ES NECESARIO AHONDAR EN EL ORIGEN DEL CÁNCER CERVICAL, SU DIAGNÓSTICO, PREVENCIÓN Y TRATAMIENTO.

Luis Marat Álvarez Salas

La incidencia y mortalidad del cáncer cervical son problemas muy serios de salud pública en Latinoamérica. De los datos disponibles en México, sabemos que en el periodo 1990-2000 ocurrieron 48,761 muertes por cáncer cervical. Estos datos contrastan marcadamente con las estadísticas de países desarrollados donde el cáncer cervical ocupa un lugar poco relevante en salud pública. La pregunta obvia es, ¿por qué? Para resolver esta cuestión es necesario ahondar en el origen del cáncer cervical, su diagnóstico, prevención y tratamiento.

HPV y cáncer cervical

Análisis clínicos, epidemiológicos y moleculares indican que los VPH están causalmente asociados con el cáncer cervical. La infección con VPH de alto riesgo, como lo son los VPH tipo 16, 18, 31, 33, 45, 52 y 58, se asocian con la aparición y prevalencia de displasias genitales y cáncer cervical.³ Todos los papilomavirus se replican en los tejidos epiteliales escamosos estratificados de sus

huéspedes. En tejidos infectados el genoma viral es retenido como un plásmido nuclear de ADN de doble cadena de aproximadamente 8 kpb. El genoma de los VPH codifica de ocho a nueve genes tempranos y tardíos. Los genes tempranos contribuyen a la transformación celular y a la replicación viral. Los genes tardíos proveen las proteínas que constituyen la cápside.⁴ La posición, tamaño y función de estos genes se encuentra altamente conservada entre los VPH. Adicionalmente, el genoma de los VPH también contiene una región reguladora, la región larga de control (LCR), la cual contiene el origen de replicación viral y es el blanco de varios factores transcripcionales asociados con la expresión tejido-específica (fig. 1).

En una infección típica, los VPH toman control de la maquinaria de proliferación celular mediante la expresión de sus genes tempranos E6 y E7 produciendo la propagación de genomas virales a partir de un solo evento de infección. Las proteínas virales E6 y E7 interactúan con

LUIS MARAT ÁLVAREZ SALAS Investigador del Cinvestav, licenciado en Biología de la FES Iztacala-UNAM en 1988. Maestro (1990) y Doctor (1993) en Biología Molecular del Departamento de Genética y Biología Molecular (DGBM) del Cinvestav. En 1989 y 1994 ganó el premio Aida Weiss (PUIS-UNAM) por su trabajo en la biología molecular de los papilomavirus humanos (VPH). Durante 1992 estancia en el NCI-NIH en VPH y transcripción epitelial. De 1994 a 1998 estancia en NCI-NIH en aplicación de ácidos nucleicos terapéuticos (ANT) contra cáncer cervical. Primera

ribozima hairpin contra VPH. Desarrollo de oligodeoxinucleótidos antisentido (AS-ODNs) contra VPH. Desde 1998 es Investigador Titular del DGBM-Cinvestav donde fundó el Laboratorio de Terapia Génica y continúa su investigación en ANT. Producción de 20 artículos científicos y cuatro patentes internacionales, así como reconocimientos a su labor científica. Líneas actuales de investigación enfocadas a la aplicación y desarrollo de ANT contra cáncer cervical y mamario. laalvarez@cinvestav.mx

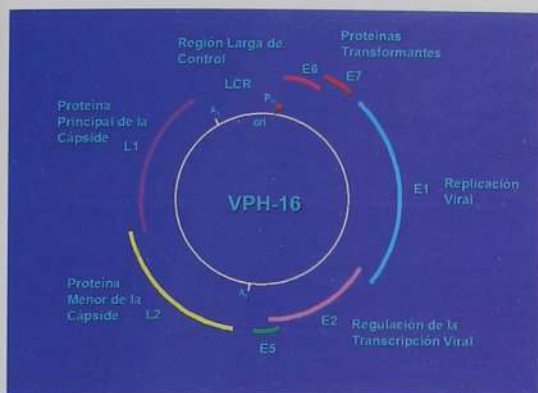


Fig. 1. Organización genómica del papilomavirus tipo 16 VPH-16. Los genes de expresión temprana (E), tardía (L) y la región no codificante de control (LCR) están indicados. AE y AL indican los sitios de poliadenilación y ori señala el origen de replicación viral. P97 es el promotor viral temprano.

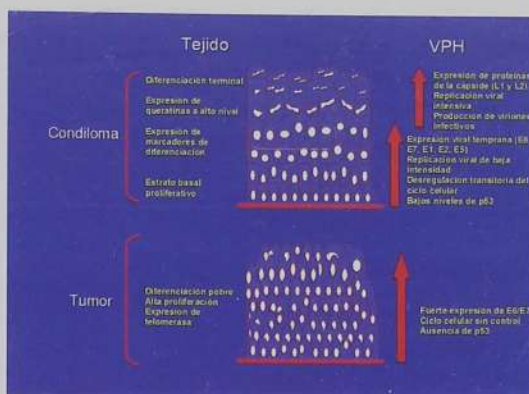


Fig. 2. Expresión de VPH en células infectadas (condiloma) y tumores cervicales.



Fig. 3. Aplicaciones de ácidos nucleicos terapéuticos (ANT) desarrolladas para el combate al cáncer cervical.

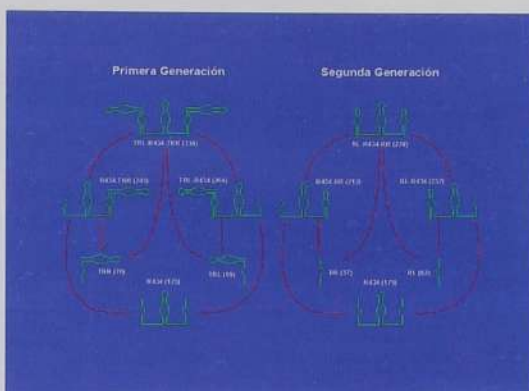


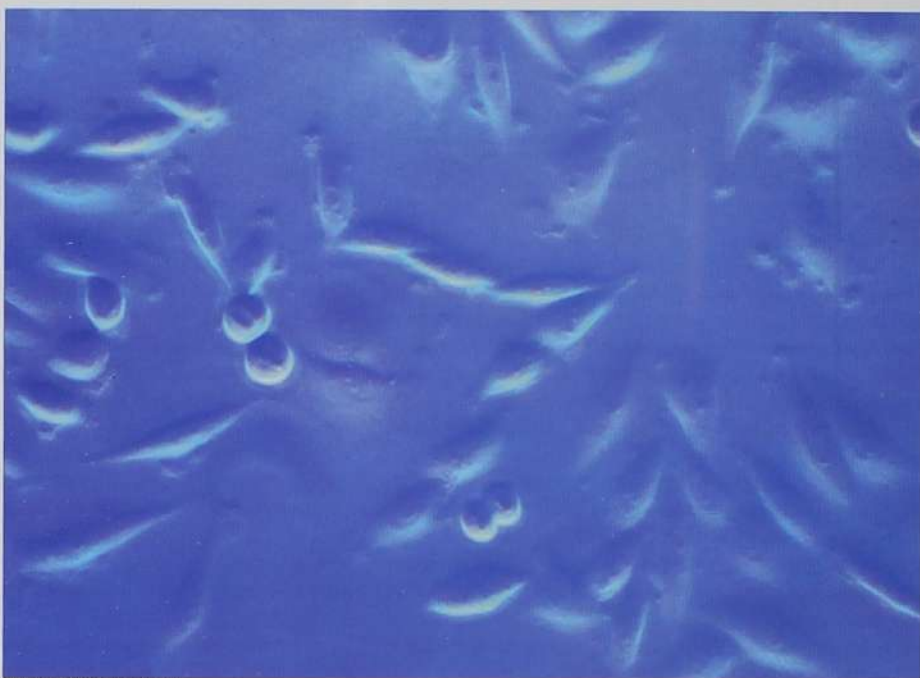
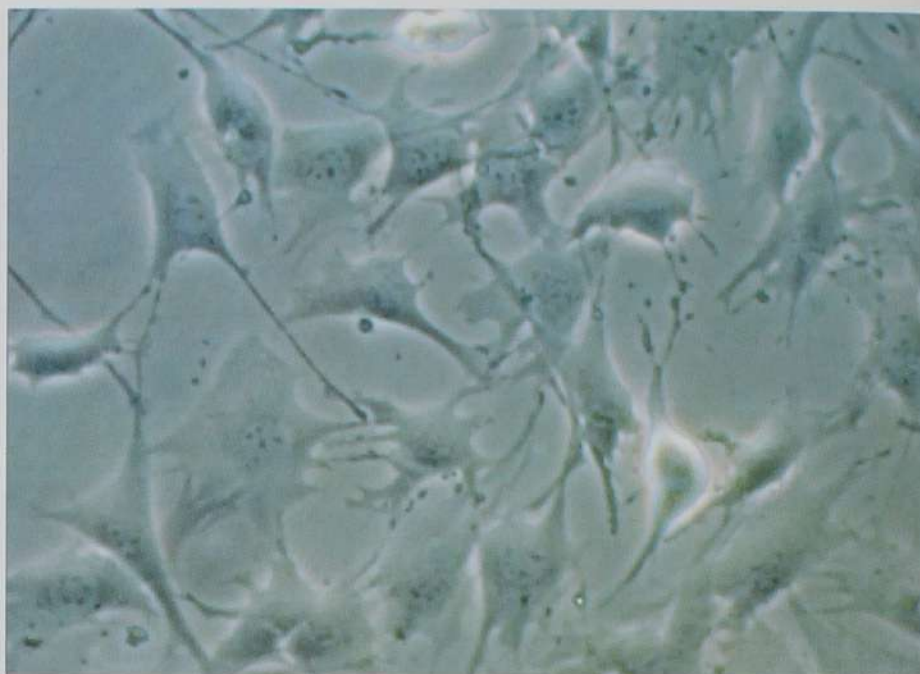
Fig. 4. Modelo de autoprocesamiento para ribozimas triplex de primera y segunda generación desarrolladas en el ITG del Cinvestav.

los reguladores antioncogénicos p53 y Rb llevando a la célula infectada a un proceso de hiperproliferación e immortalización reversibles.^{5,6} Es importante notar que los VPH deben relajar o dejar el control de la célula para completar su ciclo de vida. Así, el regulador viral E2 impide la expresión de E6 y E7 permitiendo la expresión de las proteínas de la cápside viral y el reclutamiento de ADN polimerasas celulares para la replicación intensiva de genomas virales. Este proceso ocurre en sincronía con la diferenciación terminal de la célula infectada produciendo grandes cantidades de viriones infecciosos en lo que ahora serían escamas queratinizadas⁷. Eventualmente, éstas escamas convertidas ahora en cápsulas de VPH se liberan al medio tal y como lo hacen células epiteliales no infectadas (fig. 2).

El resultado observable de la infección por VPH es entonces la aparición de cúmulos de células de naturaleza benigna conocidas como verrugas o condilomas. ¿Qué ocurre entonces en el cáncer cervical? En algunas ocasiones la mezcla de células altamente proliferativas y la replicación de genomas de VPH

produce un efecto inesperado: el genoma de VPH se rompe y se integra al genoma celular. Esto es, debido a un accidente molecular lo que alguna vez fue un virus ahora pasa a ser parte del genoma de la célula. Con esta integración se interrumpe el ciclo de vida del virus y si rompe la continuidad del gen E2 tenemos la expresión constitutiva de E6 y E7. Incapaces de producir más virus, los genes de VPH llevan a la célula a un estado proliferativo descontrolado, permanente y progresivo en ausencia de p53, lo que en conjunto puede producir y mantener alteraciones en genes celulares que desembocan en la formación de un tumor (fig. 2).

De esta forma, el establecimiento del cáncer cervical es el resultado de varios eventos secuenciales, no necesariamente forzados, que inician con la infección por VPH y prevalecen con la expresión constitutiva de E6 y E7. Entonces, la inhibición de la expresión de E6 y E7 ó la supresión de sus interacciones físicas con proteínas celulares podría bloquear su potencial transformante convirtiéndose así en blancos potenciales para el desarrollo de terapias contra cáncer cervical.



Carcinomas cervicouterinos.

En el Laboratorio de Terapia Génica del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav hemos producido ácidos nucleicos terapéuticos destinados a prevenir y combatir la infección por VPH.

Ácidos nucleicos terapéuticos (ANT) contra VPH

En los últimos diez años, en conjunto con el National Cancer Institute/NIH, en el Laboratorio de Terapia Génica del Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav hemos producido ácidos nucleicos terapéuticos (ANT) destinados a prevenir y combatir la infección por VPH. Algunos de estos ANT se conocen colectivamente como *moléculas antisentido*, ya que bloquean la expresión de genes al impedir específicamente su traducción en proteínas. Tenemos tres tipos diferentes: las *ribozimas* (RZ), que son moléculas pequeñas de ARN con capacidad catalítica, los *oligonucleótidos antisentido* (AS-ODN), que hibridan pasivamente con los mensajeros virales, bloqueando su traducción o bien formando híbridos ADN/ARN con el ARNm que activan a la RNasaH celular, y los *ARN interferentes* (siRNA), que esencialmente dirigen una maquinaria celular de destrucción de ARNm (RISC) hacia el virus (fig. 3). Estas nuevas tecnologías son tan prometedoras que ya han sido patentadas y en algunos casos se encuentran ya en fases clínicas.⁸

En una aproximación a este concepto antisentido hemos utilizado AS-ODN para bloquear específicamente la traducción del mensajero de E6/E7, resultando en la destrucción del ARNm de E6 y E7 de VPH-16 y la consecuente inhibición de la proliferación de células tumorales en cultivo. Además, se observó la inhibición del crecimiento de tumores en modelos animales.⁹ Sin embargo, este efecto sólo es por un periodo limitado y su mecanismo de acción está regido por una estequiometría unitaria.¹⁰

Otro intento incluyó la utilización de ribozimas que son liberadas intactas después del procesamiento del ARNm blanco y mantienen la habilidad de hibridarse y procesar otras moléculas blanco (recambio múltiple), disminuyendo, por lo tanto, la dosis requerida para la inhibición génica. Experimentos con ribozimas dirigidas contra el ARNm de E6 de VPH-16 arrojan como resultado la inhibición del crecimiento celular en las células transfectadas con una eficiencia de

procesamiento limitada.¹¹ Cuando las ribozimas son expresadas como parte de un sistema triplex la ruptura específica del ARNm de E6/E7 se hace más eficiente y la ribozima se expresa como parte de un transcrito largo por lo que su integridad está protegida de la acción de ribonucleasas. Además, un sistema triplex permite la expresión de ribozimas dirigidas contra blancos distintos dentro del mismo ARNm evitando la selección de nuevas variantes de VPH-16 (fig. 4).¹²

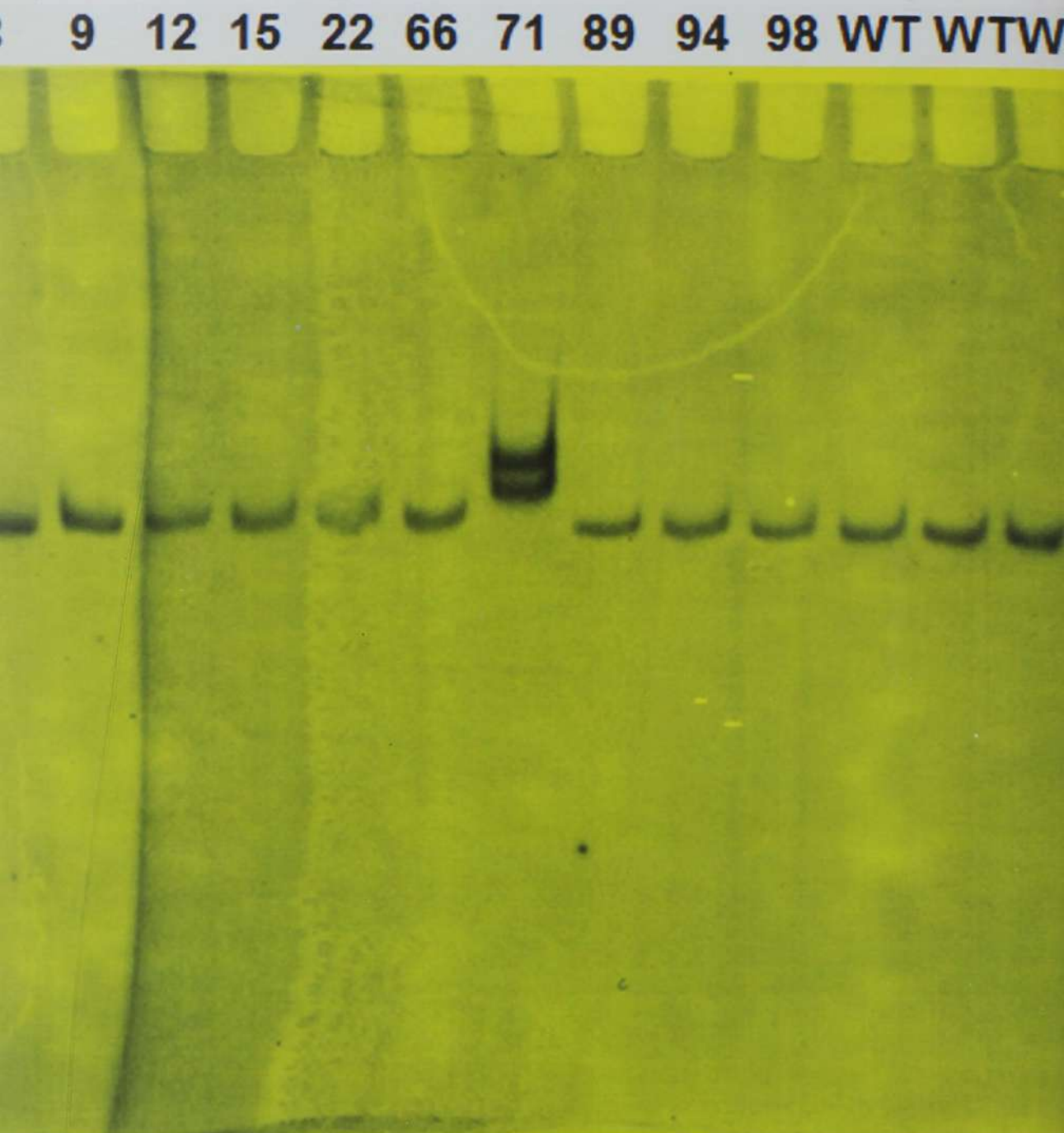
Otro tipo de ANT se refiere a los *aptámeros*, que son ácidos nucleicos con alta afinidad por otras moléculas (ligandos) y que se obtienen por un proceso de selección dentro del laboratorio. El método SELEX (Systematic Evolution of Ligands by EXponential enrichment) está basado en el proceso de evolución, esto es, variación, selección y replicación. En estos ensayos, una biblioteca combinatorial de moléculas de ARN o ADN de cadena sencilla se sujeta a selección por unión a un ligando. Las moléculas seleccionadas son recuperadas y amplificadas para su posterior expresión. Este nuevo conjunto molecular está enriquecido con secuencias que presentan una mayor especificidad y afinidad para unirse al ligando que la biblioteca inicial y es entonces sujeto de una nueva selección. Múltiples rondas de enriquecimiento dan como resultado un aumento exponencial de los ligandos que mejor reconocen el blanco hasta que son la especie dominante en la población. Los aptámeros pueden ser modificados por ingeniería genética o química para dar una señal cuantificable con muy pocas cantidades de ligando. Una aplicación obvia de los aptámeros es la detección de proteínas de VPH con fines de diagnóstico precoz e inclusive su integración a otras tecnologías de punta, como la nanotecnología y microarreglos, para elaborar perfiles de expresión y ayudar en el pronóstico y tratamiento del cáncer cervical.

Así, los ANT han encontrado varias aplicaciones para detectar, prevenir y combatir el cáncer cervical. Desde luego, su utilización efectiva dependerá de los recursos destinados a esta tecnología y el interés por entidades gubernamentales por el desarrollo científico-tecnológico mexicano. ●

[Referencias]

1. Palacio-Mejía, L.S., Rangel-Gómez, G., Hernández-Avila, M. y E. Lazcano-Ponce, *Salud Pública Mex.* 45, S315-S325, 2003.
2. Pisani, P., Bray, F. y D. M. Parkin, *Int. J. Cancer* 97, 72-81, 2002.
3. Clifford, G.M., Smith, J.S., Plummer, M., Muñoz, N. y S. Franceschi, *Br. J. Cancer* 88, 63-73, 2003.
4. Zur Hausen, H., *Biochim. Biophys. Acta* 1288, F55-78, 1996.
5. Werness, B.A., Levine, A.J. y P.M. Howley, *Science* 248, 76-79, 1990.
6. Münger, K., Werness, B.A., Dyson, N., Phelps, W.C., Harlow, E. y P.M. Howley, *EMBO J.* 8, 4099-4105, 1989.
7. Di Paolo, J.A., Popescu, N.C., Alvarez, L. y C.D. Woodworth, *Crit. Rev. Oncog.* 4, 337-360, 1993.
8. Alvarez-Salas, L.M., Benítez-Hess, M.L. y J.A. DiPaolo, *Antivir. Ther.* 8, 265-278, 2003.
9. Alvarez-Salas, L.M., Arpa Wong, T.E. y J.A. DiPaolo, *Antisense. Nucleic. Acid. Drug. Dev.* 9, 441-450, 1999.
10. DiPaolo, J.A. y L.M. Alvarez-Salas, *Expert. Opin. Biol. Ther.* 4, 1251-1264, 2004.
11. Alvarez-Salas, L.M., Cullinan, A.E., Siwkowski, A., Hampel, A. y J.A. DiPaolo, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 95, 1189-1194, 1998.
12. Benítez-Hess, M.L., Di Paolo, J.A. y L.M. Alvarez-Salas, *Luminescence* 19, 85-93, 2004.

Fig. 1. Actividad de polimerización de ADP por PNPasa de *Escherichia coli*. Luego del fraccionamiento de las proteínas, el gel nativo es incubado a pH 8.0 en una solución conteniendo 10 mM de ADP y 10 mM de $MgCl_2$. La actividad se observa como bandas teñidas con naranja de acridina.³ La doble banda del carril 71 es consecuencia de la mutación en PNPasa71.



Polinucleótido fosforilasa: una joya de las ribonucleasas

HACE MÁS DE 50 AÑOS, VARIOS EXCITANTES DESCUBRIMIENTOS EN EL CAMPO DE LA BIOQUÍMICA FUERON HECHOS. ENTRE ELLOS EL DESCUBRIMIENTO DE LA ENZIMA POLINUCLEÓTIDO FOSFORILASA ESTIMULÓ LA INVESTIGACIÓN QUE CONDUJO A DESCIFRAR EL CÓDIGO GENÉTICO.

Jaime García Mena

Una afortunada asociación de imágenes
Mi trabajo con la enzima Polinucleótido Fosforilasa (PNPasa) comenzó de una manera incidental al ingresar como estudiante de Maestría al Departamento de Genética y Biología Molecular del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados en el año 1986. Luego de completar mis cursos teóricos decidí hacer mi trabajo de tesis de Maestría en el laboratorio de la Dra. Cecilia Montañez Ojeda, quien en aquel tiempo estudiaba el efecto de algunas mutaciones en la eficiencia de la terminación de la transcripción por el terminador T1 de la región *sib* del bacteriófago lambda de *Escherichia coli*.

El sistema de estudio estaba basado en un sistema de plásmidos, en uno de ellos se tenía un promotor transcripcional seguido del gen reportero galactocinasa (*galK*) que permitía seguir la expresión, en otra versión del plásmido se tenía el terminador silvestre clonado

entre el promotor y el gen reportero, impidiendo muy eficientemente la transcripción de *galK*, y la tercera versión del plásmido contenía el terminador de función defectuosa debido a una mutación llamada *sib1* en el tallo de la estructura, lo que permitía cierta expresión de *galK*.¹

Debido a que era de interés entender la manera en que la mutación afectaba el funcionamiento del terminador, se me encomendó buscar mutaciones supresoras de *sib1* en el genoma de *E. coli* K-12, para lo cual seleccioné una cepa bacteriana (S165)² en la que la expresión de *galK* tiene efectos bacteriostáticos severos debido a la acumulación de galactosa-1-fosfato por eliminación de todos los genes del operón de la galactosa (*galK*; epimerasa, *galE* y transferasa, *galT*) del cromosoma bacteriano. En esta cepa el plásmido conteniendo el terminador silvestre con sólo 6% de expresión del gen *galK* permitía su crecimiento en cajas

JAIME GARCÍA MENA Químico Bacteriólogo y Parasitólogo (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN). Doctor en Ciencias (Departamento de Genética y Biología Molecular, Cinvestav). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (nivel II). Es Investigador Titular y Director de Investigación del Laboratorio de Genómica Ambiental del Departamento de Genética y

Biología Molecular del Cinvestav-Zacatenco. Es profesor regular de los cursos del programa de posgrado del Programa de Maestría y Doctorado del Departamento de Genética y Biología Molecular, Cinvestav, y profesor invitado en otras instituciones de Educación Superior.
jgmena@cinvestav.mx



Fig. 2. Dra. Marianne Grunberg-Manago.^{3,4}



Fig. 3. Dr. Severo Ochoa (1905-1993).⁶

de medio Luria-Bertani con 0.6% de galactosa, el plásmido sin el terminador inhibía su crecimiento por 100% de expresión del mismo gen, mientras que el plásmido conteniendo el terminador de función defectuosa y con una expresión de 35% de *galK* permitía un crecimiento limitado de las colonias bacterianas, lo suficientemente diferente para distinguirlas de aquellas obtenidas con un terminador eficiente. Un protocolo de mutagénesis de la bacteria con nitrosoguanidina y su posterior transformación con el plásmido conteniendo el terminador defectuoso por *sib1* permitió obtener varias colonias candidato con una morfología semejante a aquellas portando el plásmido con un terminador eficiente. Es decir, que podría tratarse de supresoras de la mutación que redujeran la expresión de *galK* de 35% a un valor cercano a 6%, lo que se estaba buscando.

Los estudios posteriores contemplaban la extracción de RNA total para estudiar el RNA mensajero de *galK* por ensayos tipo Northern-blot. Por ese tiempo el Dr. Bulmaro Cisneros Vega, entonces estudiante de doctorado en el mismo laboratorio, estudiaba el efecto de la ausencia de PNPasa en la estabilidad del mismo mensajero utilizando una cepa de *E. coli* conteniendo una versión mutante del gen de la PNPasa inactivado por un transposón. Al observar los resultados de sus ensayos Northern-blot hechos con los mismos plásmidos que yo usaba pude asociar una similitud en el patrón de bandas entre la mutante de PNPasa que él usaba y una de las tantas cepas candidato que aislé. Un análisis de

polimerización de ADP por una preparación de proteínas solubles del candidato 71 permitió observar que en esta bacteria existía una migración sui generis de la PNPasa, muy diferente a la cepa silvestre³ (fig. 1). Este resultado sugirió que la mutación se relacionaba con la PNPasa. Estudios posteriores de mapeo por transducción y secuenciación del gen, realizados en el laboratorio del Dr. Asis K. Das en el Departamento de Microbiología de The University of Connecticut Health Center en Farmington, permitieron confirmar que la mutación supresora de *sib1* estaba situada en el gen de PNPasa.

Con el apoyo de la beca Wood-Whelan Research Fellowship Award, otorgada por la entonces Internacional Union of Biochemistry, pude realizar la purificación y estudiar la actividad enzimática de esta interesante mutante de PNPasa, en una estancia en el laboratorio del Dr. Claude Portier del Institut de Biologie Physico-Chimique en París. Estos estudios permitieron determinar que la autorregulación es una función importante que se encuentra afectada en la mutante PNPasa 71.⁴ Es en esa estancia de investigación donde tuve el honor de conocer a la Dra. Marianne Grunberg-Manago.

La Polinucleótido Fosforilasa

Hace más de 50 años, durante el periodo de 1955 a 1961, varios excitantes descubrimientos en el campo de la Bioquímica fueron hechos; entre ellos el descubrimiento de la enzima Polinucleótido Fosforilasa estimuló la investigación que condujo a descifrar el Código Genético.

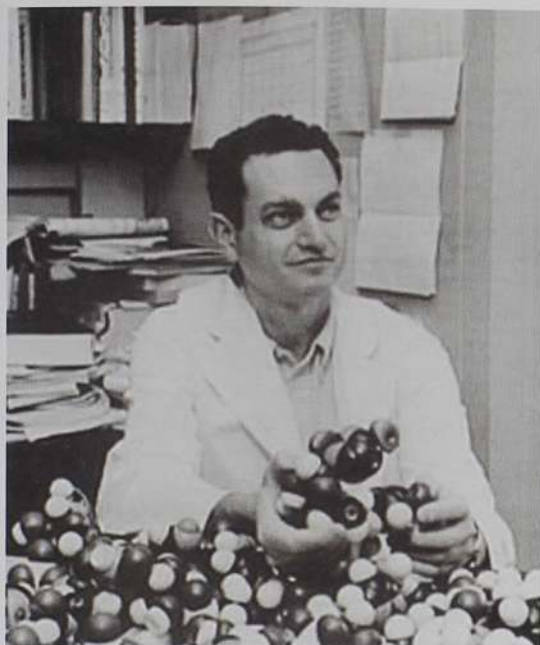


Fig. 5. Dr. Marshall Nirenberg.⁴

El descubrimiento de la Polinucleótido Fosforilasa de *Azotobacter vinelandii* fue hecho por la Dra. Marianne Grunberg-Manago (fig. 2), mientras hacía una estancia posdoctoral en el laboratorio del Dr. Severo Ochoa (fig. 3), quien era entonces profesor en New York University en la ciudad de Nueva York.⁵ La importancia de este descubrimiento, sus estudios sobre los polirribonucleótidos sintetizados, más el impacto que posteriormente tuvo en el avance de la incipiente Biología Molecular, concedieron al Dr. Severo Ochoa el Premio Nobel en 1959.⁶

Lo más notable de la enzima fue su capacidad de polymerizar RNA *in vitro* sin tener especificidad por las bases en las moléculas precursoras (fig. 4). Esta propiedad fue utilizada por el Dr. Severo Ochoa para sintetizar moléculas de RNA útiles en traducción y

Contrariamente a lo que condujo a su descubrimiento, en *E. coli* la función principal de PNPasa *in vivo* es la degradación fosforolítica procesiva de 3' a 5' de RNA, liberando 5' nucleosido difosfatos.

determinar que los RNA mensajeros eran leídos de 5' a 3', y por el Dr. Marshall Nirenberg (fig. 5) para utilizar diversos moldes sintéticos de RNA y descifrar finalmente el código genético,⁷ aporte tan importante que le hizo también merecedor del Premio Nobel en 1968.⁸ Contrariamente a lo que condujo a su descubrimiento, en *E. coli* la función principal de PNPasa *in vivo* es la degradación fosforolítica procesiva de 3' a 5' de RNA, liberando 5' nucleosido difosfatos⁹ (fig. 6).

La PNPasa (E.C.2.7.7.8) es una polirribonucleótido nucleotidil-transferasa, cuya actividad ha sido descrita en varias eubacterias como *E. coli*, en la bacteria fotosintética *Rhodospirillum rubrum*, en el alga azul *Anacystis nidulans* y en cloroplastos de espinaca. De todas ellas, la PNPasa de *E. coli* (EcPNPase) ha sido la más caracterizada enzimáticamente. Por otra parte, la

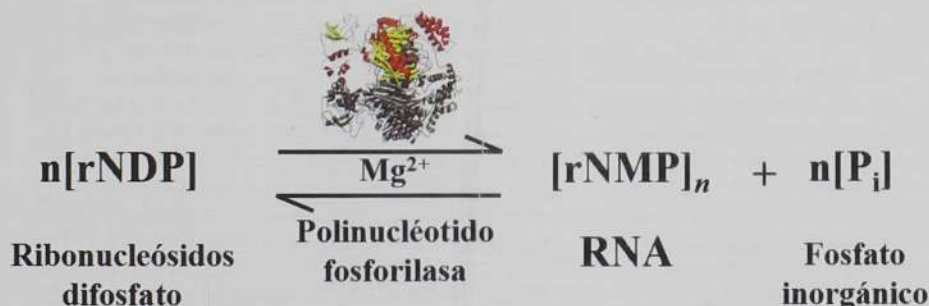


Fig. 4. Reacciones enzimáticas de la PNPasa. Usando magnesio como cofactor; a baja concentración de fósforo inorgánico la enzima cataliza la polimerización de nucleósidos difosfato en encadenamientos largos de RNA. Si la concentración de fósforo inorgánico es alta la enzima cataliza la reacción de fosforólisis liberando nucleósidos difosfato.

Funcionalmente hPNPasa media la acción del interferón- β , para inhibir crecimiento celular, estando relacionada con disminución de la viabilidad en diferentes líneas de melanoma. Esta disminución se relaciona con detención del ciclo celular en la fase G1, inducción de apoptosis, inhibición de síntesis de DNA y de actividad de telomerasa.

estructura multidominio trimérica con un canal central determinada por cristalografía de rayos-X para la PNPasa de *Streptomyces antibioticus* (SaPNPasa) se ha convertido en el paradigma estructural para las polinucleótido fosforilasas.¹²

EcPNPasa es un homotrímero de subunidades y cada monómero está compuesto de 734 aminoácidos con un peso teórico de 79.9 kDa. Por su alta homología (55.6%) e identidad (41.4%) con la secuencia primaria de la enzima de *S. antibioticus*, EcPNPasa puede modelarse tridimensionalmente, reconociéndose la presencia de dos dominios Core (o RPH), un dominio Central de α -hélices y un dominio KH seguido de un dominio S1 en el extremo carboxilo (fig. 7). Los dominios Core contienen las interfases de trimerización y en EcPNPasa el segundo dominio Core contiene el sitio catalítico; adicionalmente en los dominios Core se encuentran situados los dominios de interacción con la Ribonucleasa E (RNasa E).¹⁰

Por otra parte, KH y S1 son dos dominios de unión a RNA, necesarios para una apropiada función enzimática de fosforólisis de RNA y que son requeridos para un funcionamiento adecuado de EcPNPasa a baja temperatura, participando también en la autorregulación por represión traduccional y en la agregación de las subunidades de la enzima.¹¹ Un dominio KH y un dominio S1 están presentes en el extremo carboxilo de todas las secuencias de aminoácidos de las PNPasas reportadas,^{12,13,14} varias mutantes han sido aisladas en estos dominios de unión

de PNPasa, resultando en desrepresión de la síntesis de PNPasa en la célula y afectando el decaimiento de mRNA.^{4,15}

Su asociación con otras enzimas

La PNPasa es un componente principal del Degradosoma (fig. 8), organizado por la RNasa E, e integrado adicionalmente al menos por la RhlB RNA-helicasa dependiente de ATP y la enzima glicolítica Enolasa.¹⁶ En *E. coli* el Degradosoma se ensambla *in vivo* y está asociado con la membrana citoplásmica a través del extremo amino terminal de RNasa E.¹⁷ Esta localización permitiría una degradación regulada de ciertos mRNAs, como el transportador principal de glucosa.¹⁸

Degradosomas activos pueden ser aislados de bacterias o Degradosomas mínimos pueden ser reconstituidos *in vitro* a partir de componentes purificados.¹⁹ Ha sido reportado que una vez ensamblado el Degradosoma es muy estable en términos de la composición de sus subunidades, dado que una mutante de EcPNPasa residente no puede ser sustituida del complejo por una EcPNPasa silvestre *in vitro*.¹⁹ Sin embargo, bajo ciertas condiciones, hay evidencia experimental suficiente de sustitución de subunidades en el Degradosoma; pues RNasa E, PNPasa y CsdA, y una DEAD-box RNA helicasa dependiente de ATP que sustituye a la Helicasa RhlB, se ensamblan en un complejo funcional de choque-frio.²⁰ Adicionalmente, RNasa E interacciona en un complejo

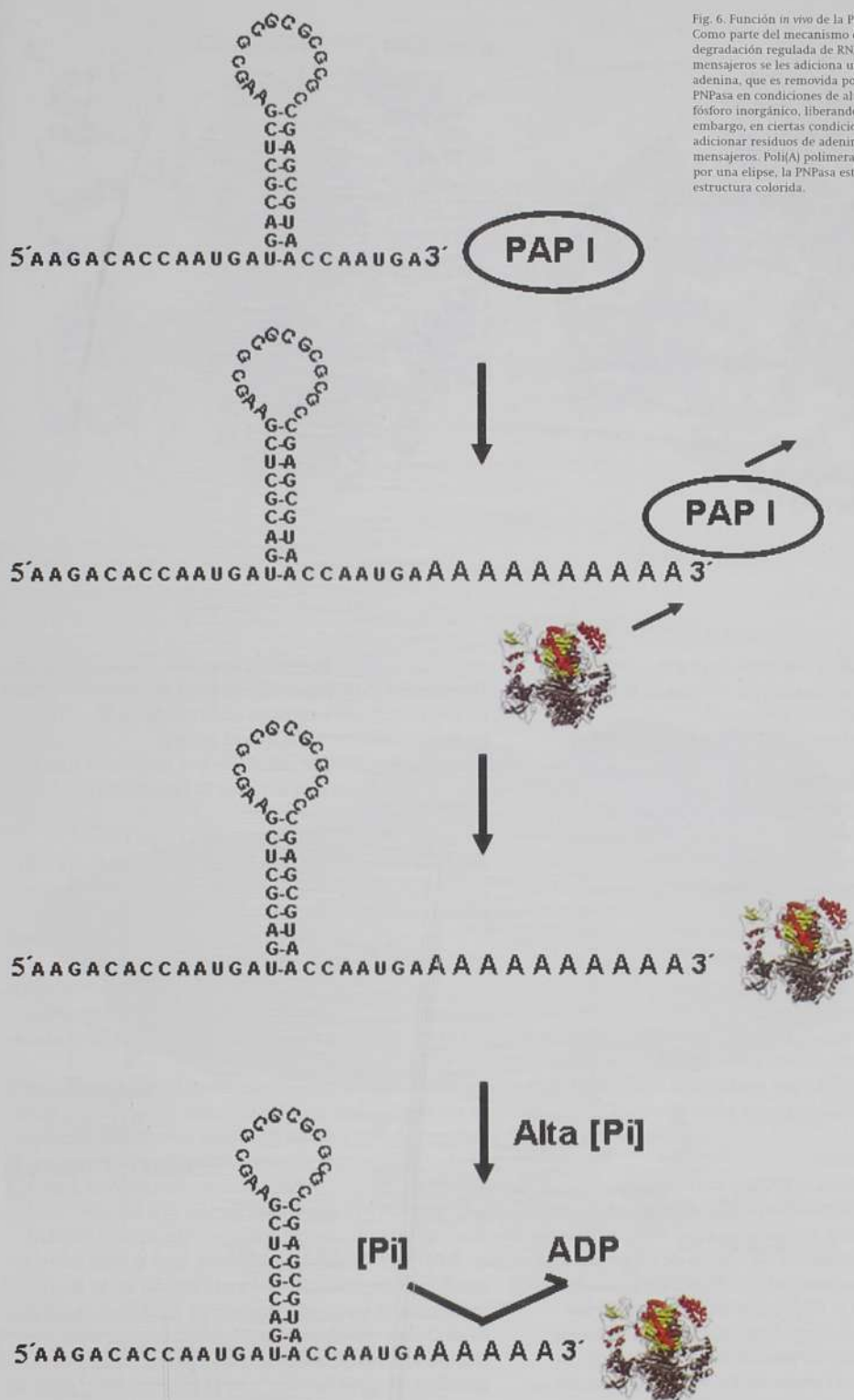


Fig. 6. Función in vivo de la PNPasa en *Escherichia coli*. Como parte del mecanismo de decaimiento-degradación regulada de RNA mensajero, a los mensajeros se les adiciona una cadena de residuos de adenina, que es removida posteriormente por la PNPasa en condiciones de alta concentración de fósforo inorgánico, liberando moléculas de ADP. Sin embargo, en ciertas condiciones la PNPasa es capaz de adicionar residuos de adenina en el extremo 3' de los mensajeros. Poly(A) polimerasa (PAP I) está representada por una elipse, la PNPasa está representada por una estructura colorida.

Aunque controversial por los pocos ejemplos de mensajeros reportados, se reconoce que la función del Degradosoma es necesaria *in vivo* para la degradación de mensajeros como el gen *ptsG*, que codifica para el transportador principal de glucosa en *E. coli*.

funcional con la DEAD-helicasa RhlE y la exonucleasa Ribonucleasa R, que sustituye a PNPasa en la bacteria psicotrópica *Pseudomonas syringae*.²¹

Aunque controversial por los pocos ejemplos de mensajeros reportados, se reconoce que la función del Degradosoma es necesaria *in vivo* para la degradación de mensajeros como el gen *ptsG*, que codifica para el transportador principal de glucosa en *E. coli*.²² También se tiene evidencia que en *E. coli* su función podría ser vital a baja temperatura.¹¹ Cada componente del Degradosoma tiene una función especializada que involucra interacciones proteína-proteína importantes. Esta coordinación funcional entre los miembros del complejo permite que este complejo haga el procesamiento y degradación de un RNA sustrato. Una posibilidad interesante es que el Degradosoma participe en el procesamiento, maduración o la degradación de otras moléculas de RNA por sustitución de algunas de sus subunidades residentes por otras homólogas.

La PNPasa humana

Aunque en mamíferos la PNPasa fue inicialmente reportada en muestras de esperma y orina humanas,²³ en epiteloma de rata,²⁴ en hepatocitos de conejillos de indias²⁵ y en mitocondrias de hígado de rata,²⁶ ha sido recientemente y nuevamente en Nueva York donde el grupo del Dr. Paul B. Fisher (fig. 9), investigador del Department of Pathology, Neurosurgery and Urology, Columbia University, ha descubierto la función de la PNPasa humana.²⁷ El grupo de Dr. Fisher ha descrito un

incremento en su expresión asociado a senescencia en fibroblastos y diferenciación celular en células humanas de melanoma HO-1 tratadas con interferón- β ; encontrándose también que el gen es transcripcionalmente inducible por interferón tipo I (Tipo β) y su expresión suprime la formación de colonias de células de melanoma.²⁸

El gen *old-35* para hPNPasa (alias *pnpt1*) tiene aproximadamente 54 kb, consiste de un promotor con elementos ISRE de respuesta a interferón, 28 exones y 27 intrones que se encuentran localizados en el cromosoma y posición 2p16.1. El gen *old-35* codifica para una proteína de 783 aminoácidos, con una masa molecular de 86 kDa²⁹ y de localización en mitocondria y citoplasma.^{30, 31} Esta enzima exhibe alta homología (45.1%) e identidad (30.6%) con la secuencia primaria de SaPNPasa.

La predicción teórica estructural indica la presencia de un péptido señal de localización mitocondrial en el extremo amino y de los dominios Core (RPH), dominio Central de α -hélices y los dominios KH y S1 en el extremo carboxilo.¹³ Funcionalmente hPNPasa media la acción del interferón- β para inhibir crecimiento celular, estando relacionada con disminución de la viabilidad en diferentes líneas de melanoma. Esta disminución se relaciona con detención del ciclo celular en la fase G1, inducción de apoptosis, inhibición de síntesis de DNA y de actividad de telomerasa. Molecularmente estos efectos se deben a la disminución específica en los niveles del mRNA de *c-myc* y de la proteína Myc, pero no

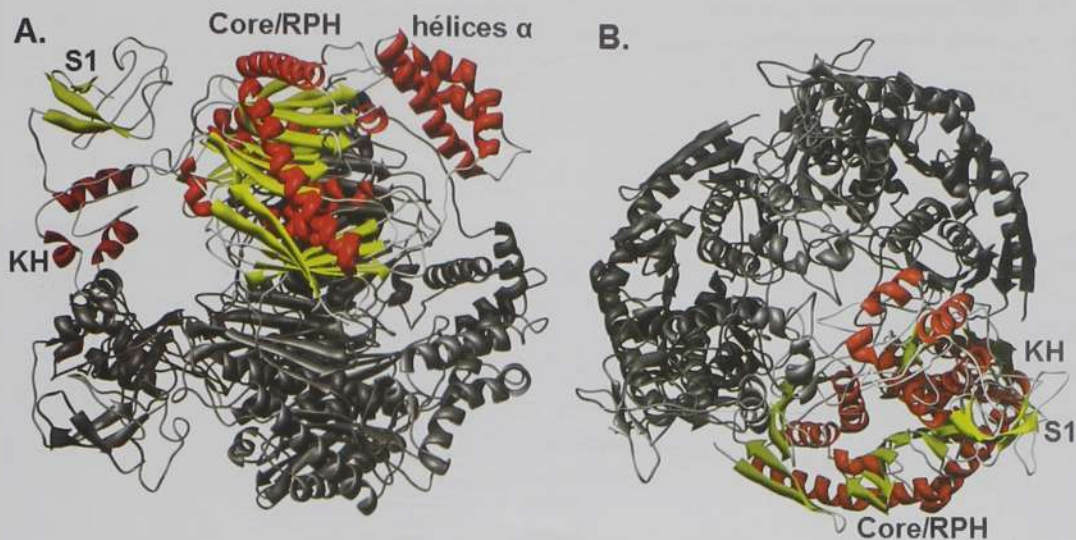


Fig. 7. Modelo de homotrimer en anillo de la estructura cuaternaria de la Polinucleótido Fosforilasa de *E. coli*. La estructura secundaria se indica en un monómero: hélices alfa en rojo y hojas beta en amarillo. Se anotan los dominios Core centrales, el dominio de hélices alfa y los dominios KH y S1. A) Vista lateral. B) Vista superior en la que se aprecia lo que debe ser el poro central entre los tres dominios KH y tres S1. Modelo hecho usando 3D-PSSM Web Server v2.6.0,²⁵ refinamiento de la estructura del monómero de proteína y construcción de la estructura cuaternaria hecho con Xtalview module from Xtalview set of programs.²⁶ Imágenes gráficas de la estructura cuaternaria hechas con el programa UCSF Chimera package²⁷ del Computer Graphics Laboratory, University of California, San Francisco.

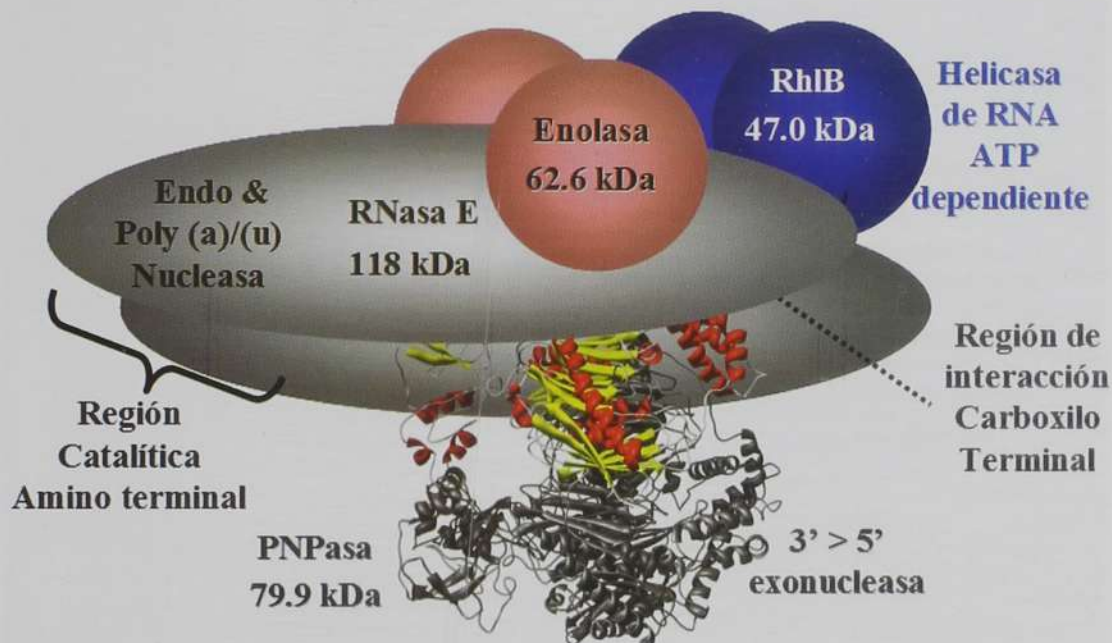


Fig. 8. El RNA Degradosoma de *E. coli*. En el citoplasma bacteriano, el trímero de PNPasa está asociado física y funcionalmente con la enzima Ribonucleasa E, que organiza el complejo multienzimático RNA degradosoma importante para la degradación regulada de mensajeros. Este complejo incluye la funcionalidad de la endonucleasa RNasa E, la actividad de desenrollamiento de estructuras de RNA por parte de una helicasa y la especificidad de degradación de algunos mensajeros conferida al complejo por la presencia de la Enolasa.

Estudios del mapeo por transducción y secuenciamiento del gen, realizados en el laboratorio del Dr. Asis K. Das en el Departamento de Microbiología de The University of Connecticut Health Center en Farmington, permitieron confirmar que la mutación supresora de *sib1* estaba situada en el gen de PNPasa.



Fig. 9. Dr. Paul B. Fisher en su visita al Departamento de Genética y Biología Molecular del Cinvestav. En el sentido de las manecillas del reloj: Rodrigo García Gutiérrez, Alberto Piña Escobedo, Paul B. Fisher, Jaime García Mena y Noé V. Durán Figueroa.

del mRNA de otro gen de respuesta temprana como *c-jun*.³² Ha sido reportado que para mediar los efectos de inhibición de crecimiento, morfológicos, bioquímicos y los cambios en la expresión genética asociados a senescencia celular por la hPNPasa, es necesario y suficiente cualquiera de los dos dominios RPH de la enzima.³¹ Dado que en este proceso existe disminución de la concentración de Myc como consecuencia de la disminución por degradación de su mRNA, este resultado resulta intrigante debido a que cualquiera de los dominios RPH es necesario y suficiente para degradar específicamente el mRNA de *c-myc*. En la PNPasa de *E. coli*, KH y S1 son dominios importantes de unión a RNA, autorregulación de su expresión, agregación de subunidades y actividad catalítica de polimerización y degradación de RNA, sin que se haya reportado alguna especificidad de sustrato.^{33, 11} Esto haría un estudio comparativo de las propiedades de las hPNPasa y EcPNPasa de interés, porque permitiría determinar determinantes de especificidad en la

enzima humana que aparentemente no existen en la enzima procariótica.

Conclusiones

Hace más de 50 años el descubrimiento de la PNPasa bacteriana y su actividad fue el detonante de investigación conducente al desciframiento del Código Genético, esperemos que el descubrimiento de la PNPasa humana y su función permita descifrar el código del cáncer, uno de los grandes males a vencer para este ciclo. Esto hace de la PNPasa, una joya de las ribonucleasas.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración en la preparación, escritura y revisión de este manuscrito a la M. en C. Paola Berenice Zárate Segura. Trabajo financiado parcialmente por el Proyecto Conacyt de Ciencia Básica D48795-Q.

[Referencias]

- Montanez C., Bueno J., Schmeissner U., Court D.L., Guarneros G., Mutations of bacteriophage lambda that define independent but overlapping RNA processing and transcription termination sites. *J. Mol. Biol.* 191:29-37, 1986.
- Shapiro J.A., Adhya S., The galactose operon of *E. coli* K12 II. A deletion analysis of operon structure and polarity. *Genetics*. 62:249-264, 1969.
- García Mena, J., Polynucleotide Phosphorylase, *rib* and Gene Expression. Tesis Doctoral, Departamento de Genética y Biología Molecular. Cinvestav 1992.
- García-Mena J., Das A., Sánchez-Trujillo A., Portier C., Montañez C. A novel mutation in the KH domain of polynucleotide phosphorylase affects autoregulation and mRNA decay in *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.* 33:235-248, 1999.
- Grunberg-Manago M., Ortiz P.J., Ochoa S., Enzymatic Synthesis of Nucleic Acids. *Science*. 122:907-910, 1955.
- Ochoa S., Enzymatic synthesis of ribonucleic acid. *Nobel Lecture*. December 11, 1959. (<http://www.nobel-prize.org/EN/Medicine/ochoa.htm>).
- Nirenberg M.W., Matthaei J.H., The dependence of cell-free protein synthesis in *E. coli* upon naturally occurring or synthetic polyribonucleotides. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 47:1588-1602, 1961.
- Nirenberg M., The genetic code. *Nobel Lecture*. December 12, 1968. (<http://www.nobel-prize.org/EN/Medicine/nirenberg.htm>).
- Mohanty B.K., Kushner S.R., Polynucleotide phosphorylase functions both as a 3'5' exonuclease and a poly(A) polymerase in *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 97:11966-11971, 2000.
- Durán-Figueroa N.V., Piña-Escobedo A., Schroeder I., Simons R.W., García-Mena, J., Polynucleotide Phosphorylase interacts with Ribonuclease E through a „„ domain. *Biochimie*. 88:725-735, 2006.
- Matus-Ortega M.E., Piña-Escobedo A., Tortora P., Regonesi M.E., Dehò G., García-Mena J., The KH and S1 domains are necessary for autoregulation and function of *Escherichia coli* Polynucleotide Phosphorylase at low temperature. *Enviado a Biochim Biophys Acta-Gene structure and expression*, 2006.
- Symmons M.F., Jones G.H., Luisi B.E., A duplicated fold is the structural basis for polynucleotide phosphorylase catalytic activity, processivity, and regulation. *Structure Fold Des.* 8:1215-1226, 2000.
- Leszczynicka M., DeSalle R., Kang D.C., Fisher P.B., The origin of polynucleotide phosphorylase domains. *Mol. Phylogenet. Evol.* 31:123-130, 2004.
- Bermudez R.M., Ramirez F., Kameyama L., Montañez C., Conserved domains in polynucleotide phosphorylase among bacteria. *Biochimie*. 87:737-745, 2005.
- Jarrige A.-C., Bréchemier-Baey D., Mathy N., Duché O., Portier C., Mutational Analysis of Polynucleotide Phosphorylase from *Escherichia coli*. *J. Mol. Biol.* 321:397-409, 2002.
- Carpousis A.C., Vanzo N.F., Raynal L.C., mRNA degradation. A tale of poly(A) and multiprotein machines. *Trends Genet.* 15:24-28, 1999.
- Liu G.G., Jane W.N., Cohen S.N., Lin N.S., Sue L.C., RNA degradosomes exist in vivo in *Escherichia coli* as multicomponent complexes associated with the cytoplasmic membrane via the N-terminal region of ribonuclease E. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 98:63-68, 2001.
- Kawamoto H., Morita T., Shimizu A., Inada T., Aiba H., Implication of membrane localization of target mRNA in the action of a small RNA: mechanism of posttranscriptional regulation of glucose transporter in *Escherichia coli*. *Genes & Dev.* 19:328-338, 2005.
- Coburn G., Miao X., Briant D.J., Mackie G.A., Reconstitution of a minimal RNA degradosome demonstrates functional coordination between a 3' exonuclease and a DEAD-box RNA helicase. *Genes & Dev.* 13:2594-2603, 1999.
- Prud'homme-Généreux A., Beran R.K., Iost I., Ramey S.R., Mackie G.A., Simons R.W., Physical and functional interactions among RNase E, polynucleotide phosphorylase and the cold-shock protein, CsdA: evidence for a 'cold shock degradosome'. *Mol. Microbiol.* 54:1409-1421, 2004.
- Purusharth R.J., Klein F., Sulthana S., Jager S., Jagannadham M.V., Evgenieva-Hackenberg E., Ray M.K., Klug G., Exoribonuclease R interacts with endoribonuclease E and an RNA helicase in the psychrotrophic bacterium *Pseudomonas syringae* Lz4W. *J. Biol. Chem.* 280:14572-14578, [44], 2005.
- Morita T., Kawamoto H., Mizota T., Inada T., Aiba H., Enolase in the RNA degradosome plays a crucial role in the rapid decay of glucose transporter mRNA in the response to phosphosugar stress in *Escherichia coli*. *Mol. Microbiol.* 54: 1063-1075, 2004.
- Hakim A.A., Synthetic activity of polynucleotide phosphorylase from sperm. *Nature*. 183:334, 1959.
- Yagi K., Ozawa T., Konogi H., Occurrence of polynucleotide phosphorylase in atypical epithelioma of rat. *Nature*. 184(Suppl 25):1939, 1959.
- Fitt P.S., See Y.P. (1970) Guinea-pig liver polynucleotide phosphorylase. *Biochem. J.* 116:309-311.
- See Y.P., Fitt P.S., Partial purification and properties of rat liver mitochondrial polynucleotide phosphorylase. *Biochem. J.* 130:343-353, 1972.
- Sarkar D., Fisher P.B., Polynucleotide phosphorylase: An evolutionary conserved gene with an expanding repertoire of functions. *Pharmacol. Ther.* May 27; [Epub ahead of print], 2006.
- Leszczynicka M., Kang D.C., Sarkar D., Su Z.Z., Holmes M., Valerie K., Fisher P.B., Identification and cloning of human polynucleotide phosphorylase, hPNPase old-35, in the context of terminal differentiation and cellular senescence. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 99:16636-16641, 2002.
- Leszczynicka M., Su Z.Z., Kang D.C., Sarkar D., Fisher P.B., Expression regulation and genomic organization of human polynucleotide phosphorylase, hPNPase(old-35), a Type I interferon inducible early response gene. *Gene*. 316:143-156, 2003.
- Piwoński J., Grzechnik P., Dziembowski A., Dmochowska A., Minczuk M., Stepień P.P., Human polynucleotide phosphorylase, hPNPase, is localized in mitochondria. *J. Mol. Biol.* 329:853-857, 2003.
- Sarkar D., Park E.S., Emdad L., Randolph A., Valerie K., Fisher P.B., Defining the domains of human polynucleotide phosphorylase (hPNPase-OLD-35) mediating cellular senescence. *Mol. Cell Biol.* 25:7333-7343, 2005.
- Sarkar D., Leszczynicka M., Kang D.C., Lebedeva I.V., Valerie K., Dhar S., Pandita T.K., Fisher P.B., Down-regulation of Myc as a potential target for growth arrest induced by human polynucleotide phosphorylase (hPNPase-old-35) in human melanoma cells. *J. Biol. Chem.* 278:24542-24551, 2003.
- Stickney L.M., Hankins J.S., Miao X., Mackie G.A., Function of the conserved S1 and KH domains in polynucleotide phosphorylase. *J. Bacteriol.* 187:7214-7221, 2005.
- Grunberg-Manago M., Recollection studies of polynucleotide Phosphorylase: a commentary by Marianne Grunberg-Manago. *Biochim Biophys. Acta*. 1000:59-64, 1989.
- Kelley L.A., MacCallum R.M., Sternberg M.J.E., Enhanced genome annotation using structural profiles in the program 3D-PSSM. *J. Mol. Biol.* 299:499-520, 2000.
- McRee D.E., XtalView/Xfit-A versatile program for manipulating atomic coordinates and electron density. *J. Struct. Biol.* 125:156-165, 1999.
- Petersen E.F., Goddard T.D., Huang C.C., Couch G.S., Greenblatt D.M., Meng E.C., Ferrin T.E., UCSF Chimera - A Visualization System for Exploratory Research and Analysis. *J. Comput. Chem.* 25:1605-1612 (<http://www.cgl.ucsf.edu/chimera>), 2004.

Yucatán en las Olimpiadas de Biología: Cuna de talentos

EN EL MARCO DEL PROGRAMA OLIMPIADAS DE BIOLOGÍA, DE LA ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS (AMC), SE PRESENTA EL DESEMPEÑO DEL ESTADO DE YUCATÁN, A 15 AÑOS DE SUBSISTENCIA DE DICHO PROGRAMA. LA INFORMACIÓN SE ANALIZA EN TÉRMINOS DE CALIDAD ACADÉMICA, GÉNERO, ESCUELAS DE PROCEDENCIA, MEDALLAS GANADAS Y CARRERAS QUE ESTUDIAN LOS CONCURSANTES DE LA OLIMPIADA DE BIOLOGÍA.

Victoria Patiño Suárez y Dalila Aldana Aranda

Olimpiada Nacional de Biología

La Olimpiada Nacional de Biología es un concurso dirigido a los estudiantes de bachillerato del país, creado en 1991 por la AMC, como parte de los programas de difusión de la ciencia para fomentar su desarrollo en diferentes sectores de la población.

Esta Olimpiada surge como una vía para incrementar la matrícula de las carreras científicas, atender la escasa orientación vocacional de la carrera de Biología entre la juventud, promover entre la población el campo de la Biología y sus aplicaciones, así como de las actividades profesionales y académicas de los biólogos, a fin de identificar a los jóvenes con talento que podrían dedicarse a la ciencia.

Programa con carácter internacional. El primer concurso nacional se celebró en noviembre de 1991 en Cuautla, Morelos, contando con la participación de las 32 delegaciones del país (representando a cada estado de la República Mexicana). Con el objeto de escalar a un nivel internacional, en 1998 México participó en calidad de observador (sin concursantes) en la Olimpiada celebrada

en Alemania, a fin de conocer la mecánica del concurso. En 1999, el contenido del examen nacional se realiza bajo los estándares del concurso internacional y México participa por primera ocasión en la Olimpiada celebrada en Suecia, obteniendo una medalla de bronce.

Esquema del Programa. La Olimpiada Nacional de Biología funciona en las entidades del país a través de delegados estatales, quienes tienen la labor de coordinar y organizar el concurso estatal. Los delegados son académicos o investigadores de instituciones de investigación o educación superior de los respectivos estados, ligados a algún aspecto de la Biología. De cada estado son seleccionados hasta un máximo de seis estudiantes que, junto con el delegado, conforman la delegación que representa al estado en los certámenes a nivel nacional.

Etapas del Concurso. La Olimpiada se celebra anualmente y consta de tres etapas en las que participan los jóvenes bachilleres de todas las modalidades, que hayan cumplido 19 años después del 1 de septiembre del año del examen. La primera etapa

VICTORIA PATIÑO SUÁREZ Licenciada en Biología experimental (Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa). Es auxiliar de investigación del Departamento de Recursos del Mar de la Unidad Mérida del Cinvestav, adscrita al laboratorio de Biología y cultivo de moluscos. Su productividad incluye seis artículos indexados, 14 en extenso, uno de difusión y tres en extenso en capítulos de libro. Ha participado en 42 congresos nacionales y 31 internacionales.

vpino@mda.cinvestav.mx

DALILA ALDANA ARANDA Licenciada en Biología (Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN). Doctora en Oceanografía Biológica, Acuicultura y Pesca (Universidad de Bretaña Occidental de Brest, Francia) y en Biología de Poblaciones (Universidad de Ciencias de San Jerome, Marsella, Francia). Trabaja en el Departamento de Recursos del Mar de la Unidad Mérida del Cinvestav. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores, Nivel II. Sus líneas de investigación incluyen la Biología y el cultivo de moluscos bivalvos y gasterópodos. Ha recibido diversas distinciones internacionales, como Presidenta del Asociación de Laboratorios Marinos de Caribe, Coordinadora Internacional de la Red Iberoamericana Cultivo de Moluscos, y del proyecto Precompetitivo Cultivo de Moluscos Gasterópodos del CYTED. Actualmente es Presidenta del Gulf and Caribbean Fisheries Institute.

daldana@mda.cinvestav.mx

El propósito de las Olimpiadas de Biología es estimular la formación científica de los jóvenes mexicanos en el área biológica, así como identificar a aquéllos con talento para incorporarse a las carreras científicas.



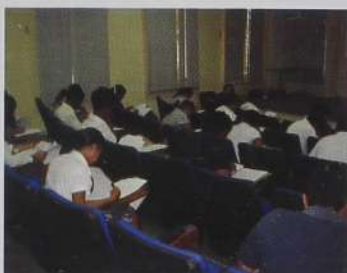
Ceremonia de entrega de diplomas.



Aplicación del examen de laboratorio.



Aplicación del examen de laboratorio.



Aplicación del exámenes, concursos estatales.



Fase Nacional, ganadores de la delegación Yucatán.

22. En la digestión de los lípidos

- I. Los lisofosfolípidos son productos de la acción de la colecistoquinina
 - II. La lipasa salival actúa sobre los triglicéridos
 - III. La colecistoquinina se secretada por la mucosa intestinal
 - IV. La bilis se encarga de la hidrólisis de los triglicéridos
- a) I y II
 - b) II y III
 - c) I y III
 - d) II y IV

23. De acuerdo al siguiente diagrama de un ojo humano, selecciona los que corresponda a los tipos de visión:

- a) I Normal, II hipermetropía y III Miopía
- b) I Normal, II Miopía y III Hipermetropía
- c) I Miopía, II Normal y III Hipermetropía
- d) I Hipermetropía, II Normal y III Miopía



Fig. 1. Ejemplo del tipo de problemas contenidos en los exámenes de los concursos de las Olimpiadas de Biología.



Fig. 2. Calificaciones máximas y mínimas obtenidas en la fase estatal de las Olimpiadas de Biología celebradas en el Estado de Yucatán de 1995 al 2005.



Fig. 3. Medallas ganadas por el Estado de Yucatán en el concurso nacional de las Olimpiadas de Biología desde 1991 al 2006.

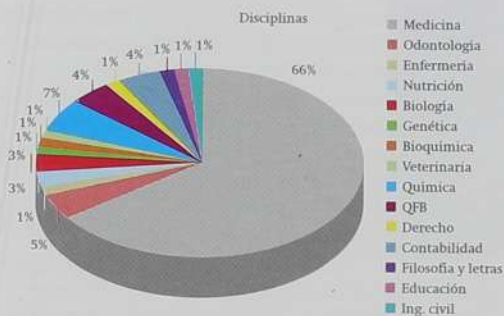


Fig. 4. Disciplinas a las que se han incorporado los estudiantes preseleccionados en los certámenes estatales de las Olimpiadas de Biología en Yucatán.

corresponde a la fase estatal, en la que se seleccionan a los seis primeros lugares de cada sede estatal. En la segunda etapa se realiza el concurso nacional al que acuden los estudiantes seleccionados en la primera etapa. En la tercera etapa, los 10 primeros lugares del concurso nacional son sometidos a un entrenamiento especial y exámenes para seleccionar a los cuatro mejores candidatos que representan al país en la Olimpiada Internacional de Biología.

Los concursos antes mencionados consisten en exámenes de conocimientos de opción múltiple, sobre el contenido del programa de Biología del bachillerato. El

contenido y la estructura de los exámenes de los concursos estatales son similares a los del concurso nacional (fig. 1).

Yucatán en las Olimpiadas de Biología

El Estado de Yucatán ha tenido una participación activa en las Olimpiadas de Biología. A partir de 1992 la Unidad Mérida del **Cinvestav** es la institución encargada de coordinar y realizar la fase estatal de las Olimpiadas de Biología. La experiencia adquirida en estos 14 años ha permitido afinar detalles de su organización con resultados satisfactorios, como haber logrado que un estudiante representara al país en la Olimpiada Internacional de Pekín, China, en 2005.

Mecánica del Concurso. En el último cuatrimestre del año se invita a participar en el concurso estatal a los planteles de nivel medio superior, públicos y privados, del Estado de Yucatán. La inscripción es abierta y gratuita para todos los interesados.

A partir de 2001 se aplica en los estados un examen único a nivel nacional, proporcionado por la AMC. Los seis estudiantes con las calificaciones más altas son seleccionados para representar a la entidad en el concurso nacional. En el laboratorio de Biología y Cultivo de Moluscos, del Departamento de Recursos del Mar del **Cinvestav**, Unidad Mérida, los estudiantes seleccionados en la fase estatal reciben un entrenamiento en las áreas de Biología celular y molecular, Biología de organismos, Biodiversidad y Ecología, y Recursos naturales, así como prácticas demostrativas de laboratorio.

Calidad académica, género y escuelas de procedencia. De 1991 a la fecha, el programa Olimpiadas de Biología ha evolucionado pasando de una evaluación únicamente teórica, hasta 1998, a una evaluación teórica-práctica, a partir de 1999.

El interés entre las autoridades y los profesores de Biología de las instituciones de enseñanza media superior ha aumentado. En un periodo de 1995 a 2005 el número de participantes en los certámenes estatales en el Estado de Yucatán ha variado entre 24 y 118 estudiantes con un promedio de 65. En estos 10 años se ha tenido una participación promedio de 47 % de hombres y 53 % de mujeres, con un dominio de participación de las escuelas públicas sobre las privadas en porcentaje promedio de 81 a 19, respectivamente.

En la tabla 1 se presentan las escuelas públicas y privadas que han participado en los certámenes estatales, así como las que han generado ganadores. Los ganadores en esta fase de preselección han tenido un promedio de calificaciones de 78. Proceden en su mayoría de escuelas públicas, entre las que figuran las Preparatorias 1 y 2, pertenecientes a la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), con ganadores en todos los años. Entre las escuelas privadas con alumnos seleccionados figuran sólo el Colegio Universitario Montejó (CUM) y el Rogers Hall.

Olimpiada	Escuelas Públicas	No. de Ganadores	Escuelas Privadas	No. de Ganadores
1995	COBAY Tixcocab COBAY Sinanche COBAY Buctzotz COBAY Victor Cervera Preparatoria 1 Preparatoria 2	3 3	Juana de Asbaje Teresiano Modelo Serapio Rendón Mahatma Gandhi	
1996	COBAY Progreso COBAY Tixcocab COBAY UMAN Preparatoria 1 Preparatoria 2	5 1	Serapio Rendón	
1998	CONALEP-1 COBAY Progreso COBAY Tixcocab Preparatoria 1 Preparatoria 2	4 2	Juana de Asbaje	
1999	COBAY Tixcocab COBAY UMAN Preparatoria 1 Preparatoria 2	6	Teresiano Rogers Hall	
2000	COBAY Halacho COBAY Progreso COBAY Tecoh COBAY Buctzotz COBAY Tixcocab COBAY Chichimila COBAY Teabo COBAY Kimbila COBAY Dzemul COBAY Cauce COBAY Xoclán COBAY Cholul COBAY Umán COBAY Opinchen CBtis 19 CBtis 120 Preparatoria 1 Preparatoria 2	6	Teresiano	
2001	CETIS 112 CBtis 80 CBtis 193 Preparatoria 1 Preparatoria 2	6	Modelo CUM	
2002	COBAY Halachó COBAY Progreso COBAY Temax		Preparatoria Yucatán CUM	1

Olimpiada	Escuelas Públicas	No. de Ganadores	Escuelas Privadas	No. de Ganadores
	COBAY Buctzotz COBAY Tixcocab COBAY Tahmek COBAY San José Tzal COBAY Kimbila COBAY Dzemul COBAY Cuzamá COBAY Xoclán COBAY Cholul COBAY Chicxulub CBtis 120 Cetis 112 Preparatoria 1 Preparatoria 2	3 2		
2003	COBAY Progreso COBAY Tahmek COBAY Chicxulub COBAY Temax COBAY Buctzotz COBAY Tixcocab COBAY Teabo COBAY Kimbila COBAY Dzemul COBAY Cuzamá COBAY Xoclán COBAY Cholul COBAY Umán COBAY Opinchen COBAY Sinanche COBAY Cauce CETIS 112		Rogers Hall Modelo CUM Teresiano	1
2004	CETIS 193 CBtis 80 Preparatoria 1 Preparatoria 2 CBtis 193 CBtis 80 CETIS 12 Preparatoria 1 Preparatoria 2	3 2		
2005	CETIS 19 CBtis 120 CBtis 80 CETIS 112 CBtis 193 Preparatoria 1 Preparatoria 2	4 2		

Tabla 1: Escuelas públicas y privadas que han participado en los diferentes certámenes estatales en Yucatán, de 1995 al 2005, así como número de ganadores en dichos certámenes.

Es de notar que el Colegio de Bachilleres de Yucatán (COBAY), al igual que los Centros de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios (CBTIS) y los Centros de Estudios Tecnológicos Industriales y de Servicios (CETIS), la mayoría de ellos ubicados en el interior del Estado, han tenido una participación activa; sin embargo, el nivel académico de sus estudiantes es bajo (calificaciones promedio ≤ 23). En la figura 2 se muestran las calificaciones máximas y mínimas que se han obtenido en los concursos estatales de las Olimpiadas de Biología de 1995 a 2005. Las calificaciones más altas se observan entre 1995 y 1999, con un promedio de 94. En este periodo el

examen era elaborado con la base de reactivos de 1993 de la Academia de la Investigación Científica. A partir del año 2000 el examen estatal contiene reactivos de alto grado de complejidad a fin de alcanzar un nivel competitivo para las fases nacional e internacional. La calificación máxima decae a 61, con oscilaciones entre 52 y 66, de 2000 a 2005 y un promedio de 60 (fig. 2).

Para comparar la calificación máxima obtenida en el certamen estatal 2005 por estado, en la tabla 2 se presentan las delegaciones que participaron en la XV Olimpiada Nacional de Biología, el número de participantes en el concurso de preselección a nivel estatal

Delegación	No. participantes	Calificación	
		Máxima	mínima
MICH	203	65	16
HGO	60	59	
SLP	377	57	15
VER	739	56	28
NL	164	54	13
YUC	73	53	11
SIN	550	52	25
DF	95	51	20
GRO	82	51	15
MOR	138	50	18
BC	67	45	19
COL	26	45	17
JAL	154	45	16
PUE	2401	45	8
QUE	270	45	15
GTO	149	44	19
EME	286	41	13
COA	79	40	19
QRO	196	40	19
TAB	117	40	17
TLA	12	40	15
CAM	90	40	13
CHI	98	38	15
BCS	26	38	
AGS	49	37	21
TAMP	76	36	21
OAX			

Tabla 2. Número de participantes y calificaciones máximas y mínimas obtenidas en el examen estatal 2005, por delegación.

Delegación	Concursantes	Lugar obtenido				Promedio de aciertos
		1º	2º	3º	Totales	
OAX	6	5	1	6		150
MICH	6	2	1	3	6	141
NL	6	3	3	0	6	141
D.F.	5	0	1	4	5	129
JAL	6	1	2	2	5	119
VER	6	0	4	0	4	122
YUC	6	0	1	3	4	110
EME	6	0	1	3	4	101
SIN	5	1	1	1	3	114
GUE	6	0	2	1	3	111
MOR	6	0	1	1	2	95
QUE	6	0	2	0	2	87
HGO	6	0	0	2	2	85
BC	6	0	1	0	1	76
TAM	4	0	0	1	1	75
SLP	6	0	0	1	1	72
COA	6	0	0	1	1	67
COL	5	0	0	1	1	58
AGS	6	0	0	1	1	51
GTO	6	0	0	0	0	77
CHI	5	0	0	0	0	68
PUE	6	0	0	0	0	43
CAM	6	0	0	0	0	40
BCS	6	0	0	0	0	37
TAB	5	0	0	0	0	36
TLX	6	0	0	0	0	36
QRO	5	0	0	0	0	35

Tabla 3. Delegaciones, concursantes, lugar y promedio de aciertos obtenidos en la I Olimpiada Nacional de Biología, celebrada en Cuautla, Morelos, 1991 (López, 1992).

y la calificación máxima y mínima obtenida. El rango del número de participantes es muy amplio, desde 12 estudiantes en el Estado de Tlaxcala hasta 2,401 en el Estado de Puebla. Las calificaciones máximas oscilan entre 65 y 36, correspondiendo la más alta al Estado de Michoacán y la más baja a Tamaulipas. En este sentido, el Estado de Yucatán se ubica en el sexto sitio, con una calificación máxima de 53.

Yucatán, Estado de olímpicos

Con excepción de los años 1999 y 2000, el Estado de Yucatán se ha caracterizado por figurar en el cuadro de medallas en el concurso Nacional de la Olimpiada de Biología (fig. 3). En 15 años, Yucatán ha obtenido 45 medallas: 29 de bronce, 8 de plata y 8 de oro.

En la I Olimpiada Nacional de Biología, el promedio de aciertos máximo obtenido por delegación fue de 142, correspondiendo al D.F., y el mínimo de 92 obtenido por la delegación de Campeche. Yucatán participó con cinco estudiantes, obtuvo un promedio de 120 aciertos y fue ganador de cuatro medallas (dos de tercer lugar, una de segundo y una de primer lugar), situándolo en una octava posición a nivel nacional (tabla 3).

A 15 años de celebrado este evento, Yucatán figura en el séptimo lugar con un promedio de 120 aciertos y un total de cuatro medallas (tres de bronce y una de plata) (tabla 4). En los últimos tres años, de 67 a 83% de

los estudiantes que han participado en el concurso nacional ha obtenido medalla. En el año 2005, el estudiante José Antonio Rodolfo Delgado, de la escuela Preparatoria 1 de la UADY, obtuvo una medalla de oro, colocándose entre los 10 mejores promedios de la matrícula de Biología a nivel nacional. Tras un entrenamiento teórico-práctico, los 10 estudiantes de primer lugar compitieron entre sí a fin de formar parte de la delegación que representaría a México en la Olimpiada Internacional. El estudiante de Yucatán fue seleccionado, y del 10 al 17 de julio del 2005 participó en el certamen celebrado en Pekín, China.

Carreras que estudian los concursantes de la Olimpiada de Biología

El propósito de las Olimpiadas de Biología es estimular la formación científica de los jóvenes mexicanos en el área biológica, así como identificar a aquéllos con talento para incorporarse a las carreras científicas. Bajo esta perspectiva a continuación se analiza hacia qué disciplinas se han incorporado los estudiantes preseleccionados en los certámenes estatales de Biología en el Estado de Yucatán. Las disciplinas han sido variadas; se pueden enmarcar en dos grupos básicos: ciencias naturales e ingeniería, y ciencias sociales y humanidades. Las ciencias naturales son las más dominantes y con mayor diversidad de disciplinas, entre las que figuran:

Medicina, Odontología, Enfermería, Nutrición, Biología, Genética, Bioquímica, Veterinaria, Química y Químico-farmacobiología (QFB); en Ingeniería únicamente figura Ingeniería Civil. Entre las ciencias sociales y humanidades se encuentran: Derecho, Contabilidad, Filosofía y Letras, y Educación (fig. 4).

De 72 estudiantes censados, Medicina ha sido la carrera mayormente elegida por los estudiantes ganadores en la fase estatal de las Olimpiadas de Biología en Yucatán, constituyendo 66%; 26% ha ido a otras disciplinas dentro de las ciencias naturales, entre las que figura Biología con 3%; 8% restante está integrado por 1% de Ingeniería Civil y 7% disciplinas de las ciencias sociales, de las cuales Contabilidad posee el mayor porcentaje (4%) (fig. 4).

Conclusiones

De los resultados anteriores se concluye que:

- Si se considera que, a partir del bachillerato, el tiempo promedio de formación de un científico es de 10 años (5 años de licenciatura, 2 de maestría y 3 de doctorado), el Programa Olimpiadas de Biología resulta ser un programa que apenas estaría reclutando nuevos científicos.
El Programa Olimpiada Nacional de Biología ha tenido una buena aceptación en el Estado de Yucatán. La participación ha sido activa y con buenos resultados; en 15 años se han obtenido a nivel nacional 45 medallas: 29 de bronce, 8 de plata y 8 de oro.
- La dominancia de ganadores procedentes de las Preparatorias 1 y 2 de la UADY podría estar asociado a que: a) el nivel académico en estas dos escuelas es mayor, b) hay un estímulo por parte de los docentes, quienes imparten asesorías a los estudiantes que participan, y c) hay una competencia entre ambas escuelas por resaltar como la más sobresaliente.
- Si bien este programa fue creado para estimular la formación de jóvenes en carreras científicas, con énfasis en Biología, los resultados en el Estado de Yucatán muestran un bajo ingreso en ellas: Biología 3%, carreras afines como Bioquímica 1%, Genética 1%, Veterinaria 1%, QFB 4%, y Química 7%; contra un elevado ingreso a Medicina 66%. De estas carreras, el porcentaje de graduados que ha continuado con un posgrado es bajo (7%). Esto podría estar asociado a la falta de conocimiento, de los estudiantes, y población en general, del campo de la Biología y sus aplicaciones.
- El nivel académico de los COBAY, CBtys y Cetis es bajo, lo mismo que el nivel socioeconómico de los alumnos, los cuales, en su mayoría, además de estudiar trabajan para contribuir a la economía familiar; comportamiento con mayor incidencia en el interior del Estado de Yucatán.
- El viaje al certamen nacional y sus implicaciones es lo que estimula a los jóvenes a prepararse temporalmente en Biología, más que el dedicarse a una carrera en esta disciplina. ●

Delegación	Concursantes	Lugar obtenido				Promedio de aciertos
		1º	2º	3º	Totales	
D.F.	11	10	1	0	11	142
JAL	6	2	3	0	5	125
PUE	6	3	1	1	5	125
GTO	6	0	2	3	5	115
EME.	6	0	1	4	5	112
BC	5	3	0	1	4	125
TAM	5	1	2	1	4	121
YUC	5	1	1	2	4	120
SIN	6	2	1	1	4	118
NL	6	0	3	1	4	115
SLP	6	0	1	3	4	109
NAY	6	0	1	3	4	108
CHI	6	1	0	2	3	120
SON	5	1	2	0	3	115
VER	6	1	1	1	3	112
GUE	6	1	1	1	3	111
COL	6	0	1	2	3	112
OAX	6	1	1	1	3	109
MICH	6	0	2	1	3	110
MOR	6	0	1	2	3	109
CHIA	6	0	2	1	3	103
DUR	2	0	1	1	2	118
TAB	6	0	0	2	2	104
QRO	6	0	1	1	2	98
COA	6	1	0	0	1	106
HGO	6	0	0	1	1	103
AGS	6	0	1	0	1	101
BCS	6	0	1	0	1	101
QUE	4	0	0	1	1	101
ZAC	5	0	0	1	1	101
TLX	6	0	0	1	1	93
CAM	6	0	0	0	0	92

Tabla 4. Delegaciones, concursantes, lugar y promedio de aciertos obtenidos en la XV Olimpiada Nacional de Biología, celebrada en Oaxaca, Oaxaca, 2006.

[Referencias]

López Revilla, R., La Olimpiada Nacional de Biología, Ciencia y Desarrollo, vol. XVIII, núm. 105: 66-75.



Cambios de las líneas costeras

LA PLAYA ESTÁ EN MOVIMIENTO CONTINUO, CAMBIANDO SILENCIOSAMENTE SU CONFIGURACIÓN Y DESPLAZÁNDOSE INCANSABLEMENTE EN SU POSICIÓN, GRANO POR GRANO, HASTA HABER MOVIDO GRANDES MASAS DE ARENA. CIERTAMENTE, GRANDES CANTIDADES DE ARENA PUEDEN LLEGAR O PARTIR, IMPONIENDO SERIOS PROBLEMAS DE CONSERVACIÓN DE LA FAUNA Y LA FLORA LOCALES.

Victor Castillo Escalante

Introducción

El llamado cinturón tropical de nuestro planeta se caracteriza por la monotonía y la constancia de su característico clima atmosférico. Está poblado frecuentemente con arrecifes de coral, una de las bellezas más notables del ambiente marino, dando lugar a paisajes submarinos que invitan a estar sumergidos extasiándonos en su contemplación. Es notoria también la típica amabilidad de las comunidades humanas que lo

habitan y cuya compañía nos hace olvidar las preocupaciones y actividades rutinarias que condicionan nuestras vidas durante la mayor parte del año. Todo ello hace que este ambiente resalte por la existencia de grandes complejos turísticos costeros, como con los que contamos en ambos litorales de México.

Uno de los mayores atributos de esta región es la presencia de playas, donde uno pasa la mayor parte del día en un proceso recreativo que alterna baños de sol y



de mar. Un requerimiento básico del éxito de su misión recreativa es proteger la estabilidad y calidad de estos valiosos ecosistemas de las inclemencias del tiempo y de las actividades humanas que los modifican. Según estén a un lado u otro del continente, en el Atlántico o en el Pacífico, los ambientes de las playas mexicanas pueden ser muy diferentes, aunque las características arriba mencionadas son comunes a ambas regiones.

Playas en movimiento

Las playas son lugares de diversión, en parte bajo el sol y en parte bajo el mar, donde la gente puede nadar, broncearse y observar a otras personas. Esta actividad humana tiende a oscurecer el hecho de que la playa misma está en movimiento continuo, cambiando silenciosamente su configuración y desplazándose incansablemente en su posición, grano por grano, hasta haber movido grandes masas de arena. En escala pequeña y en materia de horas los castillos de arena desaparecen y las huellas de pisadas se borran; en una escala más grande, después de días y meses, la altura de la arena alrededor de las rocas cambia, las olas rompen en nuevos lugares y las playas se hacen más anchas o más angostas.

Ciertamente, sobre un periodo de años, grandes cantidades de arena pueden llegar o partir, imponiendo serios problemas de conservación de la fauna y la flora locales, o simplemente una molestia para la gente que desea gozar de la playa. Esta cualidad dinámica ha sido sintetizada por varios investigadores en la siguiente

definición ampliamente aceptada: "una playa es un depósito de material que está en tránsito, a lo largo de la costa, hacia fuera o hacia adentro". Así, básicamente tres elementos hacen una playa: una cantidad de material mineral, un área en la zona de costa donde se pueda mover y una fuente de energía que la mueva.

La mayor parte del material de playa en muchos países consiste en arena ligeramente coloreada, el producto de la pulverización de la roca granítica en sus dos componentes principales: cuarzo y feldespato. Mucha gente tiende a pensar que las playas son extensiones de arena blanca; éste no es siempre el caso, ya que muchos tahitianos y hawaianos acostumbran ver playas de arena negra formada por la desintegración de oscuras rocas volcánicas. A lo largo de las costas de Inglaterra, gran parte de la Riviera Francesa, e incluso en una parte de nuestro litoral marítimo nacional, las playas están compuestas de pequeñas piedras planas llamados guijarros.

La palabra "playa" puede haber implicado originalmente líneas de costas hechas de estos guijarros. En partes de Labrador, Alaska y la Patagonia las playas consisten en rodados de 10 a 30 centímetros de diámetro. La playa del Pacífico de Baja California está constituida por dos materiales: una porción plana de arena expuesta solamente en baja marea, mientras que arriba y detrás, los rodados que amurallan la costa trepan en escalones pronunciados hasta una altura de 10 metros o más. Debido a que los principios

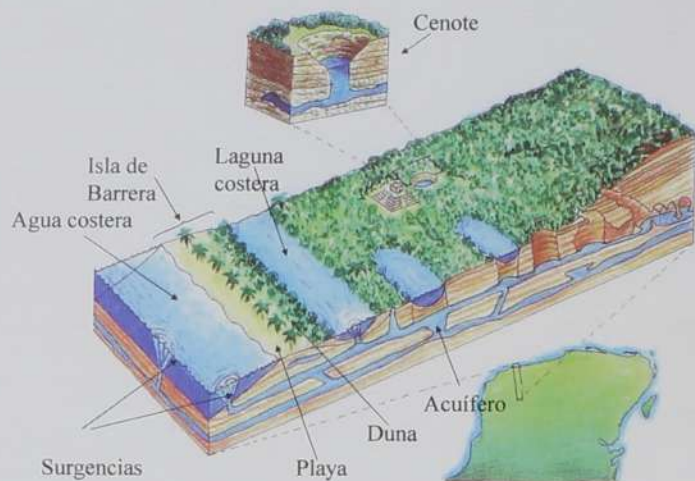


Figura 2. Perfil natural del litoral marítimo del Estado de Yucatán.

involucrados en el movimiento de las playas son los mismos, independientemente del material que las forma, la palabra "arena", que normalmente se usa en nuestra jerga, se aplica a todos los tipos de materiales de la playa.

El trabajo de las olas

Para un observador casual la playa es la superficie arenosa sobre el nivel del agua. Para el estudioso de las playas su punto de vista es más amplio, ya que incluye toda el área donde se mueve la arena. Para él la playa se extiende desde una profundidad de 10 metros debajo del nivel del agua en su marea más baja hasta el borde de la costa permanente. Esta última puede consistir desde un acantilado, dunas de arena o estructuras hechas por el ser humano, ninguna de ellas realmente permanente. El límite fuera de la costa de 10 metros debajo del nivel del agua de marea baja es la profundidad debajo de la cual el movimiento de la ola ordinaria no posee suficiente energía como para mover la arena. Una playa está también limitada en su dirección a lo largo de la playa; una punta de tierra o una corriente de agua pueden constituir ese límite.

Las olas y corrientes de agua proveen el tercer elemento que debe estar presente para hacer una playa: la energía para mantener la arena en tránsito. En algunas playas el viento también mueve considerables cantidades de arena. Naturalmente es el viento que actúa sobre la superficie del mar el que genera las olas y, en última instancia, es el responsable original del movimiento de las playas. Las olas que rompen en la

playa pueden haberse originado en áreas alejadas a la costa. Los procesos que generan las olas, así como su propagación y rompimiento o disipación en las playas son debidas a la topografía submarina. Sin embargo, es la acción de las olas en aguas poco profundas lo que cambia las playas. El mecanismo es básicamente el siguiente: la turbulencia que acompaña el pasaje de la ola levanta del fondo al grano de arena que luego cae libremente al fondo en otro lugar después que la ola ha perdido su poder de levantarlo. Dado que el peso del grano de arena en el agua es inferior a su peso en el aire, el agua no necesita gran energía para levantar al grano. Además, el grano se deposita nuevamente más bien lento debido a la viscosidad y turbulencia del agua. Mientras se encuentra en suspensión el grano de arena tiende a moverse con el agua y las corrientes de muy baja velocidad lo desplazarán. Cada vez que un grano es levantado aterriza en una posición ligeramente distinta; debido a que millones de granos son continuamente levantados y reubicados la playa siempre cambia de forma y posición.

Una gran parte del movimiento del material de playa consiste en un intercambio entre las barras o crestas submarinas fuera de la costa y la berma, que es el depósito casi horizontal de material en el tope o parte superior de la playa en tierra firme (fig. 1).

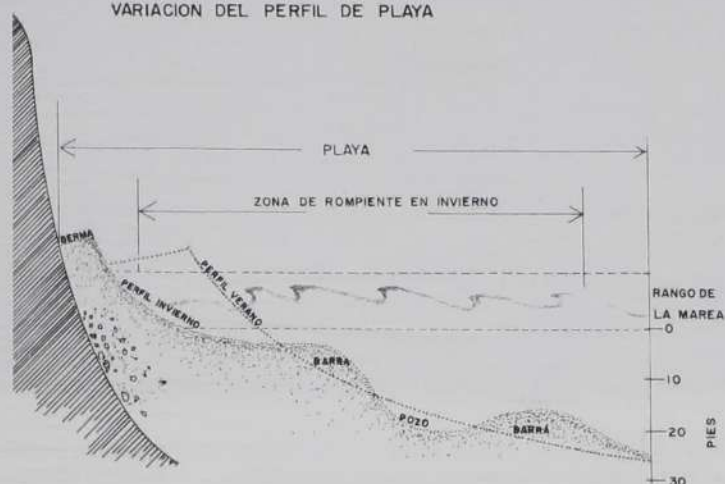
Anatomía de la playa

Se ha desarrollado una terminología específica para las playas y aspectos de las mismas a partir de los numerosos estudios de playas alrededor del mundo;





VARIACION DEL PERFIL DE PLAYA



El perfil de una playa se caracteriza por una berma y barra. En invierno fuertes rompientes extraen la arena de la berma y la depositan sobre las barras, en verano la rompiente más suave construye la berma. La escala vertical está exagerada 25 veces.

estos términos permiten describir cada área y evitan confusión cuando se comparan playas. Un perfil de playa se corta a través de la playa en dirección perpendicular a la línea de costa.

La playa trasera (*backshore*) es la región seca de una playa que es inundada solamente durante las mareas más altas y tormentas severas. El frente de playa delantera (*foreshore*) se extiende más allá del nivel de bajamar y mar afuera, incluye las áreas de agua somera más hacia el mar del nivel de las bajamares hasta el límite de la acción de las olas sobre el fondo marino.

Las terrazas denominadas "bermas" aparecen en el área donde la playa delantera se encuentra con la playa trasera. Las bermas se forman por material depositado por las olas, tienen su tope como el de una terraza y son reconocidas por su pendiente o el aumento en su altura. Algunas bermas tienen una pequeña cresta (la cresta de berma) que corre paralela a la playa. Si se encuentran dos bermas en una playa, la berma más alta o más arriba en la playa o más cerca de la línea de costa se llama "berma de invierno", ya que se formó durante las severas tormentas de invierno, cuando las olas alcanzaron las partes altas de la playa y acumularon material a lo largo de la playa trasera. La berma más cerca del mar es la berma de verano, formada por las suaves olas de primavera y verano, que no llevan tanto material a la playa trasera. Una vez que la berma de invierno se ha establecido no es perturbada por las tormentas más débiles durante el resto del año. Las olas que forman la berma de invierno borran la berma de verano, pero una vez que la estación de tormentas ha

finalizado se forma una nueva berma de verano por la acción de las olas reducidas.

Entre la berma y el nivel de agua puede haber una escarpa cortada por las olas al nivel de pleamar. La escarpa es un cambio abrupto en la pendiente de la playa que es causado por el poder cortante de las olas al nivel normal de pleamar. Las bermas y las escarpas no se forman en el frente de playa entre los niveles normales de pleamar y bajamar debido a la acción de las olas y el continuo ascenso y descenso del nivel de agua. El frente de playa debajo del nivel de baja marea a menudo es plano, formando una terraza de bajamar; la porción superior tiene una pendiente más pronunciada y es conocida como la "cara de playa". La pendiente de la cara de playa está relacionada al tamaño de partícula del material suelto de la playa y a la energía de la ola; más hacia fuera de la línea de bajamar en el mar abierto puede haber cubetas y barras que corren paralelas a la playa, estas estructuras cambian estacionalmente a medida que los sedimentos de la playa se mueven hacia el mar agrandando las barras durante las tormentas de invierno y luego hacia la costa en verano disminuyendo las barras.

Cuando una barra acumula suficiente sedimento para romper la superficie y llega a estabilizarse por la vegetación se convierte en una isla de barrera del tipo costero. Las playas no se encuentran a lo largo de todas las zonas expuestas a las olas, a lo largo de acantilados puede no haber playas expuestas entre alta y baja marea; sin embargo puede haber playas de bolsillo, separadas una de otra por un acantilado rocoso.



Tipos de playa

La figura 2 muestra los aspectos mayores que aparecen específicamente en una playa del litoral de la península yucateca, incluyendo afluentes subterráneos. Las playas se describen en términos de: 1) forma y estructura, 2) composición de materiales, 3) tamaños del material de la playa y 4) color. En la primera categoría las playas son descritas como amplias o angostas, inclinadas o planas y largas o discontinuas (playas de bolsillo).

Un área de playa que se extiende hacia fuera desde la playa principal y tuerce en forma paralela a la costa es una lengua (*spit*). Una lengua cambia frecuentemente de forma en respuesta a las olas, corrientes y tormentas. En un ambiente protegido de las olas, una lengua se puede extender hacia fuera en un ángulo con la playa hacia una isla; si esto continúa hasta unir la roca o isla con la costa forma lo que llamamos "tómbolo". Una lengua que se extiende hacia fuera en un amplio círculo y tuerce hacia la dirección de la corriente prevalente se denomina un gancho (*hook*). El sedimento se mueve alrededor del extremo del gancho y es depositado en el agua tranquila detrás de la punta, a menudo produciendo un amplio punto en su extremo.

Los perfiles de playa son importantes, por ser un mecanismo natural muy efectivo que causa rompimiento y la dispersión de la energía de las olas. Si existe una pérdida constante de la arena de la playa y no se tiene una recuperación natural de ese material la playa será menos capaz de amortiguar la energía de oleaje y la erosión costera gradualmente irá en aumento.

Es importante identificar y entender que existen procesos a corto y largo plazos que provocan la erosión costera. Los cambios más drásticos y más conocidos son los provocados por tormentas o eventos extraordinarios como los huracanes, pero existen otras causas, tanto naturales como antropogénicas, que deben ser

conocidas también. La erosión inducida por el ser humano ocurre cuando se realizan construcciones o modificaciones en la playa por proyectos de importancia económica. Muchos de los problemas ocasionados por este tipo de proyectos se deben a la falta de comprensión del transporte natural de sedimentos y la mayoría podrían ser evitados con un buen manejo de la zona costera.

Necesidad de preservar las playas

Una pregunta que se hace frecuentemente es la siguiente: ¿Hasta dónde necesita ser preservada una playa? Una playa estable es en sí misma una forma de protección de la costa contra los embates del mar. El lecho que está compuesto de sedimento suelto ajusta su forma para producir una "defensa en profundidad" en época de tormentas y para proveer por su propia recuperación durante el periodo normal.

La necesidad de proteger edificios, estructuras y propiedades contra la acción del mar se confunde a veces con la preservación de playas. Debe reconocerse que un frente de playa debidamente conservado y utilizado asegura una protección máxima a las propiedades, pero para que esta protección sea posible es necesario que dichas propiedades no estén localizadas en la zona móvil de la playa.

La construcción de obras civiles en la costa produce cambios que afectan las tasas de suministro o de pérdida del transporte de litoral y generan modificaciones en la línea costera hasta cuando se alcanza una nueva configuración estable. Debido a que estos cambios no se observan de inmediato, porque se ocultan entre las fluctuaciones a corto plazo, siempre tomará un tiempo largo poder demostrar que los cambios hechos por el ser humano son nocivos para la costa. Muchas veces el resultado final es un efecto a



largo plazo que se descubre cuando el daño irreparable ya está hecho. Por esta razón es recomendable que se analicen cuidadosamente los posibles daños que se pueden ocasionar a la playa antes de proceder a construir obras civiles.

Planeamiento del uso futuro de la playa

Los errores del pasado pueden evitarse actualmente mediante el planeamiento del uso futuro.

Técnicamente, los códigos de protección de costas deben asegurar que:

- a) Las dunas o bermas de la playa no sean niveladas hasta una elevación que les haga perder su efectividad en su función de proteger contra olas de tormenta.
- b) No se construyan muros verticales porque causan erosión de la playa frente a ellos.
- c) No se construyan espolones, rompeolas o atracaderos si causan erosión aguas abajo que no pueda ser corregida fácilmente.
- d) La alimentación artificial se haga con material apropiado que pueda permanecer en la playa por mucho tiempo.
- e) Los desarrollos turísticos o industriales se construyan lejos de la playa, hacia el continente, para prevenir la erosión ocasionada por los cambios cíclicos de la playa que ocurren de década a década.

La necesidad de coordinación en el diseño y control de obras costeras ha obligado a varios países a establecer autoridades de ingeniería de costas a nivel de Estados o Departamentos. En Estados Unidos esas autoridades se tipifican en el Coastal Engineering Research Center, cuyos objetivos están fijados por una ley y son las siguientes:

1. Proveer asistencia técnica en la conducción de estudios de control de erosión de playas.
2. Revisar los informes de estos estudios.

3. Inspeccionar y examinar las localidades bajo estudio.
4. Conducir investigación general.
5. Publicar datos útiles e información sobre erosión en playas.

Los proyectos de desarrollo deben ser aprobados por el gobierno local y por las autoridades estatales, se entiende que tales aprobaciones están reguladas por el interés público.

Debido a la naturaleza complicada de los procesos costeros, es esencial la realización de un programa adecuado de investigación y recolección de datos para asegurar que cuando se tengan los permisos necesarios para desarrollar un proyecto haya suficiente información para prever los efectos futuros de las obras.

En la Unidad Mérida del **Cinvestav**, como parte del proyecto de investigación "Erosión costera", del Dr. Luis Capurro Filograsso, estamos realizando un monitoreo bimensual de 25 perfiles a lo largo de la línea de la costa con el fin de conocer la dinámica de los sedimentos y así poder determinar el comportamiento de las playas a lo largo del tiempo. El plan incluye extender estos perfiles a lo largo de toda la costa occidental de la Península de Yucatán. ●

[Bibliografía]

- Capurro Filograsso, Luis, *Introducción a la Oceanografía*. Apuntes del curso Oceanografía General, 1984.
- Capurro, L., Euán, J., y J. Herrera J., "Manejo Sustentable del Ecosistema Costero de Yucatán", en *Avance y Perspectiva*, vol. 21, julio-agosto, pp. 194-204, 2002.
- Edelman, T., "Dune erosion during storm conditions" en *Proc. 13th Conf. Coastal. Eng.* pp. 1305-1312, 1972.
- French, W. Peter, *Coastal Defenses. Processes, problems and solutions*. Londres, Routledge New Fetter Lane, 2001.
- González, Y.O., *Ejercicios de Oceanografía Costera*, UABC, Ensenada, 1996.
- Hattersley, R.T., y D. N. Foster, *Problems of beach erosion and some solutions*. Australian Civil Engineering, The University of New South Wales, Sydney, vol. 9, p. 10, 1968.
- Martínez, B., *Manual de prácticas de Topografía Costera*, UABC, Ensenada, 1994.

Christian de Duve

PREMIO NOBEL DE MEDICINA, OPINA SOBRE LA EVOLUCIÓN, DARWIN, EL DISEÑO INTELIGENTE Y LA CIENCIA.

David Pestieu y Dominique Meeus

Traducción: Gabriel López Castro

En Estados Unidos, una nueva teoría llamada "diseño inteligente" pretende poner en duda, si no el hecho de la evolución, por lo menos la teoría de Darwin. El pequeño grupo de científicos que defiende esta teoría pretende que hay algo más que no son el azar y la selección natural, que está en la base de la evolución animal y humana. La intervención de un ser superior sería indispensable si uno quisiera explicar ciertos fenómenos. La iglesia protestante en Estados Unidos, el presidente Bush y ahora el nuevo papa Benedicto XVI parecen dar crédito a esta nueva teoría. La mayoría de los científicos la rechaza. Para saber más, partimos al encuentro de un gigante belga de la ciencia, Christian de Duve, Premio Nobel de Fisiología y de Medicina en 1974 y autor del libro *A l'écoute du vivant*¹ y, recientemente, de *Singularités*².

Christian de Duve tiene 88 años, nació en Inglaterra en 1917, realizó sus estudios en Louvain (Bélgica) y se apasionó por la investigación, en particular por la acción de la insulina, una sustancia cuya falta causa la diabetes. Pero, en el curso de sus investigaciones, el azar le hizo descubrir una componente esencial de la célula viva, el lisosoma, que es de alguna manera, el estómago de la célula. Este descubrimiento le valió el Premio Nobel de Medicina en 1974. Christian de Duve ha dirigido por mucho tiempo dos laboratorios, uno en la UCL (Universidad Católica de Lovaina, Bélgica) y otro en Nueva York (en la Universidad Rockefeller). Creó en 1974 el Instituto de Patología Celular que lleva su nombre, en el campus de la UCL en Woluwe-St. Lambert (Bruselas). Desde hace una veintena de años abandonó la investigación en bioquímica para dedicarse a estudiar el origen de la vida.

Profesor De Duve, muchas gracias por permitirnos esta entrevista. Según un sondeo reciente, 21% de los belgas pondrían en duda la teoría de la evolución de Darwin. ¿Podría usted recapitular las pruebas en favor de la teoría de la evolución?

Actualmente, la teoría de la evolución no es una teoría: ¡es un hecho! Era una teoría cuando fue

propuesta hace dos siglos. Una teoría que se denominó la hipótesis transformista, según la cual los seres vivos se transformaron progresivamente hasta dar lugar a los humanos. Esta hipótesis estaba basada en la existencia de los fósiles. Desde entonces, se tienen muchos datos sobre los fósiles, sus edades, gracias a los progresos de la geología. Es claro que hay una relación entre la complejidad de los seres vivos que dejaron estos restos fósiles y la edad de los terrenos donde fueron encontrados. Entre más complejo es un fósil, más joven es.

Pero lo que realmente prueba esta teoría y la extiende a todo aquello que no dejó restos fósiles son las similitudes que existen entre los genes en el ser humano, en la lombriz de tierra, en la medusa, la mosca, los árboles o los microbios, debido a que las funciones químicas son las mismas. Hoy, conocemos cientos de genes que ejercen la misma función en seres vivos diferentes y que manifiestamente provienen de un ancestro común. Los genes son entidades químicas constituidas de un gran número —frecuentemente miles— de unidades moleculares, las cuales existen en cuatro variedades distintas, representadas por sus iniciales: A, G, C y T. Uno puede compararlas con palabras muy largas escritas con un alfabeto de cuatro letras. Uno llama secuencia al orden en el cual se ordenan las letras, de alguna manera la ortografía de la palabra genética. Actualmente, se han secuenciado miles de genes. La comparación de estas secuencias ha revelado que los genes que ejercen la misma función en seres vivos diferentes descienden de un mismo gen ancestral mediante la sustitución de una letra por otra y otros cambios de ortografía (mutaciones).

A pesar de eso, somos diferentes del chimpancé o del caballo.

Evidentemente. Pero las similitudes son tan próximas que ellas prueban claramente la descendencia de los genes —y entonces, de sus propietarios— a partir de una forma ancestral única.

GABRIEL LÓPEZ CASTRO Investigador titular del Departamento de Física del Cinvestav. Realizó su Doctorado en la Université Catholique de Louvain, Bélgica
glopez@fis.cinvestav.mx

Traducción del semanario *Solidarité* No. 38, 20 de septiembre de 2006.

"El diseño inteligente no es nada nuevo. Sólo es una palabra nueva. La teoría del diseño inteligente ha sido defendida desde hace ya doscientos años. En aquella época se llamaba finalismo, que se emparentaba con el vitalismo."



Christian de Duve.

Pero no sólo las similitudes son reveladoras. También están las diferencias. Estas permiten reconstruir el curso de la evolución con base en el hecho de que el número de mutaciones aumenta con el tiempo. Así por ejemplo, un gen humano dado difiere del mismo gen en el chimpancé por una sola letra, del caballo por 10 y de la mosca por 21. Esto se da por el orden de llegada en la evolución mediante la sucesión mosca-caballo-chimpancé-ser humano. En resumen, para ser simplista (puesto que es muy complicado), uno puede encontrar similitudes en las secuencias de genes como pruebas de su parentesco común y las diferencias permiten recrear el árbol genealógico.

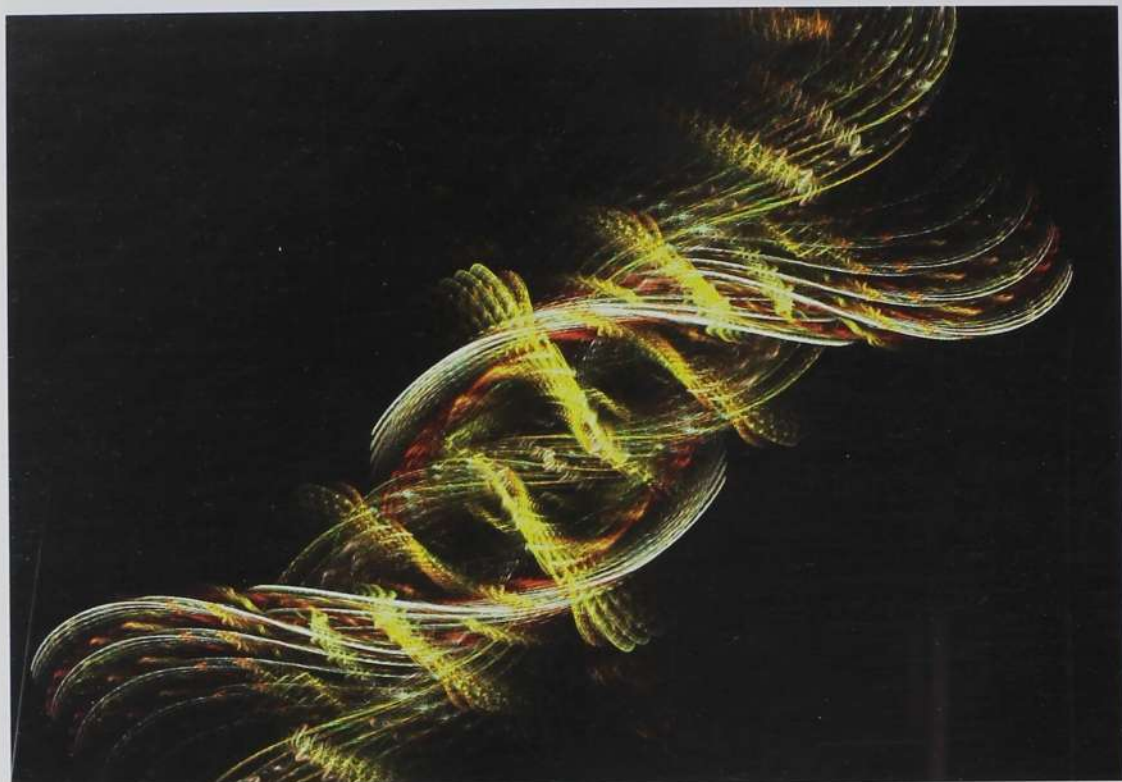
Pero, ¿La aparición de la vida no revela que hay algo de especial?

Por supuesto, pero no en el sentido entendido por la teoría del vitalismo, que fue abandonada (desde hace más de cincuenta años). El vitalismo, pretende que los seres vivos

son materia animada por un aliento vital, algo no material que anima la vida. Todo nuestro lenguaje cotidiano está impregnado de vitalismo. Uno habla de aliento de vida, de "exhalar el último suspiro". Los científicos de hace un siglo casi todos eran vitalistas. Como el biólogo Pasteur que pensaba que la vida había intervenir un principio vital. Pero actualmente el vitalismo ha sido abandonado debido a que tenemos muchas pruebas de que la vida se explica estrictamente en términos físicos y químicos, por reacciones químicas, estructuras químicas. Uno comprende la vida, y la comprende tan bien que puede actuar sobre ella, manipularla. Todo el mundo conoce las manipulaciones y la ingeniería genética, la biotecnología...

Existe, desde hace un tiempo, una corriente que pone en duda el darwinismo: el creacionismo que cree en una interpretación literal de la Biblia. Pero hoy, aparece algo nuevo, la teoría del diseño inteligente. ¿De qué se trata exactamente?

“Los científicos han tratado de explicar ciertos fenómenos mediante otros factores. Es aquí donde se introduce el diseño inteligente. Este retoma un cierto número de ejemplos para decir que las cosas permanecen inexplicables.”



DNA.

El diseño inteligente no es nada nuevo. Sólo es una palabra nueva. La teoría del diseño inteligente ha sido defendida desde hace ya doscientos años. En aquella época se llamaba finalismo, que se emparentaba con el vitalismo.

El finalismo afirma que las estructuras vivas fueron creadas en función de un objetivo. El finalismo introducía en el principio de la vida la intervención de una entidad superior y exterior que dirige la evolución hacia un objetivo. El diseño inteligente no es otra cosa que una versión moderna del finalismo. Según los que sostienen el diseño inteligente, ciertas etapas de la evolución, del origen de la vida son inexplicables sin la intervención de una entidad directriz que haya orientado el fenómeno. Pero entre el finalismo y el diseño inteligente hubo Darwin.

Lo que Darwin postula es que las modificaciones genéticas que se producen durante la evolución suceden de forma accidental. Y es la selección natural que, a

posteriori, elige entre las diferentes variantes. Las especies que sobreviven son aquellas que en las condiciones químicas y físicas dadas de la época tienen más chances de sobrevivir y de engendrar progenie. Por definición, si usted tiene varias variantes en competencia por los mismos recursos, son aquellas que se reproducen más rápidamente las que van a emerger. Toda la biología moderna ha venido a confirmar la teoría de Darwin sobre los mecanismos de la evolución. Es en cierta medida un hecho establecido, que se ilustra, por ejemplo en nuestros días, por los microbios que se vuelven resistentes a los antibióticos.

Para entender la diferencia entre las dos teorías imagine las bacterias en un frasco. Si comienza a calentarlo, progresivamente verá desaparecer ciertos tipos de microbios. Pronto, no quedará más que un solo tipo de bacteria a una cierta temperatura. Esta variedad había adquirido los mejores recursos para resistir al calor. Para los partidarios del finalismo y el diseño

inteligente hay una entidad que dice "esto se vuelve caliente, es tiempo de prepararse" y modifica los genes de ese microbio en consecuencia para que él fabrique proteínas más resistentes al calor. La modificación genética se hace en función de un objetivo, que es el de resistir al calor.

De acuerdo con el darwinismo, todos esos microbios están sujetos a modificaciones genéticas ciegas y, entre ellas, aquellas que conducen a resistir mejor al calor emergen por selección natural cuando la temperatura aumenta. La selección natural selecciona los productos del azar para dar la forma más resistente al calor.

¿Es que Darwin no explica todo?

Evidentemente. Los científicos han tratado de explicar ciertos fenómenos mediante otros factores. Es aquí donde se introduce el diseño inteligente. Este retoma un cierto número de ejemplos para decir que las cosas permanecen inexplicables.

Ellos mencionan que no se puede explicar, por ejemplo, la complejidad de un ojo únicamente por la evolución debida al azar y a la selección natural ...

¿El ojo? Hay al menos siete variedades diferentes. Vea los ojos de un pulpo, de una mosca o de un ser humano. Hubo evoluciones con adaptaciones diferentes. Uno puede encontrar representantes de seres vivos primitivos que tenían formas primitivas de ojos, de lo que habría podido preceder al ojo. Por ejemplo, en ciertas bacterias usted encontrará pequeñas trazas que son sensibles a la luz. La reacción a la luz aparece entonces muy temprano. Uno puede reconstruir la historia del ojo a partir de la evolución progresiva de esta pequeña mancha fotosensible. Hubo numerosas etapas, que se sucedieron —uno lo olvida muy seguido— a lo largo de periodos excesivamente largos, que se cuentan en miles de milenios. Uno puede refutar los argumentos del diseño inteligente sobre la base de lo que se conoce.

Los científicos que defienden la teoría del diseño inteligente argumentan que ciertas etapas son inexplicables.

Desde el momento que alguien afirma que algo no es explicable se sale del dominio de la ciencia. Porque la ciencia está fundada sobre la hipótesis de entrada de que las cosas son explicables. De nada serviría construir laboratorios, hacer investigaciones, si uno no toma como punto de partida que lo que uno busca es explicable. Si digo que algo no es explicable, excluyo el objeto de mi investigación y cierro mi laboratorio. Como científico, uno podría afirmar que algo es inexplicable sólo cuando ha agotado todas las posibilidades de explicación. Si finalmente uno fracasa, podría eventualmente concluir que no es explicable.

Pero hasta ahora no se está en esa situación. Más

aún, yo diría que al contrario, estamos en una situación inversa. Observe lo que ha sido descubierto en biología desde que estoy vivo (de eso hace mucho tiempo). Cuando yo era estudiante en la universidad, hace 70 años, uno no sabía casi nada de la vida. Y lo poco que se sabía, se había aprendido en el curso de los anteriores cincuenta años. Lo que se ha descubierto después es absolutamente inimaginable: las proteínas, miles de enzimas, miles de reacciones químicas, el código genético, la estructura del ADN.

Entre más se investiga, más se verifica la hipótesis de base de la ciencia de que las cosas son explicables. En biología, ciertamente no es el momento de decir que algo no es explicable. Quedan aún cosas por explicar, pero no hay que confundir inexplicable con inexplicable. Si todo estuviera explicado, uno podría también cerrar los laboratorios, pero aún estamos lejos.

¿Se podría decir que los promotores del diseño inteligente y los creacionistas están en la misma frecuencia?

Los promotores del diseño inteligente son científicos, no son por lo general adversarios de la evolución, pero son adversarios del darwinismo. Para ellos no existen sólo las causas naturales, sino también la influencia de una entidad no material. Los creacionistas no están en la misma longitud de onda, ya que refutan la evolución misma, le dan todo el crédito al contenido bíblico de forma literal. Pero todos ellos están contentos de encontrar científicos que dicen "la ciencia no explica todo", lo que podría justificar la intervención divina.

Usted tomó posición contra esta nueva forma de oscurantismo. ¿Usted dice que se sintió con el deber de hablar?

No hablaremos de religión hoy. Yo simplemente me sentí con el deber de decir que aquello que nos proponen creer está en contradicción con lo que la ciencia ha establecido de forma irrefutable, que se debe cambiar el texto, es todo. Es cierto que la teoría del diseño inteligente es recibida con alegría en numerosos medios religiosos, parece que también en el Vaticano. Asistí a la reunión de la Academia Pontificia de Ciencias en octubre de 1996 en donde el papa Juan Pablo II declaró solemnemente que "la evolución no es más una hipótesis". Esas fueron sus palabras. Ahora el cardenal Schönborn apoyado por el nuevo papa dice: "No es más una hipótesis, pero eso no quiere decir que el darwinismo explica todo". Y el papa actual dice también: "No somos el resultado accidental, sin significado, de la evolución". ●

[Referencias]

¹ *A l'écoute du vivant*, Odile-Jacob, Paris, 2002.

² *Singularités, Jalons sur les chemins de la vie*, Odile-Jacob, Paris, 2005.



Cinvestav Posgrados

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

FÍSICA

Maestría: Admisiones en mayo
Doctorado: Admisiones todo el año
www.fid.cinvestav.mx/

FÍSICA APLICADA (Unidad Mérida)

Especialidades en Física Aplicada, Fisicoquímica y Física Teórica
Maestría: Admisión: enero y julio
Doctorado: Admisión todo el año
www.mda.cinvestav.mx/fa01.htm

MATEMÁTICAS

Especialidad en Matemáticas básicas y Matemáticas Computacionales
Maestría: Admisiones todo el año
Doctorado: Admisiones todo el año
www.math.cinvestav.mx/

QUÍMICA

Doctorado Directo: Admisiones en mayo
Inicio del programa: septiembre
www.cinvestav.mx/quimica/

TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

COMPUTACIÓN

Maestría y Doctorado
Exámenes de Admisión en julio
www.cs.cinvestav.mx/

COMPUTACIÓN (Unidad Tamaulipas)

Maestría y Doctorado
Registro de aspirantes hasta julio de cada año
www.cinvestav.mx/tamaulipas/

CONTROL AUTOMÁTICO

Maestría: Admisiones en julio
Doctorado: Admisiones en agosto y noviembre
www.ctrl.cinvestav.mx/

INGENIERÍA CERÁMICA (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado
Recepción de documentos en julio
www.cinvestav.edu.mx/salttillo/

INGENIERÍA METALÚRGICA (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado
Recepción de documentos en julio
www.cinvestav.edu.mx/salttillo/

INGENIERÍA ELÉCTRICA (Unidad Guadalajara)

Especialidad en Ciencias de la Computación, Control Automático, Diseño Electrónico, Sistemas Eléctricos de Potencia y Telecomunicaciones
Maestría: Examen de admisión en julio
Doctorado: Abierto todo el año
www.gdl.cinvestav.mx/

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Especialidad en Bioelectrónica
Maestría: Exámenes de admisión y entrevista en julio
Doctorado: Recepción de documentos todo el año
www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Comunicaciones

Maestría y Doctorado
Inscripciones de febrero a abril
www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Electrónica del Estado Sólido

Maestría: Solicitudes en enero y mayo
www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Mecatrónica

Maestría, admisión: julio
Doctorado: Admisión todo el año
www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Robótica, Sistemas Inmersos y Manufactura Moderna (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado
Propedéutico: 3 1 14 de julio
www.ie.cinvestav.mx/

INGENIERÍA Y FÍSICA BIOMÉDICAS (Unidad Monterrey)

Maestría: Exámenes de admisión en julio y agosto
www.cinvestav.mx/mty/index.html

MATERIALES (Unidad Querétaro)

Maestría: Admisiones en la cuarta semana de mayo
Doctorado: Examen y entrevista en junio
www.qro.cinvestav.mx/

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

BIOLOGÍA CELULAR

Maestría: Inscripciones en febrero

Doctorado: Admisiones todo el año

www.cell.cinvestav.mx/

BIOMEDICINA MOLECULAR

Maestría: Inscripciones: marzo y septiembre

Doctorado: Admisiones mayo, junio y noviembre

www.cinvestav.mx/biomedic.html

BIOQUÍMICA

Maestría: Inscripciones en junio

Doctorado: Inscripciones abril a junio

www.biochem.cinvestav.mx/

BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

Maestría: Admisiones en mayo

Doctorado: Admisiones todo el año

www.cinvestav.mx/biotech/

BIOTECNOLOGÍA Y BIOQUÍMICA

(Unidad Irapuato)

Maestría y Doctorado

Examen de admisión en enero y julio

www.ira.cinvestav.mx/

FARMACOBIOLOGÍA (Sede Sur)

Maestría y Doctorado

Examen de Admisión en junio

www.cinvestav.mx/farmacobiologia/fechas.html

FARMACOLOGÍA

Maestría: Entrevistas: junio

Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año

www.cinvestav.mx/farmacologia/

FISIOLOGÍA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

Especialidades en Neurobiología

y Fisiología Celular y Molecular

Maestría: Entrevistas en junio

Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año

www.fisio.cinvestav.mx

GENÉTICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR

Maestría: solicitudes de mayo y junio

Doctorado: solicitudes de agosto y septiembre

www.cinvestav.mx/genetica/framearriba.htm

INGENIERÍA GENÉTICA (Unidad Irapuato)

Maestría: Examen de admisión en julio

Doctorado: Examen de admisión en julio

www.ira.cinvestav.mx/

PATOLOGÍA EXPERIMENTAL

Maestría: Admisiones en junio

Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año

Excelencia en Investigación y Posgrado



RECURSOS DEL MAR (Unidad Mérida)

Maestría: Admisiones en junio

Doctorado: Ingreso en septiembre y enero

www.mda.cinvestav.mx/rm01.htm

TOXICOLOGÍA

Maestría: Examen de admisión y entrevistas en junio

Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año

www.cinvestav.mx/toxicologia/

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

ECOLOGÍA HUMANA

Maestría: Entrevistas en julio

www.mda.cinvestav.mx/eh01.htm

EDUCACIÓN EN CIENCIAS (Unidad Monterrey)

Maestría: Exámenes de admisión en julio y agosto

www.cinvestav.mx/mty/index.html

INVESTIGACIONES EDUCATIVAS (Sede Sur)

Maestría: Inscripciones de febrero a marzo

Doctorado: Inscripciones marzo y abril

www.cinvestav.mx/die/

MATEMÁTICA EDUCATIVA

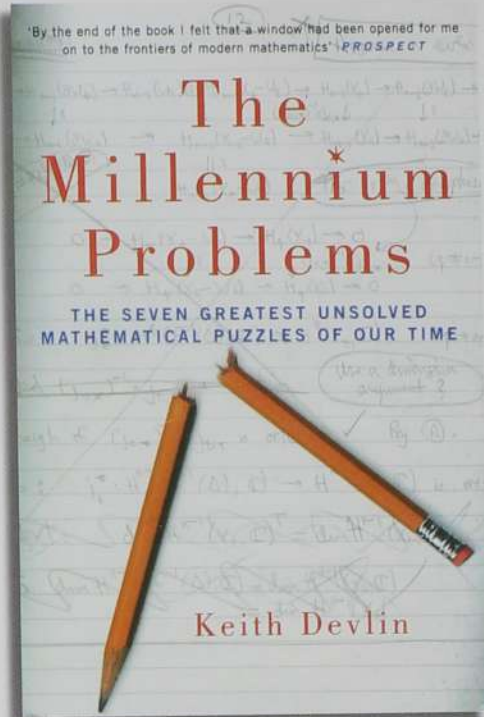
Maestría: Exámenes y entrevistas en mayo

Doctorado: Admisión en agosto y noviembre

www.matedu.cinvestav.mx/



*The Millennium Problems.
The seven greatest unsolved
mathematical puzzles
of our time*
Granta Books, 2005 (primera
edición Basic Books, 2002).



The Millennium Problems

The seven greatest unsolved mathematical puzzles of our time

DE KEITH DEVLIN

Manuel Santos

En mayo 24 del 2000 los matemáticos Michael Atiyah y John Tate en una conferencia celebrada por el *Clay Mathematics Institute* (www.Claymath.org) en el *Collège de Francia* anunciaban la recompensa de un millón de dólares a cualquier persona o grupo de individuos que resolvieran cualquiera de los siete problemas del milenio. Los problemas más importantes sin resolver de las matemáticas contemporáneas fueron seleccionados por un grupo de matemáticos reconocidos internacionalmente. ¿Cuáles son los problemas del milenio? ¿Cómo surgen? ¿Por qué los matemáticos los consideran importantes? ¿Cómo se pueden explicar a un público general?

En este libro el autor se propone presentar los antecedentes a cada uno de los problemas, describir el surgimiento, explicar aspectos que lo hacen particularmente difícil y presentar elementos de por qué los matemáticos lo consideran importante. El autor aclara que el libro no está escrito para aquellos que quieran resolver los problemas; sino para lectores que quieran informarse sobre el estado actual de las matemáticas.

En las matemáticas ha existido la tradición de identificar los problemas relevantes que inspiran y orientan el desarrollo de la disciplina. En 1990 Hilbert propuso una lista de 23 problemas que consideraba en esa época los más importantes no resueltos. Devlin ofrece un acercamiento accesible a siete problemas, donde identifica una serie de recursos y conceptos elementales que ayudan a identificar el área de estudio de cada uno de ellos. A cada problema le dedica un capítulo del libro. Aquí sólo mencionaremos aspectos generales:

1. **La hipótesis de Riemann** fue formulada en 1859 por el matemático alemán Bernhard Riemann en su intento de describir, en caso de que existiera, un patrón en la distribución de los números primos. Parte de los temas que presenta el autor asociados con este problema son los que aborda Martha Rzedowski en su artículo sobre los números primos en este mismo número de la revista *Cinvestav*.
2. **La Teoría de Yang-Mills y la hipótesis de Mass Gap** se relaciona con las ecuaciones de Yang-Mills en la

física cuántica que describen las fuerzas de la naturaleza distintas de la gravedad. Las predicciones que se desprenden de las ecuaciones describen partículas que se han observado a nivel laboratorio. En el problema se busca el soporte matemático de la teoría, es decir, establecer matemáticamente la hipótesis de Mass Gap, la cual concierne con las soluciones supuestas a las ecuaciones de Yang-Mills (porque los electrones tienen masa).

3. **El problema de P frente a NP** es un problema acerca de la eficiencia de las computadoras al resolver problemas. En el campo de las computadoras los científicos dividen las tareas en la computación en dos tipos: tareas del tipo P, que pueden atacarse efectivamente con una computadora, y las tareas de tipo E, que puede tomar millones de años para completarse. Sin embargo, la mayoría de las tareas computacionales que se originan en la industria y en el comercio caen en una tercera categoría, NP, la cual parece ser intermedia entre P y E. No obstante, después de varios años de investigación no se ha demostrado si NP y P son los mismos o no. Una solución a este problema puede tener implicaciones en la industria, el comercio, las comunicaciones electrónicas incluyendo la World Wide Web.

4. **El problema de las ecuaciones de Navier-Stokes** describe el movimiento de los fluidos y los gases (ecuaciones diferenciales parciales). Hasta hoy no se ha encontrado alguna fórmula que ayude a resolver este tipo de ecuaciones o incluso a afirmar o negar la existencia de tal fórmula. A pesar de no encontrar esa fórmula general, los ingenieros utilizan la computadora para resolver casos particulares de las ecuaciones en forma aproximada que les permite diseñar aviones o barcos. Aquí los matemáticos pueden contribuir al resolver este problema en los avances de la ingeniería aeronáutica y naval.

5. **La conjetura de Poincaré** fue formulada por el matemático francés Henri Poincaré: ¿cómo se puede distinguir una manzana de una dona? La idea es responder de manera general en términos matemáticos.

6. **La conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer.** En 1994 Andrew Wiles probó que para cualquier exponente n mayor que 2, la ecuación $x^n + y^n = z^n$ no tiene soluciones enteras distintas de cero (el teorema de Fermat). Sin embargo, para ecuaciones más complicadas es difícil descubrir si existen soluciones o cuáles son. La conjetura de Birch y Swinnerton-Dyer provee información acerca de las posibles soluciones en esos casos.

7. **La conjetura de Hodge** se relaciona con el cómo objetos matemáticos complicados pueden ser

construidos a partir de objetos más simples. La conjetura afirma que para una clase importante de objetos (variedad algebraica proyectiva) las piezas denominadas ciclos de Hodge son, sin embargo, combinaciones de las piezas geométricas (ciclos algebraicos).

Un aspecto relevante en la presentación de los problemas es que en el avance de las matemáticas se identifican desarrollos conceptuales importantes que han extendido la concepción de la disciplina y lo que significa hacer matemáticas. Por ejemplo, la noción de número de los griegos cambió radicalmente al reconocer que los números racionales no eran adecuados para medir longitudes como $\sqrt{2}$ y así definir a los números reales como puntos sobre la recta. En la búsqueda y solución de los problemas seguramente aparecerán nuevos métodos que no sólo generarán otros contenidos sino también otras formas de desarrollar y sustentar el conocimiento matemático. En este contexto, una línea importante de reflexión, siguiendo la idea del autor de este libro, sería identificar eventos en el desarrollo de las matemáticas que han generado cambios en la concepción de la disciplina y en los métodos de trabajo. Además, la tarea de caracterizar recursos e ideas fundamentales (contenidos de la disciplina) que ayuden a comprender en este caso los problemas frontera de las matemáticas puede extenderse a otras disciplinas.

Es decir, sería interesante que los expertos de otras áreas identificaran los problemas frontera de sus campos. También, la idea de identificar problemas relevantes puede ser un marco pedagógico para comprender y discutir contenidos disciplinarios. Por ejemplo, los mismos estudiantes pueden preguntarse y argumentar acerca de los problemas fundamentales de sus áreas de estudio y contrastar sus respuestas con la de los expertos y compañeros.

Blank (2003) en una reseña de este libro señala la falta de equilibrio al presentar las ideas asociadas con los problemas. Además sugiere que lo que le falta al libro es un sentido real de lo que son estos problemas y se pregunta: ¿Cuál es nuestra pasión [como matemáticos] por [resolver] estos y otros problemas similares? En su respuesta cita al fundador del CMI, Landon Clay: "es el deseo por la verdad y por [buscar] la respuesta a la belleza y elegancia de las matemáticas lo que conduce [el quehacer] de los matemáticos" (p. 910).

Blank, B., *The Millennium Problems: The seven greatest unsolved mathematical puzzles of our time*, Book Review, Notices of the AMS, pp. 907-911, 2005

Noticias Cinvestav

PARTICIPACIÓN DEL CINVESTAV EN BIOMONTERREY 2006

El pasado mes de septiembre el **Cinvestav** participó en el Congreso y Exhibición Internacional BioMonterrey 2006, que tenía como objetivo la promoción y colaboración en biotecnología entre Latinoamérica y la Unión Europea. A este evento asistieron estudiantes e investigadores del: Departamento de Ingeniería Eléctrica con especialidad en Bioelectrónica, el Campus Guanajuato y la Unidad Monterrey.



Análisis de Variabilidad de frecuencia cardíaca y variabilidad de áreas pupilares en diabéticos, investigación del M en C. Raúl Martínez Memije.



Entrenador Laparoscópico, proyecto del M en C. Daniel Lorias Espinoza.



Dra. Rosalinda Contreras, Directora del Cinvestav, y el Dr. Natividad González Parás, Gobernador del Estado de Nuevo León, en la inauguración de BioMonterrey 2006.



Detección y análisis de la percepción cromática, Investigación de la M. en C. Dolores Alicia Rodríguez Guzmán.



Rompecabezas del DNA, explicado por el Dr. Axel Tiessen.

Nombramientos

Directores de Unidad

Dr. Gregorio Vargas
Cinvestav-Salttillo

Jefes de Departamento

Dra. Laura Cházaro García
Jefa de la Sección de Metodología
y Teoría de la Ciencia

NUEVOS PROGRAMAS

En el pasado mes de noviembre de 2006, la Junta Directiva autorizó la propuesta de la creación de los Programas Académicos de Maestría y Doctorado en Ciencias en Robótica y Manufactura Avanzada de la Unidad Saltillo.

SEGUNDO LUGAR EN LA CATEGORÍA DE INNOVACIÓN EN EL III PREMIO NACIONAL DE ENERGÍA RENOVABLE

El Dr. Yasuhiro Matsumoto Kuwabara, Investigador Titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica y el Ing. José Antonio Urbano Castelán, Auxiliar de Investigación obtuvieron este premio que otorga la Secretaría de Energía y la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, por su trabajo: "Estufa Rural de Concentración Solar".

PREMIO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE LA FUNDACIÓN GLAXO SMITH KLINE

La Dra. Esther López Bayghen, Investigadora Titular del Departamento de Genética y Biología Molecular recibió el Primer Lugar del XVII Premio Nacional de Investigación de la Fundación en el área de investigación clínica, con el estudio titulado "Reconstrucción de Vaginas Humanas: Primer reporte clínico de fabricación exitosa de vagina humana con tecnología de ingeniería de tejidos".

Así también la Dra. Rossana Arroyo Verástegui, Investigadora Titular del Departamento de Patología Experimental obtuvo el Primer Lugar del XVII en el área de investigación básica, con el trabajo: "Mecanismo alternativo de regulación de la expresión génica por hierro en *Trichomonas vaginalis*".

REGISTRO DE PATENTE

El Dr. Pablo R. Hernández Rodríguez, Investigador Titular del Departamento de Ingeniería Eléctrica obtuvo el Título de Patente por la invención denominada "Sistema digital de ayuda para la comunicación de personas con discapacidad en el lenguaje utilizando voz sintética".

PROFESOR HONORARIO

El Dr. Pedro Joseph-Nathan, Investigador Titular del Departamento de Química fue distinguido con el

nombramiento de Profesor Honorario por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy, República Argentina, por su aporte a la generación del conocimiento en el campo de la Química de los Productos Naturales.

MENTIÓN HONORÍFICA EN LA EIGHTEENTH CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENVIRONMENTAL EPIDEMIOLOGY

La M. en C. Norma Elena Pérez Herrera, estudiante de Doctorado de la Sección Externa de Toxicología obtuvo mención honorífica por su plática titulada "Continuous agricultural exposure to pesticides alters semen quality and sperm DNA integrity" presentada en el marco de esta conferencia, que se llevó a cabo en París, Francia. Su tutora fue la Dra. Ma. Betzabet Quintanilla Vega.

INGRESO AL HOWARD HUGHES MEDICAL INSTITUTE

El Dr. Luis Gabriel Briebe de Castro, Investigador Titular del Departamento de Bioquímica fue seleccionado como International Research Scholar, por el Howard Hughes Medical Institute (HHMI) para apoyarlo en su investigación por un periodo de cinco años.

RECONOCIMIENTO OTORGADO POR LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

El Dr. Jaime Ortega López, Investigador Titular del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería fue distinguido con el Título Honorífico de Profesor Visitante, diploma de reconocimiento y medalla, otorgado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú.

RECONOCIMIENTOS DEL CLUB ROTARIO VALLEJO POR LA ACTIVIDAD DE SERVICIO EN BIEN DE LA COMUNIDAD

- Dra. Silvia Lorenia Cruz Martín del Campo, Investigadora del Departamento de Farmacobiología, por su trabajo en el área de adicciones y trabajo con el Centro Nacional de Adicciones.
- Dr. Heriberto Cuanalo de la Cerda, Investigador del Departamento de Ecología Humana de la Unidad Mérida, centrado en el combate a la pobreza aplicado en comunidades pobres del Estado de Yucatán.
- Dra. Angelina Flores Parra, Investigadora del Departamento de Química, quien ha contribuido en forma sobresaliente en la difusión de la ciencia y la educación de niños a nivel primaria y secundaria.
- Dr. Romeo de Coss Gómez, Investigador del Departamento de Física Aplicada de la Unidad Mérida, por su impulso a las Olimpiadas de Física y la preparación de estudiantes de preparatoria.

Contribuciones

Las contribuciones para la revista *Cinvestav* deberán enviarse a las oficinas centrales o a la dirección de correo electrónico: msantos@cinvestav.mx

Textos

- En formato de Word con extensión .doc o .rtf, vía correo electrónico o en CD-ROM.
- Cuando se trate de artículos de investigación la extensión máxima será de 15 cuartillas, en cuanto a los artículos de difusión serán de 10 cuartillas, y para Noticias será de 50 palabras cada uno.
- Si el texto incluye tablas, éstas se entregarán en archivo por separado, en texto corrido y con una impresión adjunta que muestre la forma en que debe quedar la tabla. Además, se debe indicar en el original la ubicación de éstas. La indicación también es válida para esquemas y cuadros.
- Todo artículo requiere de proporcionar ilustraciones o fotografías para su inserción (ver especificaciones).
- Las notas deberán incluirse al final del trabajo, antes de la bibliografía o de las referencias debidamente numeradas.
- Las referencias deben apegarse a los modelos siguientes:

Libro:

Wiener, Norbert, *Cibernética: o el control y la comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets, 2003.

Artículo de revista:

Ádem, José, 1991, "Algunas consideraciones sobre la prensa en México", en *Avance y Perspectiva*, vol. 10, abril-junio, pp. 168-170.

Se sugiere que las referencias sean cuidadosamente revisadas por los autores y que los títulos de los artículos y los nombres de las publicaciones no se abrevien. Todos los textos deben incluir el nombre del autor, grado académico, adscripción y cargo que desempeña, teléfono y correo electrónico.

Imágenes y Gráficas

Las fotografías e imágenes que se envíen para ilustrar los textos deberán venir en archivos por separado tipo JPG o TIFF, a 300 dpi de resolución con tamaño de 20 cm de base (como mínimo). Las imágenes que se envíen de cámaras digitales deberán haber sido tomadas con la máxima resolución que tenga ésta.

NO SE ACEPTARÁN IMÁGENES DE INTERNET.

Cinvestav

revista@cinvestav.mx

T/F (55) 50 61 33 71

www.cinvestav.mx/publicaciones

Av. Instituto Politécnico Nacional 2508

San Pedro Zacatenco, C.P. 07360

México, DF, México

[Nota]

En breve aparecerá una versión electrónica de la revista *Cinvestav* donde los lectores tendrán la oportunidad de contribuir con sus reflexiones acerca de los temas que se abordan en los artículos.

POR TODO LO QUE DEPENDE DE ELLOS,
TENEMOS A LOS PILOTOS MÁS EXPERIMENTADOS DEL MUNDO.



Capacitados constantemente en los simuladores más avanzados del mundo, nuestros pilotos son hoy en día, reconocidos internacionalmente por sus experimentadas trayectorias; por algo otras aerolíneas capacitan a sus pilotos con nosotros.

MEXICANA 
La primera siempre será la primera.

El Cinvestav en fotos

LIC. FRANCISCO JAVIER PULIDO SAAVEDRA
Jefe
Depto. Enlace Institucional



Cinvestav-Guadalajara