

Innovación y Ciencia



Volumen XIV • N° 4 • 2007 • Tarifa postal reducida 194 • Colombia \$12.000

El Sol y el cambio climático
Las estrellas de neutrones
El mundo del ARN
El hidrógeno en Colombia



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA



[*áce-áce*]

Es una entidad sin ánimo de lucro,
fundada el 9 de octubre de 1970,
que trabaja por el fomento de la
Ciencia y la Tecnología como base
del desarrollo social.

ACAC desarrolla diversos programas,
cuyos fines son

integrar a la comunidad científica
y reforzar su compromiso con el

estudio de los problemas del país,

difundir el conocimiento científico,
promover y apoyar la

investigación Científica y Tecnológica
e impulsar programas de apropiación social
de Ciencia y tecnología.

Correo electrónico acac@acac.org.co

www.acac.org.co



VOLUMEN XIV N° 4

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez

Raúl Joya O.

Rubén Ardila A.

Guillermo Hoyos V.

Carlos Corredor P.

Marcelo Riveros R.

Elena Stashenko

Horacio Torres S.

Helena Groot

CIDEIM: María Virginia Villegas

ACCEFYN: Jaime Rodríguez

OBSERVATORIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA:

Rafael Hurtado

MALOKA: Nohora Elizabeth Hoyos

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

Carmen H. Carvajal López

EDITOR

Eduardo Posada Flórez

EDITOR CIENTÍFICO

Diego Andrés Rosselli Cock

COORDINACIÓN EDITORIAL

Lorena Ruiz Serna

COMITÉ EDITORIAL

Carlos Corredor P.

Guillermo Hoyos V.

Andrés Pérez

Horacio Torres S.

Elizabeth Castañeda

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

León Lederman

Sabel Llano

Rodolfo Llinás

PRODUCCIÓN Y DISEÑO

Editorial El Malpensante S.A.

DIRECCIÓN DE ESTILO

Guillermo Díez

ASISTENTE COORDINACIÓN EDITORIAL

Marisol González

FOTOGRAFÍA

Autores y banco de imágenes

IMPRESIÓN

Panamericana Formas e Impresos S.A.

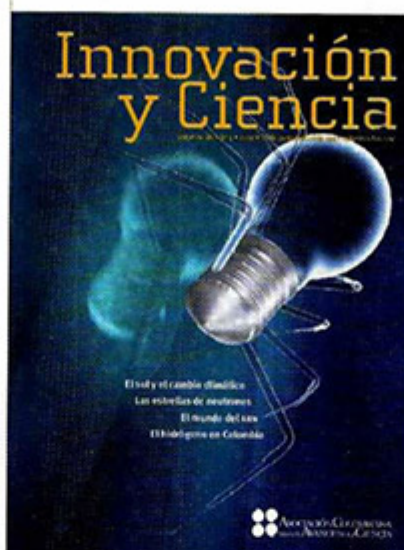
COMERCIALIZACIÓN

Suscripciones y Revistas

contactenos@suscripcionesyrevistas.com

DISTRIBUCIÓN

Distribuidora Unidas



Innovación y Ciencia es la revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC.

DERECHOS RESERVADOS

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización expresa del Comité Editorial. La publicación no es responsable legal del contenido de la publicidad de cada edición.

Los conceptos expresados en los artículos no reflejan necesariamente la opinión de los editores.

Resolución Ministerio de Gobierno No. 5447 del 9 de octubre de 1992

ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida No. 2007-194 de Servicios Postales Nacionales

Vence: 31 de diciembre de 2007

ACAC Calle 44 N° 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3

Teléfonos: 3150734 – 3155900

Fax: 2216950

Email: innovacionyciencia@acac.org.co

Bogotá, D.C. – Colombia

Precio de venta al público: \$12.000

Suscripción (4 números al año): \$45.000

● **editorial** ● 6

▲ **vistazos** ▲ 8

■ **notas breves**

Hacia una comunidad geoespacial

Margot Mena Young ■ 10

Vacuna del cáncer de cuello uterino en Colombia

Andrea Díaz Cardona ■ 14

Modelos matemáticos en economía de la salud

Diego Andrés Rosselli ● 17

▲ **medio ambiente**

El Sol y el cambio climático

Jorge Iván Zuluaga ▲ 20

El calentamiento global es una realidad. Sus causas, sin embargo, todavía están en discusión, a pesar de que una voluminosa evidencia parece apuntar hacia el hecho de que el aumento en los gases de invernadero producidos por la actividad humana estaría entre las causas principales (Calentamiento Global Antropogénico). Pero mientras existan dudas razonables y los efectos del Sol y su variabilidad todavía lo son, ninguna afirmación final y definitiva puede esgrimirse para cerrar este que podría ser el caso científico más difundido de todos los tiempos.

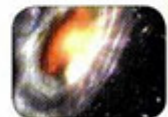


● **astronomía**

Las estrellas de neutrones: trompos cósmicos

Paul Nuñez ● 32

Cuando la energía nuclear se agota en el centro de las estrellas, éstas finalmente se convierten en objetos extremadamente compactos y con períodos de rotación que son en varias ocasiones de unos cuantos milisegundos. Las condiciones tan extremas de estos objetos hacen que estas estrellas sean usadas como laboratorios para probar muchas ramas de la física y para entender los estados "límite" de la naturaleza.



Sumario

Innovación y Ciencia • Volumen XIV • N° 4 • 2007

■ genética

Pequeños gigantes en el mundo del ARN

Guillermo Aquino Jarquin ■ 38

Poco después del desciframiento de la secuencia completa del genoma humano, cuando la curiosidad de los científicos se centró en conocer las funciones de los genes que habían identificado y cómo estos se regulan, dos asombrosos descubrimientos en el campo de la biología, acapararon la atención del mundo científico: El descubrimiento de los ARN pequeños interferentes y los microARN. Ambos ácidos ribonucleicos (ARN) no codifican para ninguna proteína pero actúan modulando el nivel de “encendido y apagado” de genes en diversos genomas.



▲ energías alternativas

La economía de hidrógeno en Colombia

Hernán Carvajal-Osorio ▲ 46

El mayor interés actual en el H₂ surge de la necesidad del sector transporte de reducir su fuerte dependencia del petróleo y, a la vez, disminuir la grave contaminación ambiental que está causando dicho sector. El hidrógeno alimentaría celdas de combustible que producirán electricidad para mover los vehículos. Más aún, se plantea que el empleo del hidrógeno a gran escala producirá una revolución económica y social, haciendo referencia a que la utilización de dicho elemento como generador de electricidad permitirá un manejo muy amplio y de alcance directo por parte de todos los humanos para abastecerse de la energía que necesitarán, a diferencia de la actual situación de dependencia total de unos pocos suministradores y negociadores de la energía.



● ciencias sociales

Ética de la ciencia: una invitación a la reflexión

Rafael A. Forero M. ● 62

El desarrollo de la ciencia y el afán por conseguir tanto la fama como los fondos millonarios que la financian han puesto en jaque más de una vez a aquello que llamamos ética. A pesar de que se cometen fraudes científicos de talla internacional, en la comunidad científica se observa poco interés en debatir el problema.



■ sitios web

..... ■ 69

ACAC incentiva la investigación en el país

El pasado 28 de noviembre, la Asociación entregó por decimoctava vez el Premio Nacional al Mérito Científico en sus diferentes categorías. En esta oportunidad el ganador en la categoría Vida y Obra fue el Dr. Gonzalo Correal, eminente antropólogo y arqueólogo, cuya labor en pro de la ciencia en Colombia ha recibido un amplio reconocimiento nacional e internacional. En la categoría Investigador de Excelencia el galardón fue entregado al Dr. Mauricio Linares, del Departamento de Biología de la Universidad de los Andes, uno de los más importantes investigadores de nuestro país en el campo de la genética y, en particular, en lo relacionado con la formación de especies animales por hibridación. En la categoría de Grupos de Excelencia, se presentó un empate entre el grupo de Genética Molecular de la Universidad de Antioquia, que se ha destacado por su papel fundamental en la formación de investigadores en ese campo, y el Grupo de investigación en aprovechamiento de recursos hidráulicos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional, sede Medellín, ampliamente reconocido por sus trabajos en el tema de la energía la prevención de desastres y el aprovechamiento de los recursos naturales. Por último, en la categoría de Divulgación de la Ciencia, el Premio fue otorgado al programa radial *Unianálisis* de la Universidad Nacional, cuya gran labor en la divulgación de la ciencia es conocida por todos.

Una vez más, el Premio al Mérito ha sido otorgado a un grupo muy prestante de investigadores colombianos, y se ha convertido en uno de los galardones más apreciados por la comunidad científica nacional. La calidad indiscutible de los ganadores es prueba, además, del gran nivel que ha alcanzado la actividad científica en nuestro país. Es también la demostración del gran apoyo que entidades como Colciencias y las principales universidades del país están dando a la investigación científica en Colombia, todo lo cual permite mirar con optimismo hacia el futuro. Queremos expresar a los ganadores nuestra más sincera felicitación y la voluntad de la ACAC de apoyar su labor en la medida de sus posibilidades. Igualmente, sea ésta la oportunidad para agradecer a los miembros del Jurado la excelente labor realizada.

* * *

En días pasados tuvieron lugar dos hechos que vale la pena hacer conocer a nuestros lectores. Por una parte, el día 28 de noviembre se llevó a cabo la presentación del Plan Distrital de Ciencia, Tecnología e Innovación, como parte de la política aprobada por la Comisión Distrital de Ciencia y Tecnología a finales de 2006. El Gobierno distrital ratificó la decisión de consagrar el 0,5% del presupuesto de la ciudad a proyectos de ciencia, tecnología e innovación, para ser desarrollados en beneficio del mejoramiento de la competitividad de Bogotá. El monto correspondiente, que para 2008 es de 16.000 millones de pesos, ya fue aprobado por el Concejo de Bogotá, y en la actualidad se está terminando la reglamentación del fondo a través del cual se administrarán esos recursos. Este hecho no sólo es de una importancia fundamental para la ciudad de Bogotá, sino que se constituye en un excelente ejemplo para ser imitado por otras regiones del país, teniendo en cuenta que es la primera vez que recursos de esa importancia se destinan en el nivel regional a ese tipo de actividades.

Adicionalmente, el día 5 de diciembre, la Comisión VI de la Cámara de Representantes aprobó en primer debate el articulado del Proyecto de Ley de Ciencia y Tecnología, nueva versión del que se había presentado al Congreso el 20 de Julio pasado. El proyecto inicial proponía la creación de un Ministerio de Ciencia y Tecnología pero esa idea no recibió finalmente el apoyo del Gobierno nacional, razón por la cual, en el articulado aprobado, se propone establecer un Departamento Administrativo de Ciencia y Tecnología y crear un fondo de financiación, que se alimentaría con recursos tanto públicos como privados. Es importante destacar el gran apoyo brindado por los miembros de la Comisión, quienes, unánimemente, se pronunciaron acerca de la importancia de estos temas para el país. La Comisión VI, igualmente, organizará en los primeros meses del año 2008 una serie de foros, con la participación de la comunidad científica y académica nacional, con el fin de enriquecer las políticas de ciencia y tecnología a través del debate público.

EDUARDO POSADA FLÓREZ

Presidente

CARMEN HELENA CARVAJAL



Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

Innovación y Ciencia

TEMAS

Ciencias naturales, físicas y sociales, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia.

LENGUAJE

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Los términos técnicos deben ir seguidos de una definición sencilla entre paréntesis o entre comas; ejemplo: "... en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa de mucosas y partes más claras de piel)...".
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA)".
- Sólo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.

EXTENSIÓN

Máximo 10 páginas tamaño carta en letra Arial 12, a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros).

FORMATO

Texto impreso y copia en CD o disquete, preferiblemente en formato Word.

MATERIAL GRÁFICO

Es importante anexar el mayor número posible de ilustraciones, fotografías y diapositivas, acompañadas de notas explicativas (pie de fotos) y sugerencias de ubicación dentro del texto. Este material puede incluir:

- Fotografías originales en papel fotográfico o diapositivas.
- Fotografías en versión digital de alta resolución (300 DPI) en formato .tif, .jpg o .eps.
- Esquemas gráficos explicativos (versión impresa o digital).
- Tablas o recuadros sin demasiadas columnas.
- El material fotográfico no debe ser tomado de libros, revistas ni internet y debe indicarse su autoría o fuente, si es necesario.
- Del material recibido se seleccionará el de mayor calidad para su

REFERENCIAS

En el texto, las referencias se deben citar con el apellido del primer autor y la fecha de publicación. El listado de referencias se debe organizar en orden alfabético, con el siguiente formato:

1. Artículo de revista científica:

Lee, M. R.; Ho, D. D.; Gurney, M. E. (1987), Functional Interaction and Partial Homology Between Human Immunodeficiency Virus and Neuroleukin, *Science* 237, 1987: 1047-1051.

2. Artículo de libro:

Day, R. A. (1990), *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*, Washington, Organización Panamericana de la Salud.

RESUMEN

Descripción breve (5 oraciones cortas) del tópico central del artículo, para su inclusión en el índice de la revista.

IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo actual
- Correo electrónico
- Dirección postal

RECOMENDACIONES

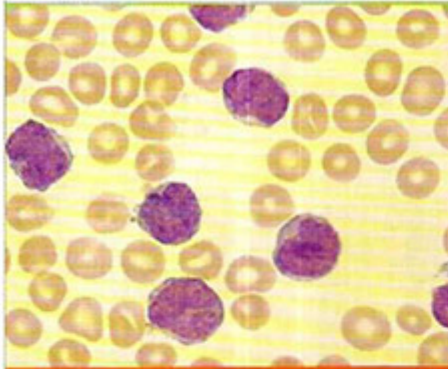
Los artículos que hayan aparecido en otras publicaciones, los informes de investigación en curso y aquellos textos cuyos temas sean muy especializados y de interés exclusivamente local no serán considerados para publicación.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA EL AVANCE
DE LA CIENCIA —ACAC—

Calle 44 N° 45-67 Unidad Camilo Torres
Bloque C, Módulo 3. Bogotá, D.C., Colombia
Teléfonos: 3155898 - 3150734 Fax: 2216950
innovacionyciencia@acac.org.co



Vistazos



● Linfocito T

NUEVAS RUTAS DE ACTIVACIÓN DE LOS LINFOCITOS T Y SU IMPLICACIÓN EN EL DESARROLLO DE ENFERMEDADES AUTOINMUNES

Un equipo del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha descrito nuevas rutas de activación de los linfocitos T, células clave en el funcionamiento del sistema inmunológico. En concreto, los autores han descubierto que la enzima fosfatidilinositol-3-quinasa gamma (PI3K γ) participa en la activación de estas células, lo que la convierte en una potencial diana terapéutica para el tratamiento de enfermedades autoinmunes, como el lupus.

El equipo de investigadores, dirigido por los investigadores del Centro Nacional de Biotecnología (del CSIC), en Madrid, Domingo Barber y Ana Clara Carrera, ha descrito nuevas funciones de la enzima PI3K γ , que se expresa de manera casi exclusiva en células del sistema inmune.

Este patrón de expresión único, que la diferencia del resto de los miembros de la familia de enzimas fosfatidilinositol-3-quinasa, encargadas de regular procesos celulares como la supervivencia o la división celular, hizo

cíficas de PI3K γ en células del sistema inmune.

Domingo Barber destaca la relevancia del estudio: "Hasta la fecha se pensaba que PI3K γ sólo se activaba en células T a través de los receptores implicados en la migración de estas células del sistema inmune a su lugar de acción. La novedad es el papel central que PI3K γ cumple en la activación de los linfocitos T vía el receptor de células T (TCR), receptor encargado de reconocer las diferentes proteínas virales, bacterianas o de otros agentes patógenos".

PI3K γ se encarga de regular las señales proporcionadas por el TCR. Esta enzima participa en los mecanismos moleculares de activación vía el TCR formando complejos con Lck y Zap70, dos proteínas fundamentales en la activación de los linfocitos T.

El trabajo, que aparece publicado en el último número de la revista *The Journal of Experimental Medicine*, amplía la información de estudios previos de este equipo que ya demostraron la participación de esta enzima en el desarrollo, la diferenciación, la migración y la supervivencia de los linfocitos.

Fuente: Centro Nacional de Biotecnología, notas de prensa, diciembre 10 de 2007. <http://www.csic.es/noticia.do?objectid=0902bf8a8008ad5f>

EL LANZAMIENTO DEL COLUMBUS SERÁ EN ENERO

El Columbus se lanzará a bordo del transbordador espacial Atlantis, en la misión STS-123, desde el Centro Espacial Kennedy, en Florida (EE. UU.).

El principal objetivo de esta misión de 11 días del Atlantis es instalar y

permitirá a científicos de todo el mundo llevar a cabo experimentos en el espacio en las áreas de ciencias de materiales, físicas y de la vida.

El transbordador Atlantis, de la NASA, partirá con los astronautas de la ESA Hans Schlegel, alemán, y Leopold Eyharts, francés.

Su misión consiste en llevar el laboratorio europeo Columbus a la Estación Espacial Internacional (ISS, por su sigla en inglés).

El lanzamiento del laboratorio Columbus de la ESA es la misión europea más importante en la ISS hasta la fecha. Este laboratorio es la pieza clave de la contribución europea a este proyecto internacional. Cuando Columbus esté en funcionamiento, la ESA será copropietaria de la única base permanente de la humanidad en el espacio. En tanto que primer laboratorio europeo dedicado a la investigación a largo plazo en el espacio, Columbus aporta instalaciones para experimentos multidisciplinarios en ciencia de materiales, física de fluidos y ciencias de la vida. Además, su instalación para



carga útil externa alberga experimentos y aplicaciones relativas a ciencia espacial, observación de la Tierra y tecnología.

Columbus, preequipado con cinco armarios internos para experimentos, será transportado a la órbita terrestre en el módulo de carga del transbordador. Dos de sus instalaciones experimentales externas serán almacenadas de forma independiente, en el módulo de carga del transbordador, y fijadas al exterior de la estructura del módulo del laboratorio. El astronauta de la ESA Hans Schlegel desempeñará un papel clave en dos de los tres paseos espaciales o EVA (Actividades Extra-Vehiculares) previstos para la misión. Durante el primer EVA, Schlegel ayudará a instalar y encender el laboratorio.

Durante su larga estancia en la ISS, Eyharts llevará a cabo una parte esencial de la instalación, activación y entrega en órbita del Columbus y sus instalaciones experimentales. Una vez en órbita, el Columbus será seguido desde el Centro de Control del Columbus, de la ESA, en el Centro de Operaciones Espaciales alemán, en Oberpfaffenhofen, cerca de Munich.

Probablemente, Eyharts seguirá aún en órbita cuando sea lanzado Julio Verne, el primer Vehículo Automatizado de Transferencia (ATV) europeo. El ATV, una nave de carga no tripulada capaz de llevar 8,5 toneladas a la ISS –también de alimentos, aire y agua–, será lanzado por un cohete Ariane 5 a principios de 2008. Eyharts volverá a la Tierra una vez finalizada la misión del transbordador STS-123.

El lanzamiento de esta importante misión será transmitido en directo al Centro de Control del Columbus, en Oberpfaffenhofen (cerca de Munich), y a otros establecimientos de la ESA o ins-

espaciales nacionales, así como de la industria, estarán disponibles para entrevistas.

El lanzamiento y la misión en su totalidad pueden ser seguidos en la web, en www.esa.int/astrolab.

Fuente: ESA informaciones locales, diciembre 17 de 2007. <http://www.esa.int/esacp/Spain.html>

DESCUBIERTO EN COLOMBIA UN NUEVO GÉNERO DE SALTAMONTES

El hallazgo fue realizado por Mitzy Porras, estudiante de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, en la parte occidental de la sabana de Bogotá, específicamente, en el municipio cundinamarqués de Rosales.

En Colombia es muy poco lo que sabemos de la taxonomía y la biología del orden de los *ortópteros*: grillos, saltamontes y langostas. El proceso para “acreditar” al nuevo miembro de la familia de los saltamontes payaso (*Eumastacidae*) la llevó a realizar los análisis en laboratorio de los ejemplares descubiertos en los Rosales.

El estudio exigió el uso de un estereoscopio con micrómetro ocular y cámara clara para medir la longitud del fastigio (superficie dorsal de la cabeza anterior a los ojos), el pronoto o parte del



© COLECCIÓN MITZY PORRAS

tórax que se proyecta sobre las demás, así como el ancho de la cabeza, el largo de la antena, incluso el diámetro del ojo y la distancia interocular, entre otras medidas. Así, y tras la extracción del órgano copulador del saltamontes, y la eliminación del tejido graso que lo rodea en una solución de hidróxido de sodio, se pudo comprobar que las particularidades del *Zeromastax selenessi* –la nueva especie catalogada por la investigadora, perteneciente al género *Zeromasta*, que había sido descubierta en conjunto por Alba Ventos, docente de la Universidad de Guadalajara, y Porras– lo hacían único frente a las otras 40 especies registradas en Colombia. Cabe agregar que para el país, según ha informado la profesora Ventos, se han encontrado 14 géneros y 5 subfamilias de estos insectos con más de 20 mil especies registradas en el mundo.

Entre otras particularidades de la nueva especie, se cuenta la presencia de una compleja estructura genital formada por minúsculas piezas llamadas escleritos, antes denominadas penis, comunes a la gran mayoría de los saltamontes pero que en el *Zeromastax selenessi* presentan un componente adicional: el esclerito subepifálico, ubicado dentro del órgano copulador debajo del componente epifálico.

El ejemplar descubierta por la investigadora presentaba rasgos comunes a dos familias de saltamontes cercanas: la *Eumastacidae* y la *Episactidae*, pero no podría clasificarse como perteneciente a ninguna de las dos, dadas las diferencias físicas como el órgano copulador y el número de segmentos de las antenas hallados tras el estudio.

Con estos análisis, la investigadora procedió al dibujo detallado de la anatomía del *Zeromastax selenessi*.

una comunidad espacial

sensores remotos para obtener hoy
hacia el desarrollo sostenible

“P or una sociedad geoalfabetizada y empoderada” es el lema del lanzamiento de la Primera Comunidad Geoespacial Costarricense del Programa de Investigaciones Aerotransportadas (PRIAS) del Centro Nacional de Alta Tecnología (CENAT)¹, que se anunció al público en Costa Rica en noviembre de 2007.

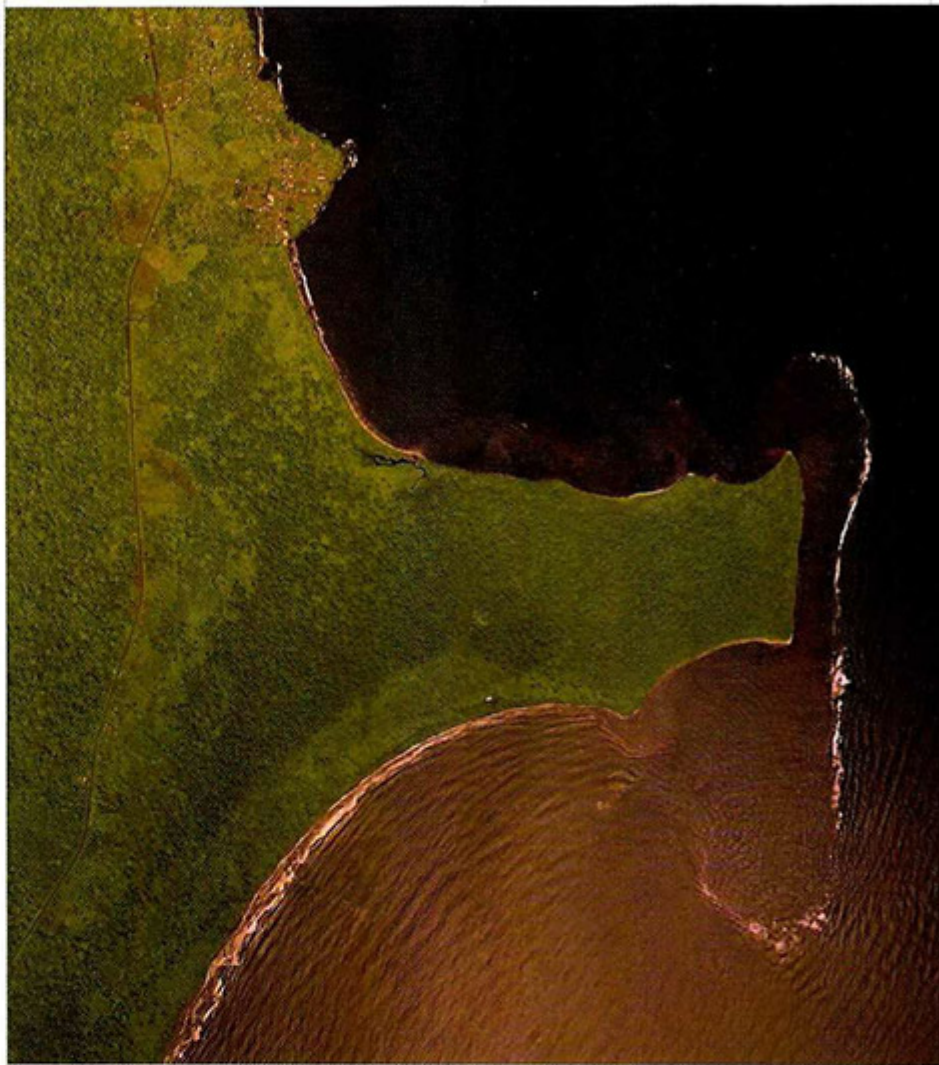
La iniciativa consiste en un portal web gratuito que provee servicios de geoaprendizaje, software libre, mapas digitales e imágenes aéreas, entre otros, por la vía del internet. El sitio permite distribuir geodatos sobre recursos naturales, ambiente, ciencias sociales y antropología a la comunidad interesada.

La página web (www.mapealo.com/costaricageodigital/contenido) opera como una alianza entre PRIAS-CENAT y la empresa Mapealo.com, y permite a los usuarios tener acceso a geodatos e información de Costa Rica sobre ambientes marinos, ecosistemas terrestres, imágenes satelitales de mediana y alta resolución y cartografía escala 1:25.000 y 1:200.000.

Los datos colocados en la CRGeo-digital pueden ser utilizados libremente por investigadores, finqueros, educadores, políticos y técnicos en municipalidades y en el gobierno central, así como por estudiantes y ciudadanos en el nivel comunal. El portal, además, provee mapas interactivos en línea, mapas estáticos o prediseñados y geodatos en diferentes formatos, con sus respectivos metadatos y datos generales, informes, fotos, videos y otras ayudas, sin una referencia espacial explícita.

1. El CENAT es una organización pública que reúne los esfuerzos en ciencia y tecnología de las cuatro universidades estatales costarricenses: Universidad de Costa Rica, Universidad Nacional, Instituto Tecnológico de Cartago y Universidad Estatal a Distancia. Su objetivo principal ha consistido en la unión de iniciativas y recursos del saber científico y tecnológico, con el fin de impulsar el

© CENAT



Arrecifes coralinos de Cahuita en la Costa Caribe de Costa Rica. Misión CARTA 2005, foto con cambio a falso color natural.

Sensores remotos y tecnología SIG

En la CRGeo-digital el público encontrará datos de actualidad extraídos en procesos técnicos donde el uso de sensores remotos y de los sistemas de información geográfica (SIG) toma un rol de punta, tanto en la obtención del dato como en su posterior actualización en el tiempo.

La Ciencia de los Sistemas de Información Geográfica (CISIG) es un área del conocimiento multidisciplinaria y transdisciplinaria que integra a los SIG con otras tecnologías geoespaciales, como Sensores Remotos, Procesamiento de imágenes, y con los Sistemas de Posicionamiento Global Satelital (GPS

permite, con alta precisión, la ubicación geográfica de un sitio específico en la superficie terrestre.

Los SIG, entonces, son sistemas automatizados que permiten crear, almacenar, recuperar, editar, analizar y visualizar bases de datos georreferenciados. Gran parte de estos datos proviene actualmente del uso de sensores remotos: sistemas que permiten medir, registrar y procesar energía electromagnética reflejada y/o emitida por la superficie terrestre. Ejemplo de estos sensores son las cámaras fotográficas comunes.

Otros ejemplos de sensores remotos, pero con tecnología de avanzada, son el SAR (Synthetic Aperture Radar) y el LIDAR (Light Detection and Ranging), equipos diseñados para aplicaciones

registra los impulsos de un mismo punto de la superficie terrestre en dos momentos distintos de la trayectoria, con lo que la resolución es equivalente a la que se obtendría con una antena de similar longitud a la distancia existente entre ambos puntos. El LIDAR es otro sensor activo, que trabaja con luz polarizada o láser. Emite pulsos de luz polarizada entre el ultravioleta y el infrarrojo cercano que rebotan sobre la superficie y generan perfiles topográficos del bosque.

El quehacer del PRIAS-CENAT (<http://opes.conare.ac.cr/prias>) está enmarcado en la industria geoespacial, la cual adquiere, integra, gestiona, analiza, mapea, distribuye y utiliza datos, información y conocimiento geográfico, a diferentes escalas temporales y espaciales, a través de la investigación básica y aplicada, el desarrollo de tecnología, la educación y la toma de decisiones de individuos y organizaciones.

Por lo anterior, este programa ha realizado dos misiones científicas de gran envergadura, denominadas CARTA (Costa Rica Airborne Research and Technology Applications, 2003 y 2005), realizadas en conjunto con la NASA (National Aeronautics and Space Administration) de EE. UU., con las cuales se obtuvo más del 80% de imágenes aéreas del territorio costarricense, en alta resolución, que sirven de insumo para investigaciones científicas en áreas como prevención de desastres, planificación urbana, estudio de ecosistemas, clasificaciones de bosques, cambio en uso del suelo, investigaciones sobre cuencas hidrográficas y modelaje de erupciones, entre otras.

Estación CORS en Costa Rica

Para perfeccionar todavía más los resultados de los GPS, el CENAT logró en 2007 un convenio con la empresa Cognocarta

Costa Rica, el cual permitió colocar, en las instalaciones del Centro, una Estación de Referencia de Operación Continua en Costa Rica (CORS, por su sigla en inglés, de Continuum Operation Reference Station), equipo que calcula con alta precisión la posición geográfica de un punto predeterminado.

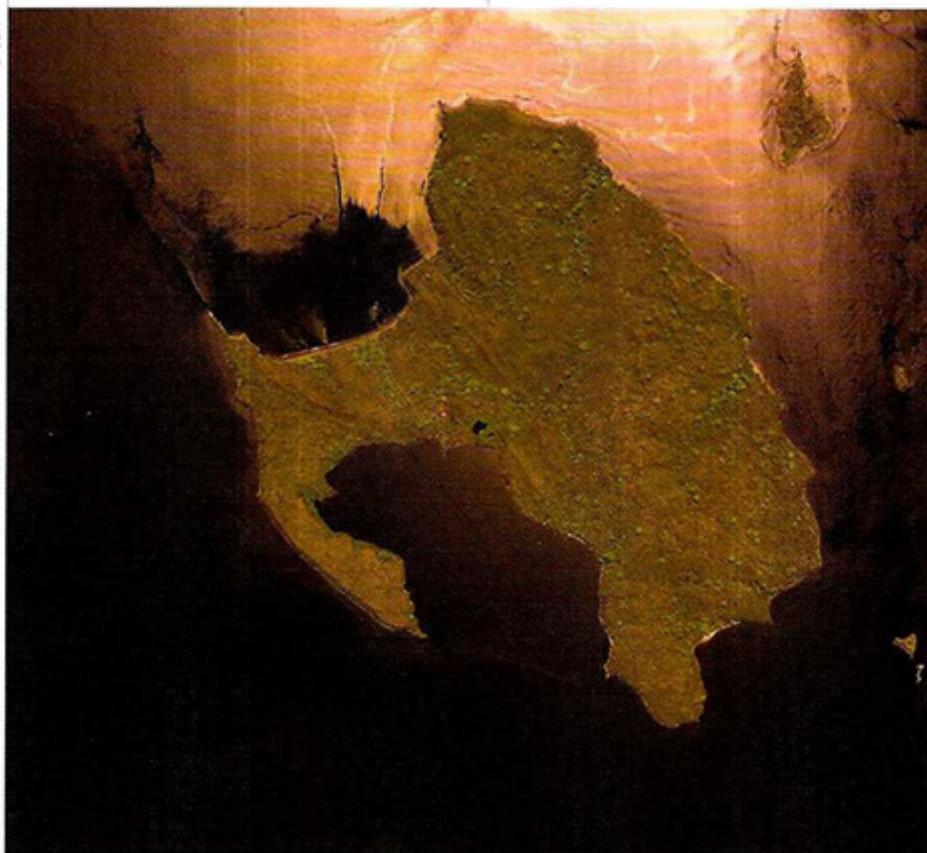
La CORS es una estación de referencia del GPS que opera las 24 horas y está enlazada a una red mundial, a cargo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de EE. UU. Esta red engloba receptores que operan en EE. UU., México, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Islas Caimán, Bermudas, Alaska, Hawaii, Puerto Rico, Samoa, Islas Marshall, Guam, Irak y Brasil.

Según el ingeniero Carlomagno Soto, coordinador del Laboratorio de Imágenes del PRIAS-CENAT, este instrumento se utiliza para mejorar la precisión de datos tomados en el campo con GPS, ya sean recorridos o puntos fijos, y la corrección se podría dar en tiempo real y con un nivel de exactitud de decímetros o centímetros. Esta tecnología es de utilidad para topógrafos (mejora de la medición de terrenos), ingenieros forestales (ubicación y medición de los tamaños de bosques) y geógrafos (creación de cartografía más precisa), como ejemplos concretos, entre otros.

El servicio se da gratuitamente a través de una página de internet, <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Sites/crc.html>, por la cual el usuario puede acceder a la actualización de datos desde cualquier lugar del mundo. Los datos procesados mediante este sistema deben ser ingresados en un GPS con capacidad de corrección diferencial.

La instalación del programa CORS ubica a Costa Rica en el mapa mundial de países con una estación certificada por el Sistema Geodésico Nacional (NGS) de Estados Unidos, lo cual es una muestra de la capacidad tecnológi-

© CENAT



Isla San Lucas en el golfo de Nicoya, Costa Pacífica de Costa Rica.

El geoaprendizaje para el futuro.....

Para este año, el PRIAS-CENAT implementó el proyecto "GeoAlfabetización 2007", el cual llevaba charlas sobre sensores remotos a centros educativos en todo el país y, a la vez, lograba que el alumno y el científico interactuaran en torno a la exposición de imágenes aéreas y mapas 3D que se incluía en las giras. Las fotografías exponen vistas de sitios del territorio nacional, con sus respectivas leyendas, que aportan historia, localización, clima y otros rasgos particulares de las zonas seleccionadas.

En la GeoAlfabetización se introduce además un juego educativo llamado "Costa Rica-GeoTrivia", que busca dar conceptos generales de geografía, cartografía y sensores remotos utilizando mapas topográficos para visualización tridimensional. La GeoTrivia se basa en la selección de pequeñas imágenes aéreas de algunas zonas del país, a las que se les coloca una leyenda que da características generales del sitio, pero sin entrar en detalles sobre la ubicación geográfica, ya que ésta debe ser encontrada y señalizada en el mapa 3D por el participante. Como incentivo, a los jugadores que acertaban se les entregaba un "premio" del Programa.

El PRIAS espera continuar rotando la GeoAlfabetización durante 2008, en comunidades urbanas y rurales de Costa Rica, de forma que sus habitantes, especialmente estudiantes, puedan aprender sobre la geografía de su país de una forma amena, visual y diferente.

Gracias al esfuerzo y a sus áreas de investigación científica, el CENAT se ha convertido en un referente importante en Costa Rica, por su labor de investigación y producción de insumos, con base en sensores remotos, en tecnologías de la comunicación (TIC), en gestión ambiental y en nanotecnología.



FUNDACIÓN
ALEJANDRO ÁNGEL ESCOBAR

La Fundación Alejandro Ángel Escobar anuncia la apertura de inscripciones para sus concursos de Ciencias y Solidaridad, a partir del 15 de enero de 2008 y hasta el 31 de marzo del mismo año.

Tres premios en el área de Ciencias:
Ciencias Exactas, físicas y naturales.
Ciencias sociales y humanas.
Medio ambiente y desarrollo sostenible.

Dos premios en Solidaridad

notas breves

Vacuna del cáncer de cuello uterino en Colombia

Andrea Díaz Cardona
NOTICyT, Bogotá, Colombia
noticyt.acpc@urosario.edu.co

Cada año se encuentran en el mundo alrededor de 500.000 casos nuevos de cáncer de cuello uterino. En Colombia, de acuerdo con el Instituto Nacional de Cancerología, esta enfermedad es diagnosticada cada año a 6.815 mujeres y causa alrededor de 3.300 muertes anualmente. En la actualidad está a la venta la vacuna que previene este tipo de cáncer, y Colombia, representada en varios institutos y universidades, hizo parte del estudio que comprobó su efectividad.

Con el propósito de evaluar la efectividad de la vacuna, se adelantó una investigación en la que se empleó una muestra de 20.000 mujeres en 13 países del mundo, arrojando como resultado una efectividad cercana al 100% en la prevención del cáncer de cuello del útero causado por 4 tipos del Virus del Papiloma Humano (*Human Papilloma Virus- HPV*).

Los centros colombianos que participaron en la labor investigativa aportaron el estudio de 1.500 pacientes aproximadamente. Por su parte, la línea de investigación en salud sexual y reproductiva del Grupo de Investigación Clínica de la Universidad del Rosario tuvo a su cargo 208 pacientes.

“Las mujeres fueron seguidas clínicamente después de que recibieron la vacuna o el placebo, se les hicieron citologías, pruebas de ADN, exámenes de laboratorio complementarios, y fueron observadas y evaluadas clínicamente durante cuatro años. De las 208 mujeres, 206 terminaron el estudio”, explicó la médica Ángela María Ruiz, investigadora principal.

La enfermedad.....

El virus HPV causante del cáncer de cuello del útero se transmite sexualmente, y tanto hombres como mujeres pueden

“Hombres y mujeres a lo largo de su vida adulta tienen una probabilidad superior al 50% de adquirir el virus HPV. Esto hace que no sea posible considerar que hay unos grupos poblacionales particularmente en peligro de sufrir la enfermedad, todos somos igual de vulnerables. El riesgo inicia cuando empieza la vida sexual. No hay que desconocer estudios epidemiológicos donde se ha encontrado que a mayor número de compañeros sexuales y a menor edad de inicio de la vida sexual, hay mayor riesgo”, aseguró el médico Jaime Enrique Ruiz, director del Grupo de Investigación Clínica.

Existen alrededor de 30 tipos de virus HPV que pueden infectar a las personas. Algunos de esos virus tienen una alta posibilidad de producir lesiones precancerosas o cancerosas, mientras que otros no. De acuerdo con el investigador Ruiz, la vacuna está dirigida a prevenir cuatro tipos del virus: el 6 y 11, que son causantes del 90 al 95% de los casos de *condilomatosis (verrugas genitales)* en el mundo entero, y los tipos 16 y 18, que causan entre el 65% y el 70% de los casos de cáncer de cuello del útero. Es

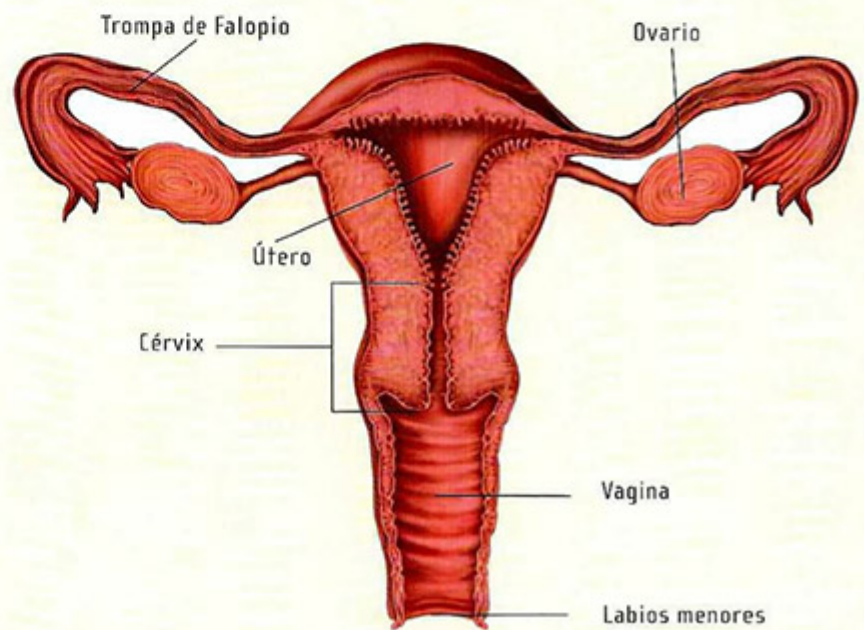
decir que si toda la población susceptible recibe la vacuna, se podrían esperar reducciones en la frecuencia de cáncer cercanas al 60 o 70%.

Aunque no se puede hablar de una prevención del 100% porque la vacuna no previene todos los tipos del virus, “una reducción de esta magnitud en una enfermedad tan prevalente y frecuente como este tipo de cáncer constituiría uno de los mayores avances en salud pública en el último medio siglo en todo el mundo”, agregó Jaime Enrique Ruiz.

¿Cómo adquirir la vacuna?.....

El desarrollo de un medicamento, y específicamente, de una vacuna, debe seguir una serie de normas mundiales. Existen agencias regulatorias, que son las encargadas de certificar que el desarrollo del medicamento, la vacuna en este caso, cumpla con todos los estándares desde el punto de vista ético y científico. En Estados Unidos el ente regulatorio es la Food and Drug Administration (FDA), y en el caso colombiano, esta función la cumple el INVIMA.

Aparato reproductor femenino



La compañía farmacéutica Merck Sharp & Dohme tiene la patente de la vacuna en el país y la puso a la venta a principios de este año con el aval del INVIMA. Según el médico Ruiz, la vacuna aún no ha sido incluida en el plan de vacunación obligatorio del país, que es el Plan Ampliado de Inmunizaciones (PAI), y por esto se debe adquirir de manera particular. El costo oscila entre

ción estudiada y por eso se sugieren estos rangos de edad. No obstante, ya están en curso otras investigaciones que buscan ampliar el rango de edad, y sus resultados serán publicados próximamente.

“En Bogotá la vacuna se aplica en varias partes. La Liga Contra el Cáncer está en proceso de adquisición de la tecnología, se están haciendo todas las

Héctor Posso, director científico de la Liga Contra el Cáncer, Seccional Bogotá.

De acuerdo con la investigadora Ángela Ruiz, en este momento hay diferentes grupos trabajando de manera juiciosa en la posibilidad de lograr que esta vacuna sea asequible para toda la población. Las agencias gubernamentales, ONG, grupos privados, y los investigadores que han trabajado en la vacuna, también han participado en la difusión de la información para que llegue a la mayor cantidad de personas posible. Es probable, como ya ocurrió en otros países, que la vacuna esté al alcance de todos.

La recomendación médica resalta que es importante que quienes tienen la posibilidad de vacunarse lo hagan, pero que no olviden la prevención secundaria de la enfermedad, como revisiones periódicas, citología y exámenes anuales con el ginecólogo. Tampoco se excluyen las recomendaciones sobre sexo seguro y la utilización del condón, que disminuyen no solamente esta enfermedad sino todas las de transmisión sexual.

En Colombia, a cerca de 6.815 mujeres se les diagnostica cada año cáncer de cuello uterino.

\$340.000 a \$360.000 por dosis, y se aplica en tres dosis.

La especificación con la que fue aprobada por las agencias regulatorias mundiales y locales, es que se aplique a mujeres entre los 9 y 26 años y a hombres entre los 9 y 17 años. Eso no quiere decir que, eventualmente, por fuera de estas edades la vacuna no pueda ser útil, se habla únicamente de la pobla-

adecuaciones y se está negociando para poder tener el mejor precio. Desafortunadamente, la vacuna se va a demorar algún tiempo en tener un impacto poblacional, debido al costo, pues sólo aquellas personas que pueden pagar el precio actual pueden adquirirla. La idea es que a futuro la vacuna, dada su efectividad, pueda ser ofrecida a la totalidad del núcleo de mujeres que la necesita”, expresó



notas breves

Modelos matemáticos en economía de la salud



Diego Andrés Rosselli

Editor científico revista *Innovación
y Ciencia*

diego.rosselli@gmail.com

Si en algo se manifiestan en nuestro día a día todas las leyes del caos y la complejidad es en ese sutil umbral que separa la salud de la enfermedad. ¿Por qué justo a nosotros nos corresponde éste o aquel mal en particular?

El mundo, visto desde la perspectiva individual, está tan lleno de incertidumbres como de páginas un tratado de patología. Contemplado, en cambio, desde un punto de vista de poblaciones, la percepción es bastante diferente. Los epidemiólogos, salubristas y bioestadísticos han logrado obtener, del proceso salud-enfermedad, una fotografía bastante más nítida, más asequible a las leyes matemáticas.

Hoy son muchos los sistemas de información que, aunque cumplan una función diferente, apoyan con su información a los sistemas de salud. Así, las bases de datos de enfermos y enfermedades se pueden cruzar con las de información ambiental, o éstas con las que mantienen los financistas y los contadores, por ejemplo.

El primer gran problema de la avalancha actual de información es su misma magnitud. Para que estos datos sirvan para la toma de decisiones en salud, se requiere dedicar una importante infraestructura de sistemas de cómputo

diseñada para encontrar patrones en esta maraña de información.

Las aplicaciones sanitarias de un macrosistema de información son enormes; se podrá racionalizar mucho más la distribución de los recursos, al tiempo que se podrán, de alguna manera, predecir los resultados de una intervención analizando los patrones del pasado y modelándolos en el futuro. Ya hoy, y a partir de información con alguna frecuencia incompleta o imprecisa, se han empleado modelos matemáticos computacionales para predecir los desenlaces finales de muchas intervenciones en salud.

Un ejemplo de esos modelos matemáticos es el Arquímedes, bautizado así por sus creadores David Eddy y Leonard Schlessinger, en California. Este programa de computador está diseñado para modelar sujetos y poblaciones con diabetes, y ha logrado predecir la magnitud precisa de reducción de los valores de glicemia cuando se introduce un programa de cambio en el estilo de vida, o cuántos infartos de miocardio se evitan con un control medicamentoso de los niveles de colesterol. Este programa ha sido alimentado con bases de datos de muchos millones de pacientes/año, recolectados en centenares de estudios clínicos, en su mayoría norteamericanos.

La confianza en su modelo es tal que Eddy y Schlessinger se atrevieron a retar a varios grupos de investigadores clínicos, tanto americanos como británicos, para demostrarles que su programa Arquímedes era capaz de prever los resultados de sus respectivos estudios mucho antes de que salieran los resultados de las respectivas investigaciones. En un artículo publicado en la acreditada revista *Annals of Internal Medicine*, se presentan los resultados tanto de lo que el software predijo como de lo que encontraron en los cuatro estudios. Los parecidos son sorprendentes.

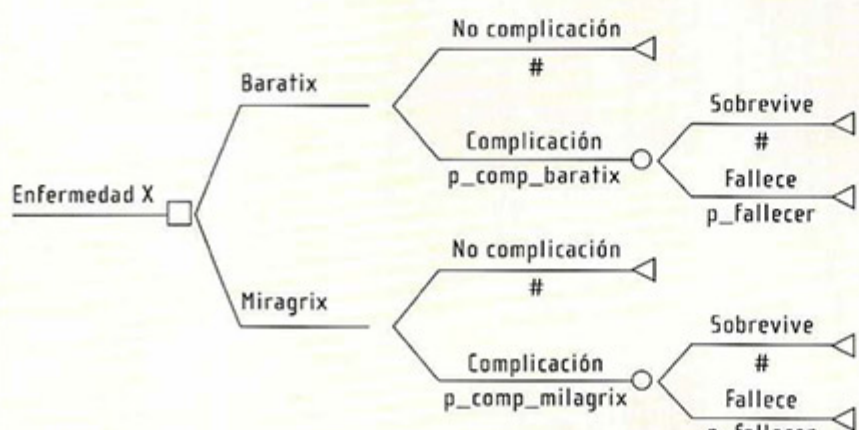
Claro, hay varias diferencias importantes entre los estudios clínicos y los modelos matemáticos. Los estudios clínicos multicéntricos, aleatorizados y controlados cuestan desde millones hasta cientos de millones de dólares y tardan años en arrojar resultados. De otro lado, las simulaciones cuestan por lo general unos pocos miles de dólares y sólo toman meses en mostrar resultados.

Al modelar la diabetes, Arquímedes ha incorporado variables consideradas como claros factores de riesgo en muchas otras enfermedades y condiciones, como obesidad, sedentarismo, trastornos de los lípidos (colesterol y triglicéridos), hipertensión o tabaquismo, como ejemplos. El papel crucial de la "adherencia" a las recomendaciones médicas y a los tratamientos se ha resaltado en todas las condiciones estudiadas.

Es curioso que la convergencia de los diferentes sistemas de información coincida con esa otra convergencia, la de tantas enfermedades de alta prevalencia reunidas alrededor de un mismo eje causal: el estilo de vida de la gente.

Sí, la globalización va mucho más allá de las maquilas y de la internacionalización de las marcas. Ahora, con mayor razón, todo tiene que ver con todo. Las decisiones políticas tomadas (o dejadas de tomar) en Bali, o el precio

Figura 1. Árbol de decisiones para una enfermedad X



las inundaciones en el subcontinente asiático tienen ahora más relevancia en el campo colombiano que nunca antes. Y en todos esos casos la simulación puede traer valiosos aportes.

Hay algunos modelos matemáticos relativamente sencillos, que no requieren software especializado. Con un programa de Excel, mi equipo de trabajo y yo hicimos una simulación para comparar diferentes estrategias de higiene de las manos en los hospitales. Gracias a estudios internacionales, se sabe en cuánto se puede reducir la tasa de infecciones hospitalarias en unidades de cuidado intensivo al mejorar la higiene de manos del personal. Se puede, también, estimar el costo actual de la higiene de manos del personal hospitalario, así como el incremento del gasto que se vería al implantar nuevos programas, empleando nuevos productos. En una sencilla hoja de cálculo se puede estimar el ahorro institucional que se obtendría al reducir las infecciones, una de las más serias y más costosas de las complicaciones atribuibles al cuidado médico.

Para modelos más complejos se utilizan los árboles de decisiones. La figura 1 muestra el árbol de decisiones de una hipotética enfermedad X, que se puede tratar con dos medicamentos que difieren tanto en precio como en efectividad: el Baratix y el Milagrix. Si, a partir de la literatura médica internacional o de la experiencia local documentada, conocemos la frecuencia de las complicaciones de cada uno de los tratamientos, y si podemos, a su vez, estimar los costos de la atención de estos pacientes (costos de medicamentos, exámenes de laboratorio, consultas e intervenciones, así como costos de las complicaciones), el programa predice el gasto en salud de ambos grupos de pacientes.

En el ejemplo anterior se han modelado tan sólo los costos de las dos intervenciones, pero los programas de



árboles de decisiones pueden incorporar otros indicadores, como los de calidad de vida.

Un grado mayor de complejidad adquieren los modelos llamados de Markov, bautizados así en homenaje al matemático ruso Andrei Andreyevich Markov (1856-1922). Con los modelos de Markov se pueden simular condiciones mucho más complejas, y con horizontes de tiempo más prolongados. En la actualidad, por ejemplo, mi equipo y yo estamos trabajando en un modelo computacional de la enfermedad renal que,

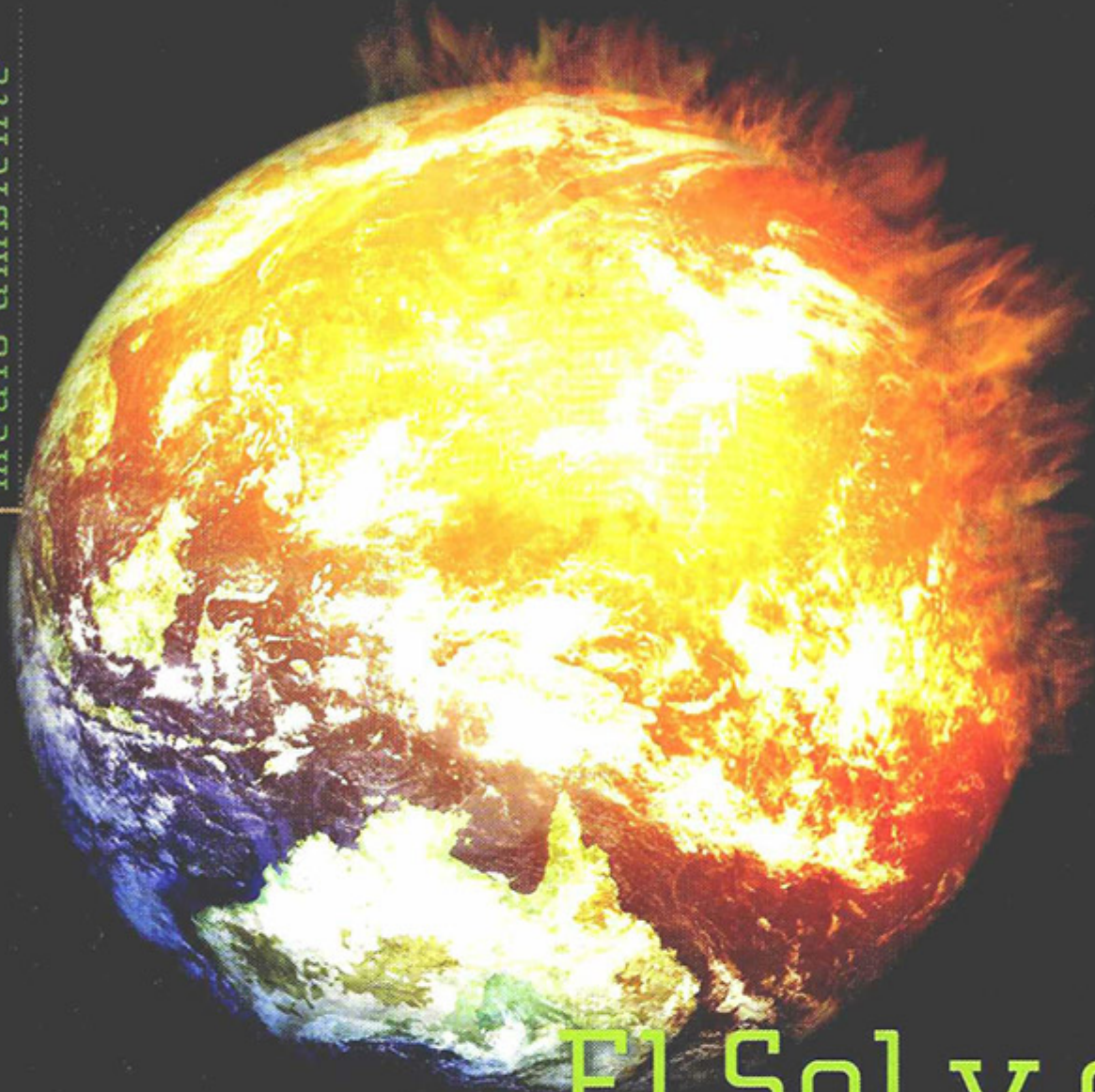
económicas y de calidad de vida del paciente.

La capacidad de los modelos computacionales para predecir el futuro es, y quizás lo será siempre, imperfecta. Pero de una manera relativamente económica y rápida, sin necesidad de experimentos humanos o animales, se trabaja a un mismo tiempo en diferentes escenarios teóricos, que pueden ir desde el más acendrado pesimismo hasta el más improbable de los optimismos. Una vez alimentado el modelo (y ningún modelo es mejor que los datos que lo

Hoy son muchos los sistemas de información que apoyan a los de salud.

esperamos, permitirá predecir qué tanto ahorro en dinero y en calidad de vida implicarían unos programas hipotéticos dirigidos a pacientes con lesión renal leve y moderada atribuible a diabetes o a hipertensión arterial, para retardar su curso hacia la enfermedad renal terminal, con todas sus implicaciones

conforman), en cuestión de segundos transcurren las vidas enteras de grandes grupos de sujetos. Y al modificar una a una –o en combinación– las variables principales, podemos observar cómo cambiamos el destino y el pronóstico de esta población, así como los costos sociales de su salud-enfermedad.



El Sol y el cambio climático

¿Es incontrovertible la idea de
un calentamiento global antropogénico?

Jorge Iván Zuluaga

Doctor en Física de la Universidad de Antioquia. Director del Grupo de Física y Astrofísica Computacional del Instituto de Física en la misma Universidad y director del Centro Regional de Simulación y Cálculo Avanzado (CRESCA).

Medellín, Antioquia- Colombia

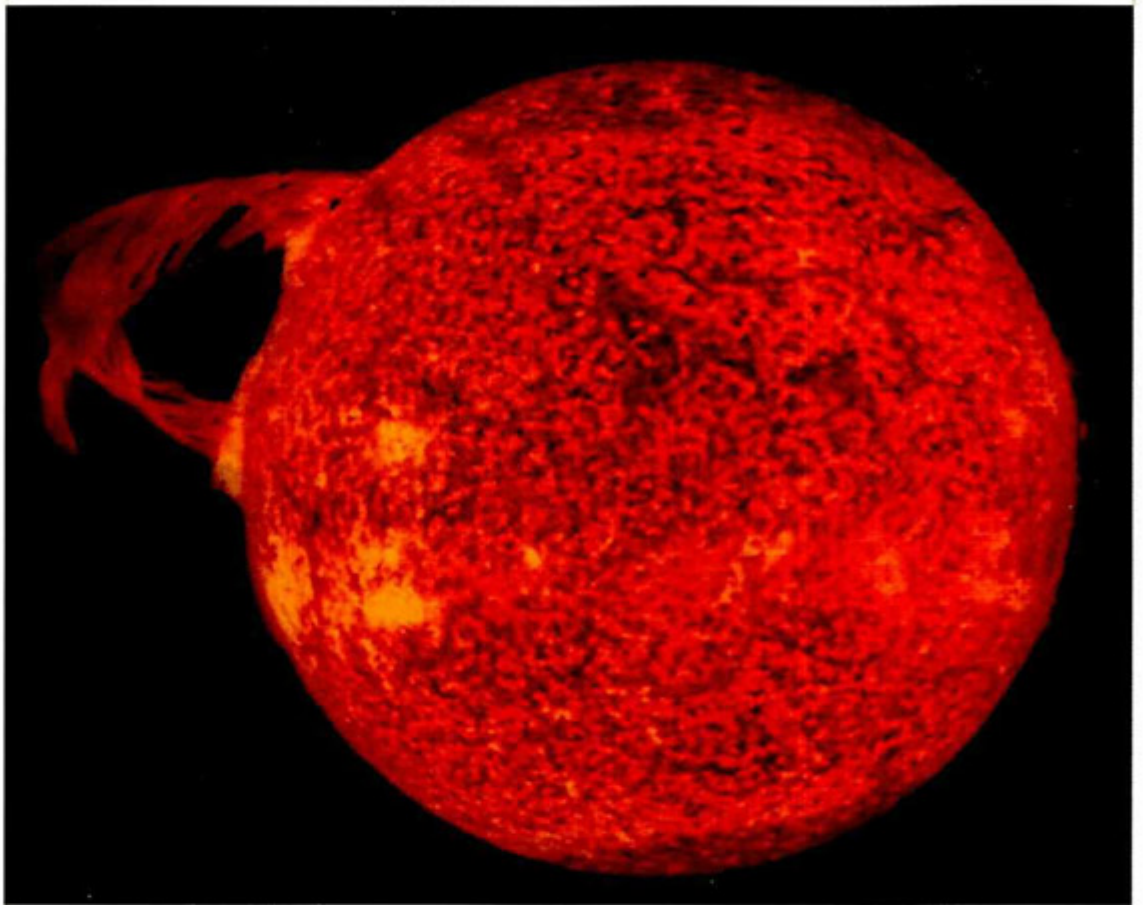
jorge.zuluaga@siu.udea.edu.co

El clima de nuestro planeta viene sufriendo en siglos recientes un cambio global sistemático que lo ha conducido y conducirá lentamente hacia una condición de temperaturas medias superiores año tras año, década tras década[1]. Los efectos de este cambio, que por su condición se ha dado en llamar *calentamiento global*, son cada vez más evidentes y, en algunos casos, terriblemente notorios. Las expectativas frente al proceso no son para nada alentadoras, y van desde quienes estiman un aumento moderado de la temperatura en los próximos 50 años hasta quienes encuentran desmesuradas diferencias que podrían modificar radicalmente los ciclos naturales de circulación de calor y materia en la atmósfera y el océano, el tamaño de los casquetes polares, con la consecuente modificación de los niveles de mares y océanos alrededor del globo. Como siempre (aunque a veces se preste demasiada atención a todas las demás especies), los más damnificados seremos los seres humanos. Con una población creciente y sedienta de recursos frescos, que puebla a ritmos desmesurados las costas de continentes e islas, y una sociedad tecnológica y económica altamente sensible a eventos naturales extremos, la calidad de vida de la especie humana, en los peores escenarios, podría ser deteriorada de forma importante respecto al aparente pico de bienestar que vive una buena porción de los seres humanos recién comenzado el siglo XXI. En los mejores escenarios, las predicciones no son tampoco muy alentadoras pero la sociedad aún podría adaptarse y soportar algunas inclemencias extremas en el proceso, tal y como parece haberlo hecho en el pasado[2].

La pregunta que nos hemos venido haciendo desde que esta tendencia se puso abiertamente en evidencia es cuál es la causa principal de este cambio climático. Según la más difundida de las interpretaciones de los datos disponibles (y también la que se nos ha hecho creer a toda costa), por fin hemos logrado dilucidar la que podría ser la respuesta definitiva. Después de analizar concienzudamente la más diversa evidencia disponible en la literatura científica, un grupo de reconocidos científicos de todo el mundo, convocados por las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial a finales de los años ochenta, bajo la denominación de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ha publicado recientemente la conclusión definitiva de su tarea de compilación y análisis. El resultado es contundente: el hombre y su actividad industrial y tecnológica son el motor principal del calentamiento global. Según el completo (y, en algunos apartes, complejo) informe del IPCC, cerca de una decena de factores físicos determinan las variaciones en las entradas de calor al sistema climático global; aquellos que producen un aumento en la temperatura priman sobre los que producen el efecto contrario; entre los primeros, el más sobresaliente por encima de todos es el aumento paulatino de gases de invernadero, especialmente dióxido de carbono, CO₂, con origen en la actividad humana (fundamentalmente, el consumo de combustibles fósiles). Ésta es ahora la hipótesis central de lo que llamaré en lo sucesivo la *Teoría del Calentamiento Global Antropogénico*. De esta importante conclusión se deriva una aún más importante. Teniendo bajo nuestro control el factor determinante del cambio climático, los mismos seres humanos podríamos detener o al menos reducir su incontrolable avance. La recomendación es simple: es necesario reducir la emisión de gases de invernadero producto principalmente del consumo de combustibles fósiles.

Los párrafos anteriores parecen una simple variación sobre un tema repetido una y otra vez en los más diversos medios de comunicación. ¿Cuál es la novedad, entonces? Este artículo pretende invitarlos a detenerse un momento a considerar y revisar críticamente lo que a todas luces se da por sentado cuando se repiten las conclusiones altamente publicitadas del IPCC. Éste (el ejercicio de la duda), que es una práctica bastante aceptada e incluso promovida en la historia de la ciencia, parece ser muy pocas veces aplicado en el caso del calentamiento global o por lo menos así parece en el caso de quienes son responsables de divulgar la teoría promovida por el IPCC en los medios masivos de información.

Sabemos que para prevenir el calentamiento global es necesario reducir la emisión de gases.



respuesta que encontraremos es un clarísimo no. Y es sorprendente porque el tema del calentamiento global antropogénico se ha vuelto casi un “dogma ambientalista”, parte ya del “sentido común ilustrado” del gran público, un conocimiento sobre el que se sientan muy pocas dudas. Es necesario admitir y divulgar abiertamente que la valoración de la evidencia que hace el IPCC sobre el caso del cambio climático no es la única posible. Esto era de esperarse naturalmente en el mundo de la Ciencia. En ese caso, las conclusiones que se derivan de otras valoraciones no coinciden con las del IPCC pero esto no es tampoco nada extraño, aunque sí resulta diferente el casi absoluto desconocimiento del público en general de otras hipótesis rivales, de otras interpretaciones alternativas que, aunque menos espectaculares (y a veces tachadas de ser promovidas por oscuros intereses económicos), gozan a su vez de evidencia y de un peso científico todavía innegable. Es cierto que el consumo (o, más bien, el abuso) que los seres humanos hacemos de los recursos medioambientales y energéticos va en detrimento de las condiciones positivas de los más básicos recursos como el agua potable y el aire para respirar. También es cierto que es necesario tomar medidas para limitar este abuso. Pero la ciencia y su respetado método no pueden doblegarse a ningún interés político ni finalidad ambientalista, por loable que ella sea. La ciencia del calentamiento global, aquella que debe responder con certeza a la pregunta de la causa principal del calentamiento global, dada la evidencia disponible, debe regirse por las mismas reglas que cualquier otra forma de quehacer científico, así en este caso los intereses en juego sean de enorme importancia para nuestra especie y las otras con las que convivimos. En esa ciencia una sola pieza de evidencia, una “nubecilla oscura en el horizonte” de una interpretación o explicación de los hechos, es suficiente para obligarnos a indagar más sobre la verdad de esa interpretación.

El Sol es precisamente una de esas nubecillas oscuras que ennegrece una diminuta esquina del voluminoso aparato informativo del que goza la teoría del IPCC. ¿Paradójico, no? ¿Acaso se han preguntado ustedes cuál es el papel que los científicos medioambientales, climatólogos, oceanógrafos o el equipo multidisciplinario del IPCC le asignan al Sol en todo el caso del calentamiento global? Tal vez sí, y quizá la respuesta coincida con la que está contenida en el informe del IPCC: si bien el Sol es el

con la que tienen efectos endógenos al planeta, incluyendo los efectos antropogénicos que dominan la ecuación [3].

Pero el Sol y sus cambios de humor, como sostiene un grupo de científicos notables por fuera de la corriente principal, han sido subestimados sistemáticamente. Esta subestimación podría no ser producto de ninguna intencionalidad y, más bien, resultaría del hecho de que todavía desconocemos muchísimo la manera directa o indirecta como el humor variable del Sol impactaría el clima. En el marco de esas otras interpretaciones, el Sol sería incluso el causante principal del calentamiento global, y las medidas adoptadas por las recomendaciones del IPCC podrían no ser suficientes para evitar lo inevitable e, incluso, ni siquiera para apaciguarlo [4].

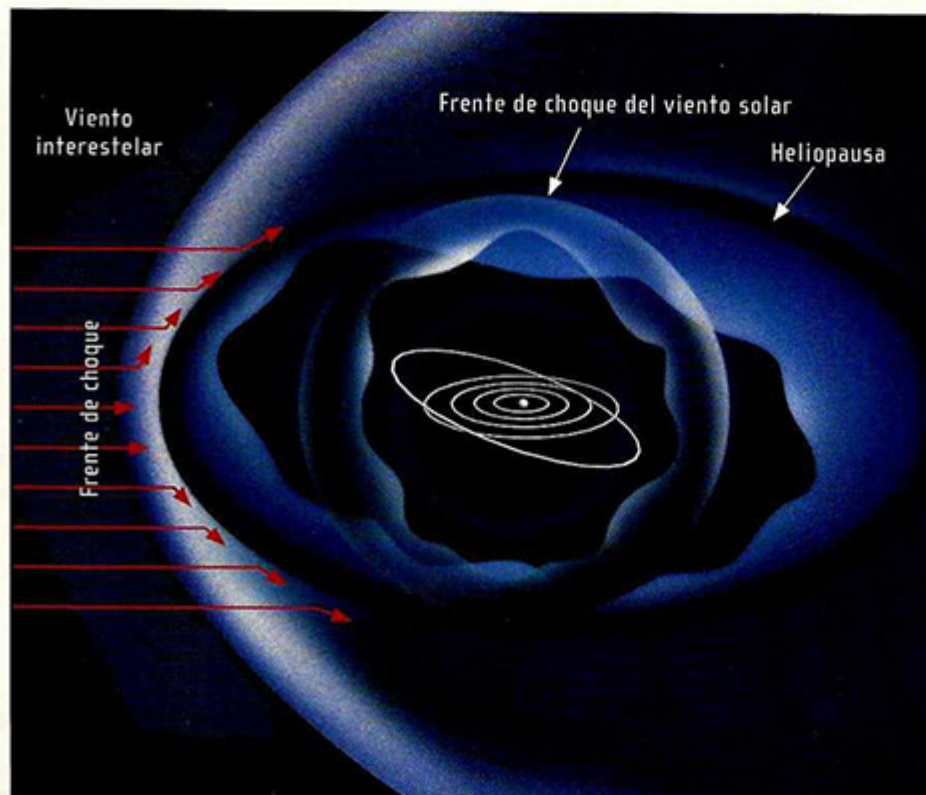
El Sol, una inmensa regadera de energía

El Sol puede ser descrito en muy pocas palabras como una inmensa "regadera" de energía alimentada por reacciones de fusión nuclear. Nuestra estrella entrega continuamente al espacio interplanetario una brutal cantidad de energía en la forma de todos los tipos de luz. Si pudiéramos reunir durante un segundo toda la energía en forma de radiación emanada por el Sol en todas las direcciones, la especie humana podría suplir sus necesidades energéticas totales por los siguientes 1.200 años [5].

De la atmósfera superior de nuestra estrella se desprenden en promedio más de 1 millón de toneladas métricas por segundo [6] en la forma de partículas eléctricamente cargadas (electrones, protones, núcleos de helio y otros núcleos atómicos.) Estas partículas, que forman lo que se conoce como el viento solar, transportan los campos magnéticos producidos por nuestra estrella a través y más allá del comparativamente pequeño vecindario de los planetas. Podría decirse, entonces, que el Sol ocupa todo el sistema solar y que estamos sumergidos del todo en la radiación y materia emanadas por él.

De toda la radiación emitida por el Sol, la Tierra recibe una pequeña fracción que, sin embargo, es la materia prima energética de casi todos los procesos que se producen en la superficie y atmósfera

Figura 1. Representación artística de la heliosfera



de nuestro planeta. Desde la energía que mueve las olas en el mar hasta la que le permite a una vaca pastar en una pradera, prácticamente toda la dotación energética presente en la superficie y atmósfera de nuestro planeta proviene, en última instancia, del Sol.

El Sol sobre la Tierra

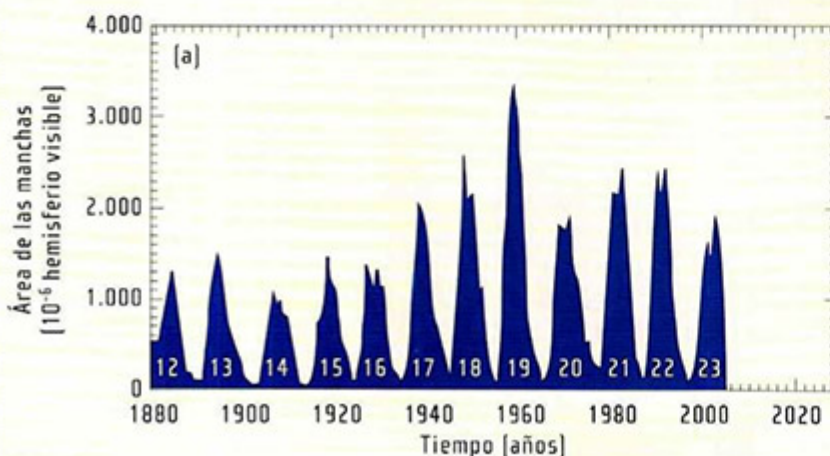
En promedio, a la Tierra llegan procedentes del Sol 1.367 vatios de energía radiante por cada metro cuadrado que apunta directamente hacia él [7]. Ésta es una importante cifra, a la que se ha denominado la *constante solar* (un nombre desafortunado, en la medida en que este número oscila sutilmente, como se explica más adelante). La constante solar mide una cantidad fundamental conocida como la *irradiación solar*.

En condiciones normales, por cada 100 vatios de luz provenientes del Sol, algo menos de la mitad (unos 45 vatios) se manifiesta en la forma de luz visible y luz infrarroja, que alcanzan la superficie del planeta y la calientan directamente (ese calor ganado por la superficie es devuelto posteriormente a la atmósfera a través de distintos procesos, donde es absorbido por gases de invernadero.) Cerca de 21 vatios de luz visible son reflejados por las nubes que cubren el planeta (casi 1/5 de la luz que nos llega del Sol se devuelve completamente por efecto de la cobertura de las nubes) y unos 10 vatios son reflejados directamente por la superficie o dispersados hacia afuera por los gases atmosféricos (el color azul del cielo viene precisamente de esa luz que, en su gran mayoría, se dispersa de vuelta al espacio). Una parte del total (3 de 100 vatios) llega del Sol en la forma de luz ultravioleta, que es absorbida en la parte media de la atmósfera alimentando un complejo ciclo químico que crea y destruye moléculas de ozono, formando en el proceso una capa protectora contra esta forma de luz, muy nociva para la vida en la superficie. Los 21 vatios restantes, en la forma principalmente de luz visible e infrarroja, son absorbidos directamente por los gases atmosféricos, antes siquiera de alcanzar la superficie. En síntesis, por cada 100 preciosos vatios en forma de radiación que llegan del Sol, unos 70 van a parar finalmente al sistema de la atmósfera y crean prácticamente toda la dinámica de nuestro clima. Por lo menos, ésta es la situación en condiciones medias de irradiación solar y cobertura de nubes.

De otro lado, el viento solar que fluye alrededor de nuestro planeta no tiene un efecto directo sobre él. Estando la Tierra dotada de un campo magnético comparativamente intenso y extenso, las partículas cargadas que forman este fluido invisible son desviadas por ese mismo campo y no alcanzan a golpear la atmósfera ni la superficie del planeta. Sin embargo, las propiedades electromagnéticas del viento solar deforman el campo magnético de la Tierra y lo dotan de una estructura asimétrica (comprimida en la cara que da al Sol y extendida en la cara opuesta). Pero más allá de "alargar" la magnetosfera terrestre, el viento solar poco o nada determina directamente los fenómenos que se suceden en la atmósfera o en

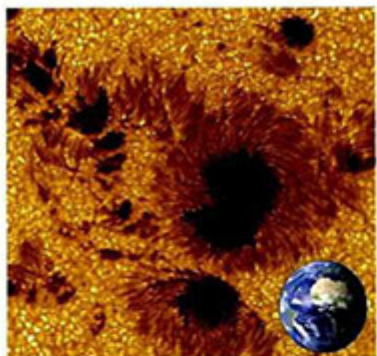
la superficie del planeta. Pero existe un efecto indirecto que potencialmente podría conectar el viento solar con la atmósfera de nuestro planeta. Los campos magnéticos transportados por las partículas del viento hasta los confines del sistema solar (campos y viento solar forman lo que se ha denominado la heliosfera) forman una "barrera protectora" para el sistema planetario contra la incidencia directa de rayos cósmicos (ver la figura 1). Procedentes de lugares remotos, más allá del vecindario de nuestro Sol e incluso de nuestra galaxia, los rayos cósmicos son partículas energéticas aceleradas por explosiones estelares y otros procesos astrofísicos que se desplazan, casi libremente y a velocidades cercanas a la de la

Figura 2. Número de manchas como función del tiempo.

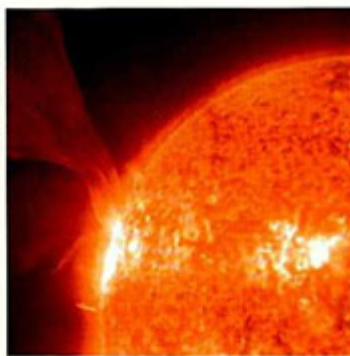


Evidencia de la existencia del ciclo de Schwabe de actividad solar. La periodicidad

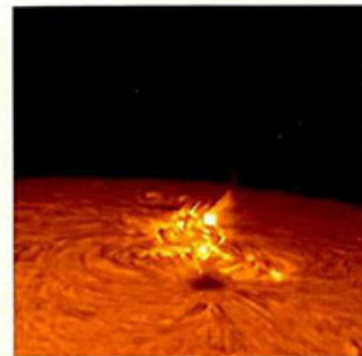
Figura 3. Los "fenómenos atmosféricos" solares



a. Las manchas solares (tomada de [<http://www.windows.ucar.edu>])



b. Prominencias, rizos coronales y fáculas (tomada de [<http://www.astro.su.se>])



c. Una fulguración (tomada de [www.spaceweather.com])

Al encontrar los campos magnéticos de la heliosfera, las partículas menos energéticas de rayos cósmicos son desviadas y evitan impactar directamente cuerpos del sistema solar, incluida la Tierra. ¿Pero qué relación puede tener el impacto de una partícula de rayos cósmicos contra la atmósfera de la Tierra y el clima de nuestro planeta? Una teoría propuesta hace ya más de 20 años sugiere una muy especial conexión entre los rayos cósmicos y el clima [8]. Con energías mucho mayores que las de, por ejemplo, las partículas del viento solar, una sola partícula de rayos cósmicos que golpea un átomo en la atmósfera de nuestro planeta produce una "lluvia de partículas" cargadas que se dirigen hacia la atmósfera baja y que pueden modificar localmente las propiedades eléctricas del aire. Si pequeñas cantidades de esa carga eléctrica se transfirieran (como seguramente lo hacen)

a moléculas en la atmósfera baja, esas moléculas podrían convertirse en el centro de atracción de moléculas de agua libres y, rápidamente, en un núcleo de condensación de agua líquida o en la semilla de un cristal de hielo. Un flujo permanente de rayos cósmicos podría ser causante, entonces, de la formación de una fracción de las

nubes que cubren nuestro planeta: una verdadera conexión cósmica. ¿Pero qué certeza tiene esta teoría? En 1997, un grupo de investigadores del Centro Espacial Nacional Danés puso en evidencia la existencia de una correlación entre la cobertura de nubes y el flujo de rayos cósmicos, una relación que presentaba por primera vez una evidencia en favor de la teoría. Esos mismos investigadores pusieron a prueba la teoría en el laboratorio, al estudiar cómo la presencia de cargas libres en una atmósfera con la composición y densidad e la Tierra podría crear núcleos de condensación de nubes. Recientemente, se viene desarrollando en instalaciones del CERN, en Ginebra, el experimento CLOUD, que busca, precisamente, investigar el mismo fenómeno. Ambos experimentos, los del Centro Espacial Danés y los del CERN, han confirmado preliminarmente el efecto que partículas energéticas cargadas podrían tener en la creación de núcleos de condensación en la baja atmósfera. Ninguna nube se ha formado todavía en el laboratorio pero las evidencias empiezan a acumularse para soportar la posible conexión entre rayos cósmicos y nubes.

Existen otras explicaciones respecto al calentamiento global, una de ellas son los cambios climáticos ocasionados por el Sol.

El humor variable del Sol

la atmósfera descritos en los párrafos anteriores han estado siempre presentes y, en promedio, sus características definitivamente contribuyen de forma central a determinar el estado global de ese mismo clima. Sin embargo, lo que está en juego ahora no son las causas que en promedio configuran la dinámica de la atmósfera sino aquellas que por su variación y efecto sobre ella pueden estar produciendo la tendencia hacia el calentamiento generalizado del planeta.

Si bien es claro que los efectos de la actividad humana sobre el clima de nuestro planeta han variado considerablemente a lo largo de los últimos siglos, como es de esperarse a partir del surgimiento y florecimiento de una sociedad industrializada después de la mitad del siglo XIX, vale la pena preguntarse ahora si los factores “naturales” que afectan ese mismo clima y si, en particular, como es del caso aquí, los factores “solares” se han mantenido iguales o han cambiado también en el mismo período.

Para la mayoría, la pregunta de si el Sol puede cambiar en el lapso de siglos, décadas, y hasta años, es sencillamente extraña. Nada parece más inmutable y constante que nuestra estrella. ¿Pero lo es? Muy lejos del conocimiento común (y, naturalmente, de la propaganda difundida por los medios masivos de comunicación), los astrofísicos saben que el Sol experimenta variaciones periódicas de actividad magnética, irradianza e intensidad del viento solar. Estas oscilaciones se repiten con un período aproximado de 11 años, denominado *Ciclo de Schwabe*. El ciclo fue originalmente descubierto al estudiar la cantidad y distribución de manchas solares sobre la superficie de nuestra estrella y su variación a lo largo del tiempo (ver la figura 2).

Las manchas solares, que son regiones de la superficie solar (fotosfera) más oscuras que su entorno y que en los momentos de máximo pueden llegar a cubrir hasta una centésima parte de su super-

ficie, son producidas cuando las líneas del campo magnético del Sol emergen por la superficie en puntos arbitrarios, creando pozos magnéticos en donde el bullente plasma es aislado de la fuente de calor interno y se enfría (ver la figura 3a). Las manchas solares son sólo uno de los fenómenos que se producen en la superficie y atmósfera de nuestra estrella, como producto de una compleja in-

En promedio a la Tierra llegan procedentes del Sol 1.367 vatios de energía radiante por cada metro cuadrado que apunta directamente hacia él.

teracción entre el plasma y los campos magnéticos que emergen del interior solar. Sobre las manchas, enormes rizos de plasma se elevan miles y hasta millones de kilómetros, transportados a lo largo de las líneas de campo, formando prominencias y rizos coronales (ver la figura 3b). En la base de esos rizos, y cerca de los bordes de las manchas, los campos magnéticos se concentran, calentando el plasma circundante y produciendo regiones que, por su brillo, se contraponen a las manchas, y que se conocen como las fáculas (ver la figura 3b). Durante los momentos de mayor actividad, poderosos cortocircuitos magnéticos en la superficie y atmósfera del Sol producen la emisión violenta de enormes cantidades de energía, en la forma de materia y radiación. Dos eventos están asociados a estos cortocircuitos violentos: las fulguraciones y las eyecciones de masa coronal (ver la figura 3c).

Nada tranquilo está ocurriendo, pues en la superficie de nuestro Sol, y cada 11 años, la frecuencia e intensidad de estos eventos se ven incrementadas. El último máximo de ese ciclo se produjo alrededor del año 2000, y en la actualidad nos encontramos cruzando uno de sus mínimos. ¿Pero cómo impacta esta variación natural de la actividad solar los ciclos naturales de nuestro clima? Siendo la irradianza solar y el flujo e intensidad de los campos magnéticos transportados por el viento solar los factores solares que determinan directa e indirectamente el clima, debemos entonces preguntarnos por la variación de estas cantidades con el ciclo solar.

La irradianza solar promedio en todas las longitudes de onda sufre variaciones que no superan una parte en 1.000 a lo largo del ciclo completo. En promedio, el brillo solar es mayor durante el máxi-

mo, el número de manchas aumenta también y debería registrarse una disminución en el brillo, pero el efecto promedio registrado ha sido siempre un aumento global del brillo en 1 a 2 vatios por metro cuadrado en la constante solar. Esta variación no parece muy grande, si se considera solamente el aumento en la entrada de energía al ciclo de la atmósfera en la forma de luz visible y radiación infrarroja. Dependiendo del modelo de la circulación de la energía en la atmósfera, un incremento de apenas 0,1% en la irradianza solar podría ser el causante de un aumento de entre 0,06 y 0,2° C.

En longitudes de onda muy cortas (luz ultravioleta, en particular), las variaciones producidas con el ciclo solar son aún más pronunciadas, debido a la violencia de las fulguraciones y otros eventos extremos. Incrementos pronunciados del brillo en el uv podrían causar efectos no muy bien entendidos en los ciclos de formación y destrucción de ozono y otros procesos de la química atmosférica que afectarían la dinámica global del clima en intensidad y dirección desconocidas.

Los efectos indirectos, mucho menos entendidos, podrían entrar a desempeñar un papel aún más determinante en la conexión de variabilidad solar y variabilidad climática. En los puntos de máxima, la heliosfera y sus campos magnéticos protectivos se verían intensificados por un aumento en el influjo del viento solar que emerge de un Sol muy activo. Este efecto produciría una disminución natural en el flujo de rayos cósmicos sobre la atmósfera, que ha sido efectivamente registrada a través de medidas en la abundancia en la atmósfera de los núcleos radioactivos de Be-10 y C-14, que son producidos precisamente por los rayos cósmicos incidentes. La abundancia de estos núcleos decrece durante los máximos de actividad solar. De ser acertada la teoría que predice además un efecto de los rayos cósmicos en la formación de nubes en la baja atmósfera, un menor influjo de rayos cósmicos traería consigo entonces, durante los máximos, una disminución global en la "reflectividad" de la atmósfera. Al verse menguado uno de los principales factores que contribuyen a devolver al espacio parte de la energía solar incidente, una mayor cantidad calor solar entraría a la atmósfera, produciendo en principio un "forzamiento" positivo (calentamiento) del sistema climático. Esto parece claro, ¿pero cuál es el nivel que alcanzaría este forzamiento en relación con otros forzamientos positivos y negativos producidos por factores endógenos, como el aumento de los gases de invernadero? ¿Podría el forzamiento inducido por los efectos indirectos del Sol en la cobertura de nubes ser comparable y mayor que los producidos por la actividad humana? Los cálculos preliminares de quienes defienden los modelos de los efectos de la variabilidad solar sobre el clima muestran que un efecto tan indirecto como el

Figura 4. Cantidad de CO₂ y temperatura media global en función del tiempo, en los últimos 127 años.

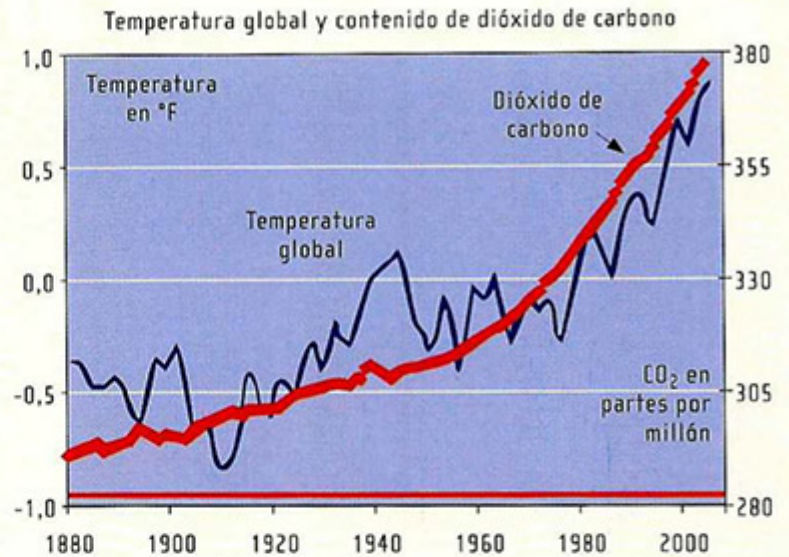
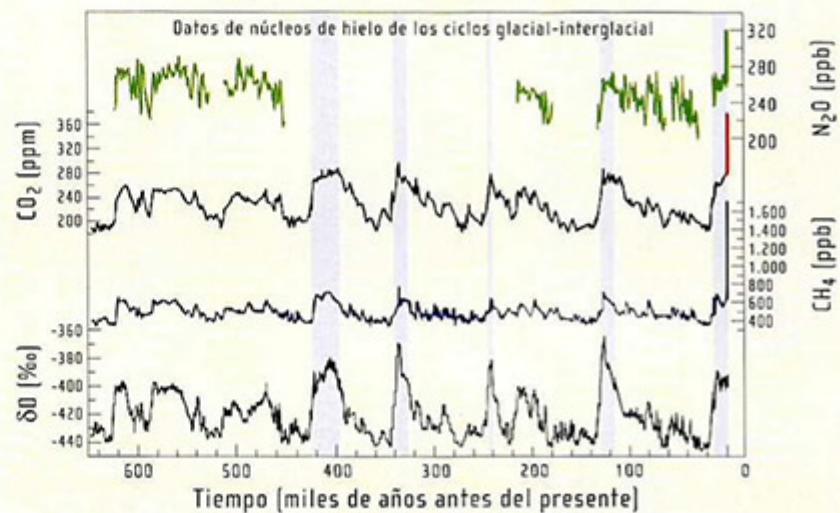
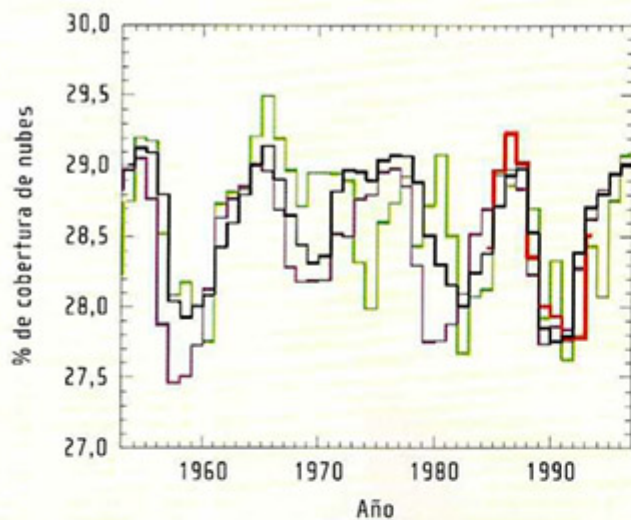


Figura 5. Datos del núcleo de hielo

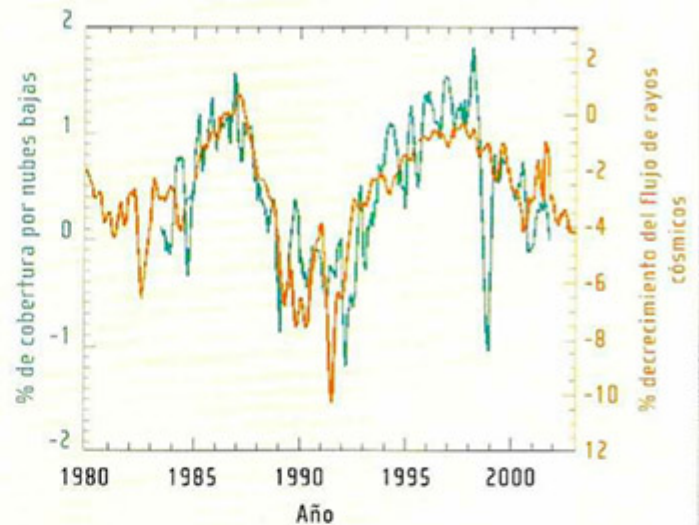


Cantidad de gases de invernadero presentes en la atmósfera en tiempos prehistóricos

Figura 6. Correlación observada entre la cobertura de nubes y la actividad solar



a. Correlación observada en distintos sitios de la cobertura de nubes y la fase del ciclo solar.



b. Correlación observada en un sitio entre la cobertura de nubes y el flujo observado de rayos cósmicos.

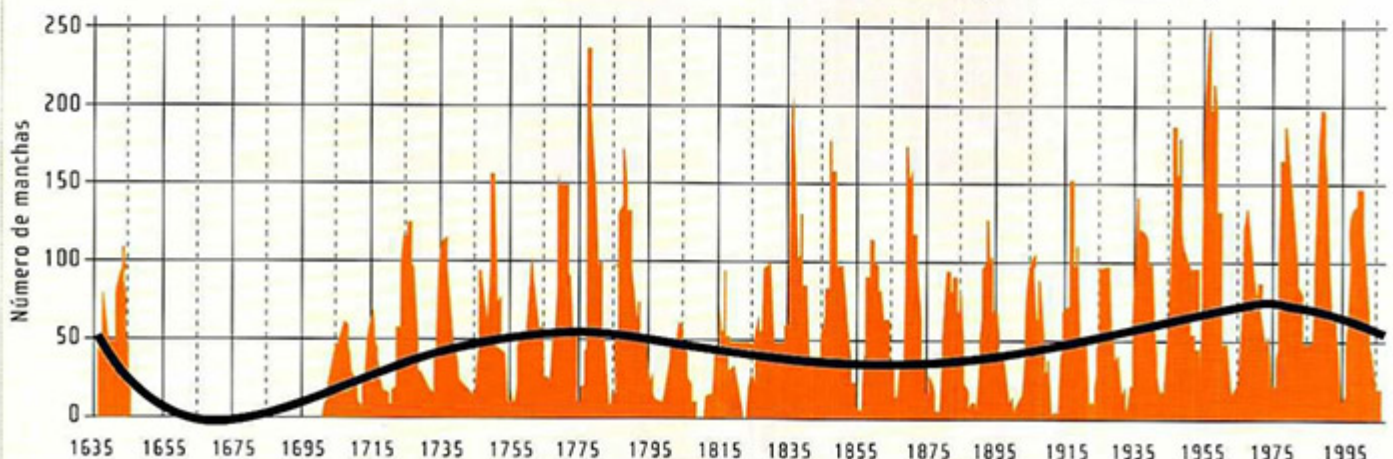
juntamente con los efectos directos del aumento en la irradianza, ser causante de más de la mitad del calentamiento registrado del planeta en los últimos siglos[4]. Ciertamente, hay mucho trabajo experimental y teórico por hacer para mejorar estos estimativos y dar a cada efecto su justo peso.

El juego de las correlaciones

Una de las herramientas analíticas preferidas en las investigaciones de la variabilidad histórica del clima es el estudio de las correlaciones temporales entre las posibles causas y los efectos observados en el clima. El caso del calentamiento global no ha estado naturalmente exento del uso de esta importante herramienta. Desde los más diversos escenarios se han esgrimido distintas correlaciones como parte de las evidencias en favor de la conclusión del IPCC. Dos correlaciones importantes (entre muchísimas otras) son recurrentes en la argumentación. La primera es la correlación entre el incremento prácticamente exponencial en la cantidad de CO₂ registrado en la atmósfera y atribuido a la actividad humana y la variación de la temperatura media global del planeta (ver la figura 4). La segunda es la correlación en tiempos

Figura 7. Registros del ciclo undecenal del Sol en los últimos cuatro siglos

Número de manchas a lo largo de los ciclos solares de 1635 a 2007 (promedios mensuales)

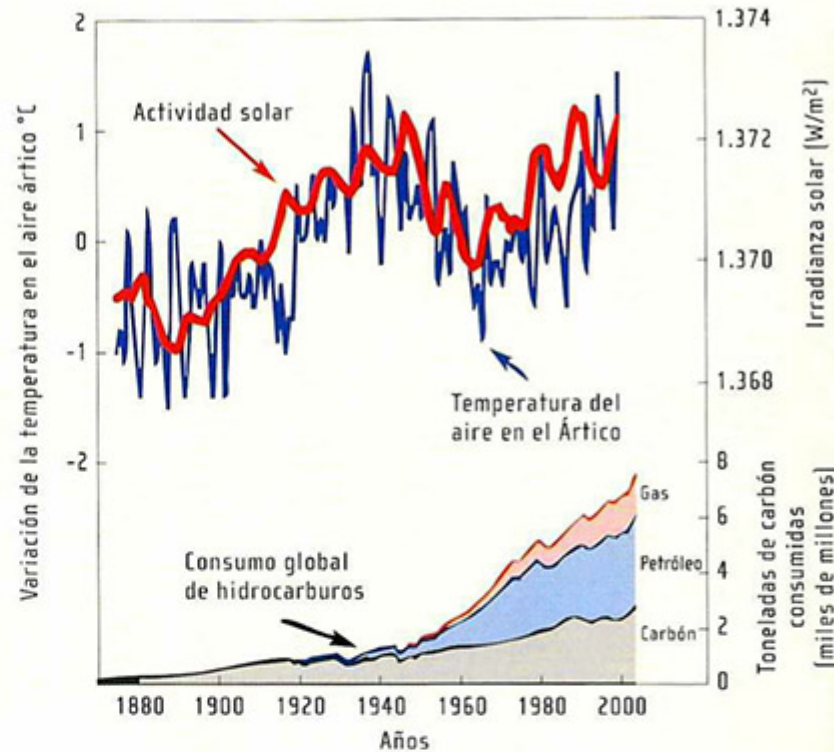


prehistóricos entre la abundancia de gases de invernadero y la temperatura media (ver la figura 5). Ambas correlaciones han sido debatidas acaloradamente y algunos defectos en ellas han sido señalados. Así, por ejemplo, se ha discutido el hecho de que la relación causa-efecto entre el aumento en los gases de invernadero y el incremento en la temperatura mostrados por la primera correlación es resultado de una imprecisa lectura de los datos. De un análisis más minucioso, según señalan los detractores (por lo menos, en ciertos tipos de registros), la relación podría ser inversa: el incremento en la temperatura sería el causante del aumento en los gases de invernadero, y no al contrario. Del lado de la segunda correlación, se insiste repetidamente en señalar la inconsistencia aparente entre el hecho de que el aumento pronunciado que experimentó el uso de combustibles fósiles en los años de posguerra (mediados de los 40 a mediados de los 70) se contrapone a la disminución registrada en la temperatura media global, un hecho que aparentemente se opone a la tesis del IPCC. Ambas dudas han sido analizadas y, en algunos casos, clarificadas o ampliadas por el IPCC en su último reporte.

En el caso del Sol, ¿cuáles correlaciones permiten apoyar la tesis de la variabilidad climática reciente producida, principalmente, por sus efectos directos e indirectos? Para empezar, la principal correlación esgrimida para apoyar la conexión indirecta de la actividad solar con el clima a través de la incidencia de rayos cósmicos es la observada en algunos lugares del planeta entre la cobertura de nubes y la fase del ciclo solar, tal y como se muestra en la figura 6a. De forma más directa, se ha descubierto una correlación estrecha entre el flujo medido de rayos cósmicos y la cobertura de nubes en al menos un lugar del planeta, tal y como se muestra en la figura 6b. Esta correlación ofrece indicios claros de la conexión señalada, aunque no se puede considerar como una prueba concluyente de la misma, en la medida en que, por ejemplo, otros factores no vinculados con la incidencia de rayos cósmicos podrían ser causantes de la variabilidad en la cobertura de nubes en los sitios estudiados. También es cierto que, de probarse esta correlación, no es posible pasar de aquí a probar que es este efecto el causante de la mayor parte del calentamiento global.

La segunda correlación que puede presentarse es la existente entre el aumento monótono en la amplitud del ciclo undecenal del Sol en los últimos cuatro siglos y el aumento respectivo de la temperatura (ver la figura 7). El Sol ha ido incrementando su actividad desde principios del siglo XIX. En realidad, la actividad solar exhibe un ciclo mayor superpuesto de cerca de 100 años, con mínimos registrados cerca de 1700, 1800 y 1900 (*Ciclo de Gleissberg*). Además, el máximo de ese ciclo centenario que se produjo durante este siglo hacia mediados de los años 50 es mayor que el de los dos ciclos anteriores. La correlación entre el aumento en la actividad solar y la temperatura se ve confirmada además al comparar una reconstrucción de la irradianza solar en el mismo período y las temperaturas registradas en el Ártico (ver la figura 8). El principal hecho que se percibe en esta correlación es la posible explicación desde la tesis solar de la disminución en la temperatura registrada en el período de posguerra, en el que, a pesar de tener algunos de los máximos solares más pronunciados, la irradianza presenta un

Figura 8. Correlación entre el aumento de la temperatura en el último siglo y medio y la irradianza solar reconstruida





Sierra Nevada de Santa Marta.

De nuevo, las correlaciones presentadas aquí entre el Sol y el clima son temas de candentes discusiones entre los expertos, y no pueden considerarse como la prueba definitiva de nada. A lo sumo, se las podría utilizar como indicaciones de la dirección en la que deberían orientarse nuestras valoraciones de la información disponible o como muestra de la enorme complejidad del problema que implica develar el secreto de las causas principales del calentamiento global.

Nubecillas oscuras sobre el Calentamiento Global Antropogénico

En el año de 1900, William Thompson (lord Kelvin), uno de los más destacados físicos de todos los tiempos y una autoridad reconocida en la física del siglo XIX, describió ante un auditorio abarrotado y curioso lo que él llamaba “(the) nineteenth-century clouds over the dynamical theory of heat and light” (“las nubes del siglo XIX sobre la teoría dinámica del calor y la luz”). Se refería lord Kelvin a dos nubecillas oscuras que ensombrecían pequeñas esquinas del más perfecto y aceptado cuerpo de

conocimientos creado hasta entonces por el ser humano: la física clásica. Esas pequeñas nubecillas que hacía falta despejar para terminar de convertir a la física en el ideal de la ciencia se revelaron finalmente durante los primeros decenios del siglo XX, pero no con los resultados esperados. En vez de perfeccionar la física clásica, las nuevas teorías que surgieron a partir de la reflexión sobre

Los efectos indirectos del Sol podrían entrar a desempeñar un papel determinante en la variabilidad climática.

esas nubecillas generaron la teoría de la relatividad y la teoría cuántica, y la reemplazaron de forma fundamental. La analogía tal vez sea desproporcionada al aplicarla en un debate tan joven como el del

pequeñas imperfecciones, “descosidos” imperceptibles en un cuerpo de conocimientos casi perfecto, posiblemente revelen lo que sería una verdad aún más incómoda.

La conclusión central de este trabajo es ahora clara: el caso científico del calentamiento global no está cerrado y la conclusión definitiva del IPCC no puede considerarse incontrovertible. Tal vez, el caso político esté cerrado y, seguramente, lo que se derive de allí puede redundar en beneficios para el medio ambiente (no tanto para la economía, según argumentan otros, especialmente en países en desarrollo). También es cierto que el caso científico que tiene el IPCC está muy bien sustentado hasta ahora. Pero el halo de duda que siembra el hecho de desconocer en tal medida los efectos de un agente tan importante como el Sol en todo el problema debe hacernos admitir que falta mucho más trabajo para dar satisfactorio fin al caso científico del calentamiento global.

Notas y referencias

1. El hecho de que la temperatura media del planeta aumente no niega el hecho de que hay algunos lugares en los que se pueda registrar una disminución en la temperatura local. Igualmente, la tendencia hacia un calentamiento tampoco niega el hecho de que la tendencia pueda invertirse, como lo hizo, por ejemplo, en el período de 1940 a 1975 (ver la figura 1).

2. El planeta vivió una anomalía climática durante la Edad Media, que a menudo se presenta como el caso más cercano de un evento de calentamiento global enfrentado por el hombre. Una lectura sobre el tema puede encontrarse en Raymond S. Bradley, Malcolm K. Hughes, Henry F. Diaz (2003). “Climate in Medieval Time”. *Science* 302 (5644): 404-405. [<http://www.geo.umass.edu/faculty/bradley/bradley2003d.pdf>]

3. Sitio oficial del IPCC [<http://www.ipcc.ch>]. Los últimos reportes, publicados en noviembre de 2007, pueden ser descargados de [<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>]

4. Una gran corriente de interpretaciones alternativas a las del IPCC ha crecido de forma sostenida en los últimos años, con el Sol como protagonista central de esas posiciones alternativas. Importantes científicos medioambientales, físicos solares, astrónomos, hasta periodistas y ex ambientalistas, defienden estas líneas alternativas, no sin recibir agudas críticas de la corriente oficial. El número de artículos y sitios en internet que presentan su posición es igualmente grande. Como ejemplos reconocidos, se puede revisar el artículo del periodista Nigel Calder [<http://www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/article1363818.ece>], o la serie de artículos en el *National Post* de Canadá [<http://www.canada.com/nationalpost/story.html?id=22003a0d-37cc-4399-8bcc-39cd20bed2f6&k=0>], la revisión del tema que hace el Oregon Institute of Science and Medicine [<http://www.oism.org/pproject/s33p36.htm>], o los cálculos detallados de Christopher Monckton [<http://www.telegraph.co.uk/news/graphics/2006/11/05/warm-refs.pdf>]

5. Según datos del Banco Mundial, en 1996, el mundo consumía 316 billones de BTU por año, siendo 3,413 BTU equivalentes a 1 kilovatio-hora de energía eléctrica. Referencia: “World Energy Consumption: The Good, The Bad, and The BTUs”, Ed “Redwood” Ring, May 29, 2001. Para *Ecoworld*, *Nature & Technology in Harmony*. [<http://www.ecoworld.com/home/articles2.cfm?tid=294>]

6. La tasa de pérdida de masa del Sol en forma de viento solar es 2×10^{-14} masas solares por año Measuring Stellar Mass Loss Rate at the Femto Level. Jeffrey L. Linsky and Brian E. Wood. JILA, University of Colorado and NIST, Boulder, CO. [<http://jilawww.colorado.edu/~jlinsky/stnews.ps.gz>]

7. En realidad, haciendo un promedio sobre todo el planeta, a todas las latitudes y todas las horas, la cantidad de radiación que incide de forma normal es $\frac{1}{4}$ parte de la constante solar, es decir, unos 342 vatios por metro cuadrado.

8. Para una revisión detallada sobre el tema, se remite al lector al caso científico del instrumento CLOUD desarrollado en el CERN para investigar experimentalmente la formación de núcleos de condensación por rayos cósmicos: [http://cloud.web.cern.ch/cloud/documents_cloud/cloud_proposal.pdf]. Dos artículos de prensa aparecidos recientemente se pueden encontrar en [<http://www.telegraph.co.uk/news/01111212/cosmic-rays-cause-rain-clouds.html>] y [http://www.bbc.co.uk/1/health/2006/11/06111212_cern_clouds.shtml]

astronomía

Las estrellas de neutrones: trompos cósmicos

Paul Núñez

Físico de la Universidad de los Andes
Investigador del Observatorio
Astronómico de la Universidad Sergio
Arboleda (2006-2007)
Actualmente estudiante de Doctorado
en la Universidad de Utah.
nunez.paul@gmail.com

Cuando observamos el cielo día tras día, el único cambio que percibimos es el movimiento aparente del Sol y las demás estrellas, pero jamás imaginamos que las estrellas mismas sufren transformaciones dramáticas a lo largo de sus vidas. Esta percepción "cuasi-estática" del universo se debe a las escalas de tiempo a las que estamos acostumbrados. Usualmente, hablamos de segundos, minutos, días, años, décadas, pero es casi inconcebible pensar en miles de millones de años, escalas de tiempo en las que los cambios en el universo suelen ser notorios. De la misma forma como nosotros no percibimos cambios en nuestro Sol, una partícula elemental que vive en ocasiones mucho menos que una millonésima de segundo percibiría que nosotros permanecemos completamente estáticos. Aquí hablaremos de objetos que, a pesar de tener movimientos intrínsecos muy rápidos, alcanzan estos estados después de miles de millones de años; veremos cómo estrellas *normales* parecidas al Sol se transforman gradualmente en *trompos cósmicos*.

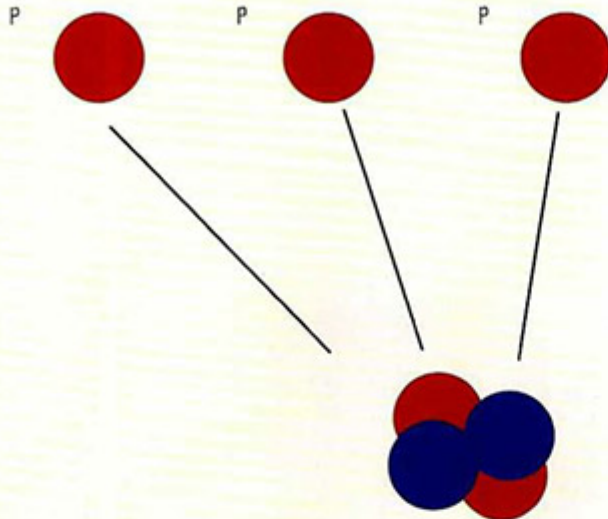
Si hay algo en común en casi todos los cuerpos celestes, es su tendencia a rotar. La naturaleza centrípeta de la gravedad permite que todos los cuerpos tiendan a rotar sobre sí mismos y alrededor de otros. Curiosamente, la rotación se puede ver en diferentes escalas de espacio y tiempo: una estrella como el Sol, por ejemplo, con un radio de

700.000 km, rota sobre su propio eje una vez cada 25 días, aproximadamente. Existen estrellas más rápidas, como Régulo, en la constelación de Leo, que rota una vez cada 16 horas. Estas estrellas, a su vez, rotan alrededor del centro de la galaxia cada 225 millones de años, completando un *año galáctico* en cada ciclo. A escalas atómicas, en cambio, no se puede pensar en *rotación*, en el sentido cotidiano de la palabra. Sin embargo, los átomos y las partículas poseen cantidades asociadas a la rotación (por ejemplo, el *espín*), y las escalas de tiempo en que estas cantidades cambian son generalmente ínfimas, comparadas con las nuestras.

Antes de discutir acerca de objetos aparentemente tan exóticos como las estrellas de neutrones, es pertinente primero hablar sobre la estrella que conocemos mejor, y sobre la cual se han desarrollado modelos teóricos que coinciden con todo tipo de observaciones. El Sol se formó debido a la contracción de una gran nube de gas (principalmente, hidrógeno) y de polvo. Esta nube, inicialmente 10^8 (aproximadamente) veces más grande que el tamaño del Sol actual, fue gradualmente colapsando, gracias a su autogravedad, generando presiones y temperaturas cada vez más altas. Esta contracción finalmente llegó a un estado de equilibrio, debido al surgimiento de algo que contrarrestó la fuerza colapsadora de la gravedad: una nueva fuente de energía producida por los llamados procesos de fusión nuclear en el centro de la estrella. Durante el proceso de fusión, los núcleos de hidrógeno del gas original empezaron a formar estados ligados, para, finalmente, formar núcleos de helio (cuatro núcleos de hidrógeno forman un núcleo de helio). ¿Pero de dónde proviene la energía? ¿Cómo se alcanza el equilibrio? Resulta ser que la suma de las masas de los núcleos libres de hidrógeno es mayor que la masa total de un núcleo de helio, es decir, hubo una pérdida de masa. Esta masa sobrante fue convertida en luz, la forma más pura de energía (ver la figura 1). A pesar de que todo esto parezca completamente ajeno a nosotros,

Las estrellas sufren transformaciones dramáticas a lo largo de sus vidas.

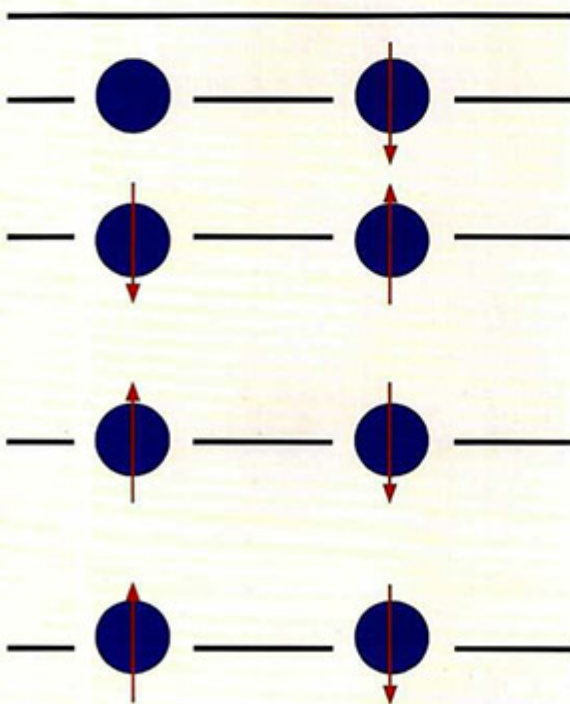
Figura 1. Diagrama esquemático de la fusión nuclear



Cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan para crear un núcleo de helio, liberando energía en el proceso.

plemente, porque no hay un puesto o estado disponible para ésta. El principio físico que rige esto es conocido como el principio de exclusión de Pauli (ver la figura 2), y es el mismo que permite que los átomos de nuestro cuerpo tengan dimensiones finitas. Cuando todos los electrones de la estrella se organizan de la forma descrita con anterioridad, esta nueva estrella compacta es conocida como una enana blanca, y como

Figura 2. Diagrama esquemático del principio de exclusión de Pauli



su radio ha pasado de ser de aproximadamente un millón de kilómetros a unos cientos de kilómetros, su velocidad de rotación aumenta de manera considerable. De la misma forma como un patinador de hielo rota más rápidamente cuando cierra sus brazos, al cabo de unas pocas horas, una enana blanca hace una revolución completa.

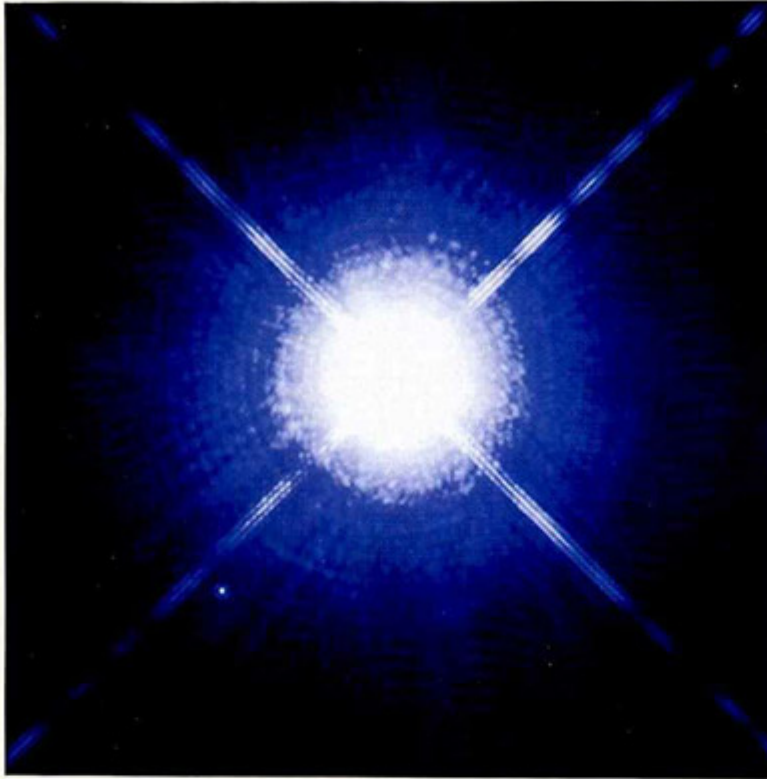
Estrellas como Régulo o el Sol rotan en períodos de horas o días durante miles de millones de años, mientras exista un equilibrio que mantenga a la estrella inflada a densidades no mucho mayores que la del agua (1 g/cm^3). Sin embargo, la energía nuclear no se produce en forma indefinida y, finalmente, se agota; en nuestro caso, dentro de cinco mil millones de años, aproximadamente. Una vez se agota esta fuente de energía, la estrella seguirá colapsando hasta encontrar un nuevo estado de equilibrio mucho más compacto, y son estos estados finales los que trataremos en el resto de este artículo.

Cuando se empiezan a alcanzar densidades del orden de mil toneladas en un cm^3 , las partículas elementales que componen la estrella empiezan a acercarse unas a otras de forma dramática. Sin embargo, la naturaleza es organizada, y sólo existe un número finito de *puestos* para cada partícula. De la misma forma como se llena un teatro, no todas las partículas pueden ocupar la primera fila, simplemente, porque no hay un puesto o estado disponible para ésta.

El principio físico que rige esto es conocido como el principio de exclusión de Pauli (ver la figura 2), y es el mismo que permite que los átomos de nuestro cuerpo tengan dimensiones finitas. Cuando todos los electrones de la estrella se organizan de la forma descrita con anterioridad, esta nueva estrella compacta es conocida como una enana blanca, y como su radio ha pasado de ser de aproximadamente un millón de kilómetros a unos cientos de kilómetros, su velocidad de rotación aumenta de manera considerable. De la misma forma como un patinador de hielo rota más rápidamente cuando cierra sus brazos, al cabo de unas pocas horas, una enana blanca hace una revolución completa.

La presión ejercida gracias al principio de exclusión de Pauli puede ser enorme y, sin embargo, finita. Por esta razón, si la masa es lo suficientemente grande (mayor que 1,4 veces la masa del Sol), la presión gravitacional puede vencer a la de Pauli. Cuando éste es el caso, hay una repentina implosión, seguida de una gran explosión, conocida como una supernova (ver la figura 4). Durante la implosión, las partículas positivas (protones) y las negativas (electrones) se acercan tanto que hacen posible la abundante creación de neutrones (neutras). De nuevo, si la masa no es demasiado grande (mayor que aproximadamente tres masas solares), puede quedar como remanente de la supernova una nueva estrella compacta en equilibrio. Este nuevo objeto compacto es usualmente llamado una estrella de neutrones, y con

Figura 3. Sirio A y B



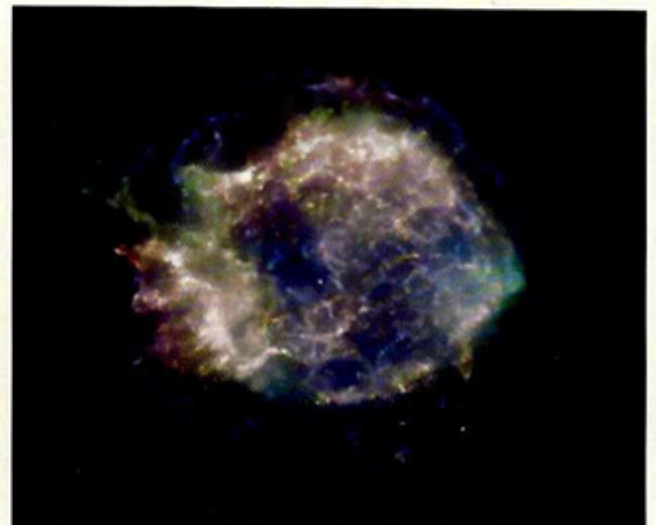
Sirio A es la estrella más brillante en el firmamento, y su compañera binaria, Sirio B (punto tenue junto a Sirio A), es seguramente la enana blanca más conocida.

dos, con densidades del orden de un millón de toneladas por cm^3 , y con pequeños radios del orden de 10 km. El principio de exclusión de Pauli se aplica también a los neutrones, y es, entonces, la causa de que se mantenga la estrella en este nuevo estado de equilibrio, de modo que no se contraiga indefinidamente. Aun así, la estrella se ha contraído tanto que su velocidad de rotación ha crecido hasta rotar cientos de veces por segundo.

Todo esto puede parecer un poco inverosímil, pero estas estrellas son, de hecho, observables; de lo contrario serían objetos puramente teóricos y habría mucho escepticismo de la comunidad científica. Las velocidades angulares tan grandes generan altos campos magnéticos en el interior de la estrella, y éstos, a su vez, causan la emisión de luz en regiones puntuales de la superficie de la estrella. Cada vez que esta luz es vista por un observador lejano, él percibirá un pulso detectado como onda de radio y captado en intervalos de milisegundos, en muchos casos (Gold, 1969. Ver la figura 5). Curiosamente, estos objetos, denominados púlsares, fueron inicialmente confundidos con civilizaciones extraterrestres, pero ahora sabemos con poca incertidumbre que los púlsares son las mismas estrellas de neutrones.

Los púlsares con períodos rotacionales de milisegundos (*Millisecond Pulsars*) se han convertido en toda un área de investigación. En 1982 se descubrió lo que se creyó durante mucho tiempo que era un objeto (estrella de

Figura 4. Fotografía tomada por el telescopio espacial Chandra de una supernova en la constelación de Casiopea



En el centro de la explosión se puede ver una fuente puntual de rayos X, la cual es, muy probablemente, una estrella de

Figura 5. Representación esquemática de un púlsar

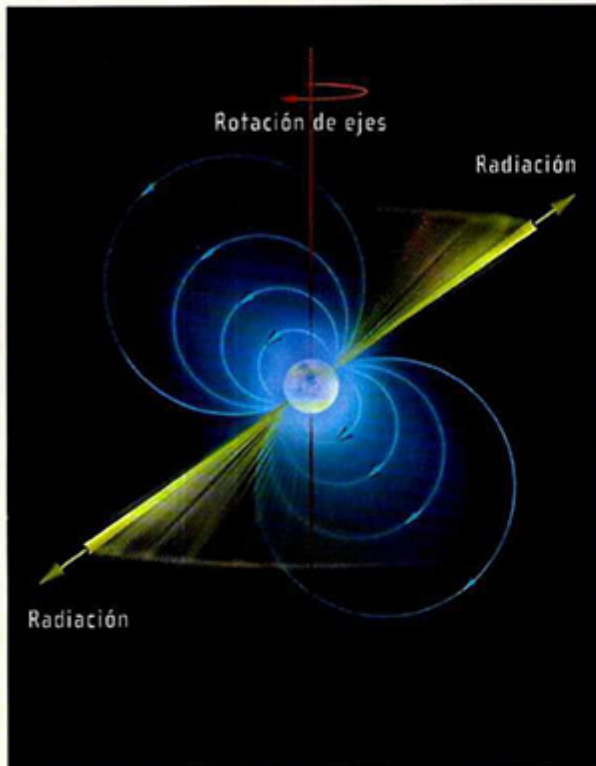


Figura 6. Los púlsares más rápidos conocidos hasta ahora

Púlsar	Período [milisegundos]
PSR J1748-2446ad	1,396
PSR B1937+21	1,557
PSR J1909-3744	2,95
PSR 1855+09	5,3
PSR J0737-3039 A	22,7
PSR 0531+21	33,3
PSR B1534+12	37,9

ciones por segundo (Ashworth, Lyne y Smith, 1983). Muy recientemente, se descubrió un púlsar aun más rápido, que rota 716 veces en un segundo, convirtiéndose éste en el más rápido hasta ahora (Hessels, Ransom, Stairs, Freire, Kaspi y Camilo, 2007). Estas velocidades angulares son aproximadamente el doble que las encontradas en las licuadoras domésticas, pero recordemos que estas estrellas tienen radios de aproximadamente 10 km y no unos cuantos milímetros, como las aspas de las licuadoras.

En Colombia se han desarrollado trabajos relacionados con el tema (ver Pachón, Rueda y Sanabria-Gomez, 2006). Adicionalmente, Paul Núñez, del Observatorio Astronómico de la Universidad Sergio Arboleda, junto con el Dr. Marek Nowakowski, del Departamento de Física de la Universidad de los Andes, han desarrollado un trabajo teórico relacionado con este tema de objetos compactos rotantes. Una de las conclusiones a las que llegan los autores es que estos períodos de rotación del orden de milisegundos no son una coincidencia sino que demuestran que la naturaleza, de hecho, se está acercando a su límite rotatorio (Núñez y Nowakowski, 2007).

Como ya fue mencionado anteriormente, las estrellas de neutrones son objetos extremadamente densos y, según la teoría general de la relatividad, teoría geométrica de la gravedad, una estrella de neutrones curva el espacio-tiempo de forma considerable. Una consecuencia de esta teoría es que el campo gravitacional de la estrella también afecta a la luz que es emitida en su superficie: luego de ser emitida, la luz pierde energía, al tratar de escapar del campo gravitacional de la estrella, y esta pérdida de energía puede ser medida en muchas ocasiones (Pons, Walter, Lattimer, Prakash, Neuhauser y An, 2002). Otro resultado interesante hallado por los autores es que hay una relación directa entre la cantidad de energía perdida por la luz, la velocidad angular de la estrella y el radio de la estrella. Gracias a este resultado, y usando información obtenida de observaciones existentes, podemos inferir propiedades macroscópicas de la estrella y aprender sobre estos objetos (Núñez y

Nowakowski, 2007). El trabajo de los autores, por otro parte, tiene como variables cantidades que ya se han medido y, además, no depende de detalles como la composición exacta de la estrella, tema de actual debate. Por esta razón, hemos aprendido mucho sobre cantidades macroscópicas de la estrella, sin usar muchas variables y refiriéndonos a cantidades ya medidas.

Estrellas como el Sol creemos entenderlas bastante bien, en gran parte debido a que los modelos teóricos pueden ser comparados con muchas observaciones. De las estrellas de neutrones, por el contrario, es difícil obtener mucha información de forma directa. Adicionalmente, no se sabe exactamente qué contienen estos objetos tan densos: aparte de neutrones, es posible que contengan todo un zoológico de partículas elementales exóticas que harían de esta estrella un objeto diferente del que creemos. Las escasas observaciones hacen que los teóricos sobre estos objetos sean difíciles de comprender observacional-

aprende cada vez más sobre estos objetos compactos, y Colombia, a pesar de estar empezando en el tema, ha logrado obtener resultados importantes en el área.

Referencias

Ashworth, M., Lyne, A. G. y Smith, F. G. (1983), The 1.5 ms pulsar PSR 1937+ 21, *Nature* 301, 1983: 313.

Gold, T. (1969), Rotating Neutron Stars and the Nature of Pulsars, *Nature* 221, 1969: 25-27.

Hessels, J. W. T., Ransom, S. M., Stairs, I. H., Freire, P. C. C., Kaspi, V. M. y Camilo, F. (2007); A Radio Pulsar Spinning at 716Hz, *Science* 311, 2007: 1901 - 190431.

Núñez, P. y Nowakowski, M. (2007), Extracting Information from the Gravitational Redshift of Compact Rotating Objects. En proceso de publicación.

Pachón, L. A., Rueda, J. A. y Sanabria-Gómez, J. D. (2006), Realistic Exact Solution for the Exterior Field of a Rotating Neutron Star, *Physical Review D* 73, 2006: 104038.

Pons, J. A., Walter, F. M., Lattimer, J. M., Prakash, M., Neuhauser, R. y An P. (2002), Towards a Mass and Radius Determination of the Nearby Isolated Neutron Star, *Astrophysical Journal* 564, 2002: 981.

Figura 7. Imagen tomada por el telescopio espacial Chandra del púlsar del Cangrejo, que rota con un período de 33 milisegundos



Ciencia y tecnología para el desarrollo y la transformación social

La UNIVERSIDAD DEL NORTE ha logrado fortalecer la actividad de investigación y desarrollo en los últimos 15 años. Es reconocida en Colombia como una de las universidades con mayor compromiso frente a la investigación articulada a la innovación tecnológica y social.



Dirección de Investigaciones y Proyectos
Teléfonos: (57-5) 3509420 / 3509422
dip@uninorte.edu.co
Barranquilla, Colombia

genética

Pequeños gigantes en el mundo del ARN

Guillermo Aquino Jarquin

B.Sc, M. Sc.

Candidato a PhD. Adscrito al
Laboratorio de Terapia Génica del
Departamento de Genética y Biología
Molecular del CINVESTAV
guillaqui@cinvestav.mx

Poco después del desciframiento de la secuencia completa del genoma humano, cuando la curiosidad de los científicos se centró en conocer las funciones de los genes que habían identificado y cómo éstos se regulan, dos asombrosos descubrimientos en el campo de la biología acapararon la atención del mundo científico: el descubrimiento de los ARN pequeños interferentes y los microARN. Ambos ácidos ribonucleicos (ARN) no codifican para ninguna proteína pero actúan modulando el nivel de “encendido y apagado” de genes en diversos genomas.

Una breve historia de los ARN silenciadores: de las ribozimas a los microARN

El hallazgo de las ribozimas

Desde el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN por Watson y Crick en 1953, se estableció que la información genética contenida en el ADN del núcleo de las células es *transcrita* [copiada a ARN mensajero (ARNm)], transportada al citoplasma y, posteriormente, *traducida* (usada para fabricar proteínas). Sin embargo, este *dogma central de la biología molecular* proponía al ARN sólo como una molécula intermediaria para la producción de proteínas (ver la figura 1).

Figura 1. Flujo de la información genética

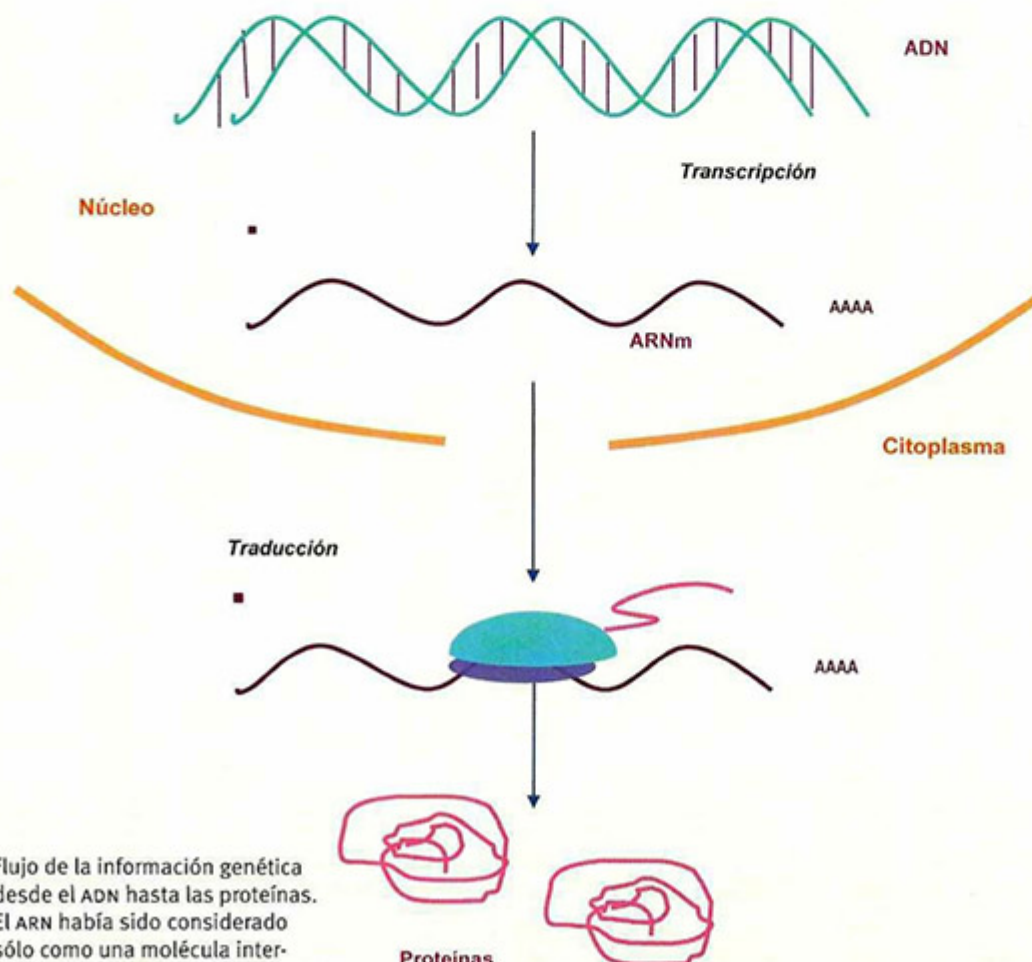


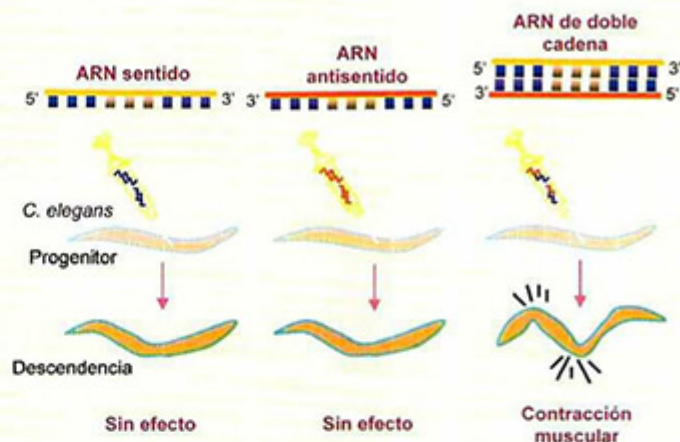
Figura 2. Descubrimiento de la interferencia por ARN

Figura 2A



A) Silenciamiento génico clásico mediado por ARN antisentido. B) Sólo los ARN de doble cadena "preformados" fueron capaces de propiciar la interferencia.

Figura 2B



Modificada de: http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/2006/press.html

Hubo que esperar hasta 1983, cuando Thomas Robert Cech (bioquímico y biólogo molecular estadounidense) y Sidney Altman (bioquímico canadiense) revolucionaron el mundo científico, al descubrir las propiedades catalíticas del ARN en dos sistemas diferentes y establecer que esta molécula no sólo es necesaria para la formación de proteínas, sino que además actúa como una enzima, cambiando así el dogma de que todas las enzimas son proteínas. Este ARN con función enzimática fue denominado ribozima y su hallazgo causó escepticismo, debido a que sus descubridores no tenían presente uno de los principios de la biología molecular, según el cual sólo las enzimas actúan como catalizadores en las reacciones. Sin duda, las investigaciones de Cech y Altman proporcionan una nueva explicación teórica del origen de la vida, por lo que fueron galardonados con el Premio Nobel de Química en 1989.

El descubrimiento de la interferencia por ARN

Siguiendo con los misterios del ARN, la segunda revolución científica inició en 1998 con los norteamericanos Andrew Z. Fire de la Universidad de Stanford y Craig C. Mello de la Universidad de Massachusetts, cuando descubrieron un mecanismo fundamental para el silenciamiento o "apagado" génico, al que denominaron interferencia por ARN¹, debido a que interfiere en el flujo de la información genética a nivel de ARNm. En 1998, Fire y Mello estudiaban la función de un gene causante de la contracción muscular en el gusano *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*). Inicialmente utilizaban ARN *antisentido*, es decir, cadenas de ARN que poseen un código genético (A,C,G,T) en sentido contrario a como los ribosomas lo descifran, pero que es complementario del ARNm que deseaban inactivar (ver la figura 2A). Sin embargo, el gene no pudo ser suprimido usando esta estrategia antisentido, la cual era exitosa en esa época, para silenciar genes en bacterias y en células animales. Como un experimento control, ellos microinyectaron en las células de este gusano cadenas de ARN *sentido*, es decir, ARN con la misma secuencia del ARNm, pero tampoco observaron ningún efecto. El hallazgo ocurrió cuando los investigadores microinyectaron ambas moléculas de ARN (sentido y antisentido) que, al acoplarse entre sí, formaron ARN de doble cadena, que inesperadamente producían contracciones repentinas, similares a las observadas en gusanos que carecían por completo del gen funcional para una proteína muscular (ver la figura 2B). Fire y Mello dedujeron que los ARN de doble cadena, a los que denominaron ARN pequeños interferentes (ARNsi).

1. La interferencia por ARN es el mecanismo biológico o la técnica experimental que lo aprovecha, y un ARN pequeño interferente o ARN de interferencia es

proteína ya no se generaba y el abatimiento de la misma era lo único que podía explicar lo observado en ese momento. Este hallazgo, sin duda, innovó el conocimiento científico sobre los mecanismos implicados en la regulación génica. Fire y Mello fueron galardonados con el Premio Nobel de Medicina 2006, por revelar un mecanismo fundamental para el control del flujo de la información genética.

El surgimiento de los microARN

Por otro lado, en 1993 (poco después de los primeros indicios de la existencia de los ARN^{pi}), Víctor Ambros, profesor de Genética de la Escuela Médica de Dartmouth, y sus colegas Rosalind Lee y Rhonda Feinbaum fueron los primeros en descubrir los microARN, una clase de diminutos ARN de cadena sencilla (de 19 a 23 nucleótidos² de longitud) que no codifican para proteínas, pero se encuentran en una variedad de tipos celulares (desde *C. elegans* hasta humanos). Estos microARN son conservados, lo que sugiere que su función reguladora también se ha permanecido evolutivamente.

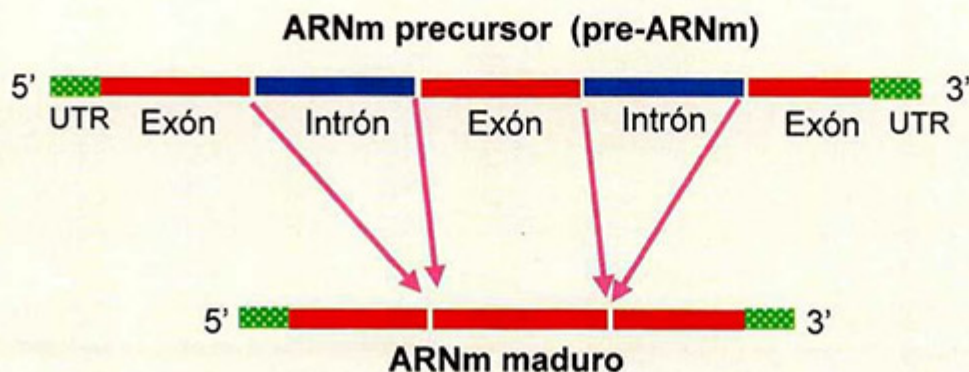
Los investigadores descubrieron que *lin-4*, un gene asociado con el control de la sincronía del desarrollo larvario de *C. elegans*, no codificaba para proteínas y, en lugar de ello, producía un par de pequeños ARN. Un ARN era de 22 nucleótidos de longitud, y el otro, de aproximadamente 60, siendo este último el precursor del primero. Víctor Ambros observó que el ARN *lin-4* más pequeño podía acoplarse en múltiples sitios dentro de otro gen del mismo gusano, llamado *lin-14*. Posteriormente, Gary Ruvkun, profesor de Genética de la Escuela Médica de Harvard, demostró que este acoplamiento reducía en gran medida la cantidad de la proteína nuclear LIN-14 que era codificada por este ARNm, pero asombrosamente no había una disminución notable en el número de mensajeros, que pudiera estar asociado a la disminución de la proteína. Tiempo después, los investigadores confirmaron que el mecanismo que activa la transición del primero al segundo estado larvario en este gusano es regulado por medio de la interacción entre el ARN *lin-4* y el ARNm *lin-14*, al inhibir la traducción de los mensajeros. Éste fue el primer indicio de la regulación mediada por estos minúsculos ARN que, a pesar de no codificar para proteínas y tampoco actuar como enzima de ARN (ribozima), sí tienen un papel importante en la biología del desarrollo del *C. elegans*.

Ahora sabemos que los microARN están implicados en el control de una serie de importantes procesos celulares, como la duplicación del ADN, el mantenimiento de la estructura de los cromosomas y la regulación de la transcripción y la traducción.

Secretos del ADN

Los genes que codifican para proteínas con alguna función en el genoma humano suman cerca de 20.000 a 25.000. Entonces, lo primero que llega a la mente es: ¿para qué sirve el resto del genoma? Lo

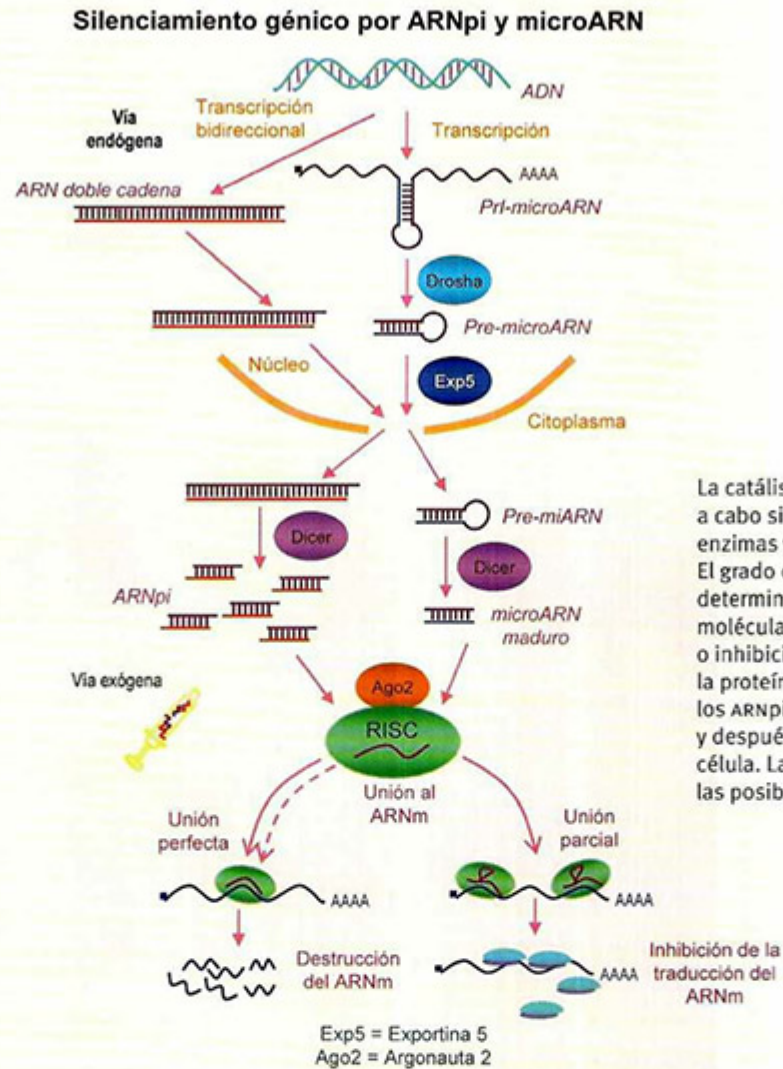
Figura 3. Maduración del ARNm



Liberación de los intrones y unión de los exones en el pre-ARNm, proceso referido como corte y empalme.

2. Los nucleótidos son los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN); están compuestos de una base nitrogenada (A,C,G,T o U), un azúcar de cinco átomos de carbono

Figura 4. Pequeños reguladores de la función génica.



La catálisis del ARNm se lleva a cabo sin la participación de enzimas y/o energía adicional. El grado de complementariedad determina el destino de las moléculas de ARNm (destrucción o inhibición de la producción de la proteína). La jeringa indica que los ARNpi pueden ser preformados y después ser administrados a la célula. La flecha punteada indica las posibles rutas de estos ARNpi.

que ocurre es que cerca del 95% del genoma humano está compuesto de ADN que no es utilizado para fabricar proteínas. Pero ello no implica que se trate de un material genético inservible o redundante, como en un principio se creía. Lo que sucede es que el ARNm debe sufrir algunas modificaciones antes de ser utilizado como molécula informativa para las proteínas. La razón es que el ADN contiene unas regiones llamadas *intrones* –que son las secuencias que no contienen información para la síntesis proteica–, las cuales están intercaladas en los fragmentos que contienen la información necesaria o *exones*

(ver la figura 3).

Dos asombrosos descubrimientos en el campo de la biología acapararon la atención del mundo científico.

Una vez que los intrones son liberados, los exones se vuelven a unir hasta conformar un ARNm maduro, capaz de generar una proteína funcional (ver la figura 4). Por otro lado, los intrones ocupan

la proporción más grande de secuencias no codificantes en el genoma. Llama la atención que son los intrones los que dan origen a una buena parte de ARN con funciones específicas, incluidos ARNpi y microARN, que son capaces de silenciar o regular tanto a las secuencias de ARNm que les dieron origen como a una gran cantidad de genes codificantes dentro del genoma. Al no ser descifrados por los ribo-

ARNpi: silenciamiento garantizado

Los ARNpi, como su nombre lo indica, son pequeñas porciones de ARN que guían el mecanismo de interferencia, el cual permite suprimir la expresión génica (un proceso altamente específico en el cual un gen se *enciende* en un momento determinado y comienza la producción de su proteína) en plantas, hongos, animales y humanos. La interferencia del ARN representa un mecanismo de defensa de la célula contra la infección por virus de ARN de doble cadena, como los rotavirus (causantes de diarrea severa en los infantes), y contra material genético extraño, como los *transposones* (elementos genéticos móviles dentro del genoma). Este mecanismo es activado cuando en la célula hay moléculas de ARN de doble cadena que dirigen la destrucción de moléculas de ARNm al reclutar una maquinaria bioquímica, denominada Complejo de Silenciamiento Inducido por ARN (RISC, por su sigla en inglés), el cual comprende un coctel de enzimas, entre ellas, la enzima Argonauta 2, que es la principal encargada de destruir el (los) blanco(s) (ver la figura 4). Cuando las moléculas de ARNm son degradadas, se dice entonces que el gen correspondiente es silenciado y no produce más proteínas.

MicroARN: silenciadores génicos por naturaleza

Sorprendentemente, los ARNpi y los microARN comparten la misma maquinaria celular para su biogénesis y para el silenciamiento génico, aunque su origen es distinto (ver la figura 4). Para el caso de los ARNpi (principalmente en plantas), éstos pueden ser producidos en el núcleo de la célula cuando un ADN es copiado a ARN en ambas direcciones (transcripción bidireccional), lo que genera largos ARN de doble cadena. Además, los ARNpi pueden ser generados de forma artificial (*in vitro*) e introducidos a la célula para promover silenciamiento génico. Por el contrario, los microARN se generan en distintas especies, a partir de una estructura en forma de horquilla que es codificada por el genoma, la cual se denomina microARN primario (pri-microARN). Esta estructura es sometida a un corte inicial por una enzima llamada Drosha. El corte origina una estructura conocida como microARN precursor (pre-microARN) que tiene un tamaño de aproximadamente 60 a 70 nucleótidos. Este precursor es exportado al citoplasma de la célula, por la proteína denominada exportina 5, y “madurado” por Dicer, que, al igual que Drosha, reconocen y cortan sólo ARN de doble cadena, siendo esta última la que genera los ARNpi y microARN maduros de 21 a 23 pares de bases, listos para la supresión génica (ver la figura 4).

No obstante, estas dobles cadenas tienen que separarse, pues sólo una de las dos (la cadena guía o antisentido) será incorporada a RISC y podrá dirigir la destrucción de mensajeros específicos, evento que no sucede con los ARN antisentido clásicos, al no estar en forma de doble cadena. Después de haber cortado el blanco, ambos ARN silenciadores se mantienen intactos y pueden guiar el reconocimiento y destrucción de mensajes adicionales (tal vez cientos o miles), lo que incrementa en gran medida el poder silenciador mediado por estos minúsculos ARN (ver la figura 4).

Un aspecto relevante es que, a diferencia de los ARNpi, en el caso de los microARN, una vez que se acoplan al ARNm que se desea silenciar, la complementariedad de sus nucleótidos no es perfecta. En la mayoría de las veces, existen regiones del microARN que quedan sin acoplarse al mensaje y forman “burbujas”. Este simple hecho define si el ARNm será degradado o simplemente se inhibirá su traducción. En el caso de las plantas, la degradación de los ARNm es más favorecida porque el acoplamiento de los microARN es perfecto o casi perfecto, al igual que en el caso de los ARNpi (ver la figura 4).

Pero no sólo en las células eucariotas –células que almacenan su material hereditario dentro de un núcleo celular, rodeado de una doble membrana– podemos encontrar microARN, sino también en ciertos virus. Un aspecto interesante es que estos microARN virales pueden regular ARNm humanos específicos, para favorecer la replicación del virus, al explotar la maquinaria de silenciamiento de la célula. Por mencionar un ejemplo, el genoma del Virus Simio 40 (SV40, por su sigla en inglés) genera un microARN precursor, del cual derivan dos microARN maduros, en estadios tardíos de la infección y que incrementan las probabilidades de una infección exitosa, pues las células infectadas con estos

global de los microARN virales sobre la expresión génica de las células y de los propios virus se está investigando.

El potencial de ambos ARN silenciadores como agentes terapéuticos

El área del silenciamiento de genes ha sido motivo de múltiples estudios, no solamente por su extraordinaria biología sino también por su potencial para el desarrollo de nuevas alternativas terapéuticas útiles para el tratamiento de enfermedades contra las cuales en la actualidad no se cuenta con una terapia eficaz, lo que incluye enfermedades tanto de origen viral como genético. Dado que la interferencia por ARN se logra mediante la interacción específica entre secuencias de los ARNpi y de los microARN con sus ARNm, estos ARN silenciadores pueden ser diseñados para silenciar casi a cualquier gen, de manera que podrán ser utilizados a una escala asombrosa, en diferentes áreas de las ciencias de la vida.

Por otro lado, los microARN han sido implicados en el control de una serie de procesos biológicos de importancia, entre los que se incluyen el ciclo celular (tiempo en que la células crecen y deben dividirse) durante la embriogénesis, el control del tamaño de órganos y tejidos durante el desarrollo, el momento en que una célula debe morir (apoptosis), entre otros procesos, lo que sugiere que estos diminutos ARN podrían regular diversos procesos biológicos asociados con enfermedades humanas.

Recientemente, sofisticadas estrategias experimentales y bioinformáticas han sido desarrolladas para identificar secuencias que codifican para microARN dentro del genoma de varios organismos modelo, que van desde gusanos hasta humanos. David Bartel, profesor investigador del Instituto Tecnológico de Massachusetts, en Estados Unidos, ha sugerido que más de una tercera parte del genoma humano es regulado por microARN, de manera que potencialmente todas las vías celulares podrían ser controladas por estos diminutos ARN, lo que, sin duda, representa otro sistema de regulación existente en las células. Por otro parte, a fines de 2003, un grupo de científicos norteamericanos identificó 400 genes en el genoma humano que son blanco de microARN y, a la fecha, casi 600 microARN humanos han sido aislados. Ésta es una de las razones por las que, últimamente, los microARN son el método elegido por los investigadores para elucidar la función de los genes.

Sin embargo, aún permanecen algunas preguntas críticas sobre estos pequeños reguladores, y es que, en principio, no sabemos con certeza cuál es el número real de microARN que existen en la célula; cómo diferentes ARNm son el blanco de un microARN en particular y cómo muchos microARN regulan un ARNm blanco de forma específica. Craig Mello reconoce que tardaremos años en resolver varias preguntas concernientes a la interferencia por ARN, y aunque es un mecanismo muy poderoso, aún se está lejos de una revolución médica atribuible al ARN. No obstante, estas herramientas moleculares están siendo exploradas como potenciales estrategias terapéuticas, tomando ventaja de la maquinaria natural de silenciamiento de ARN. Prueba de ello ha sido el surgimiento de *Bevasiranib*, un fármaco

ACAC, es una de las empresas, que ha confiado en el recurso humano y técnico de Pagosonline.net, para poder recibir los recaudos por suscripción a su revista. A través de una plataforma robusta y segura. Es por eso que Pagosonline.net se ha comprometido con esta institución ofreciéndole el mejor servicio y las mejores tarifas del mercado.

mejores tarifas del mercado.
ofreciéndole el mejor servicio y las

Visítanos en:

<http://www.pagosonline.net>

O contactanos en:

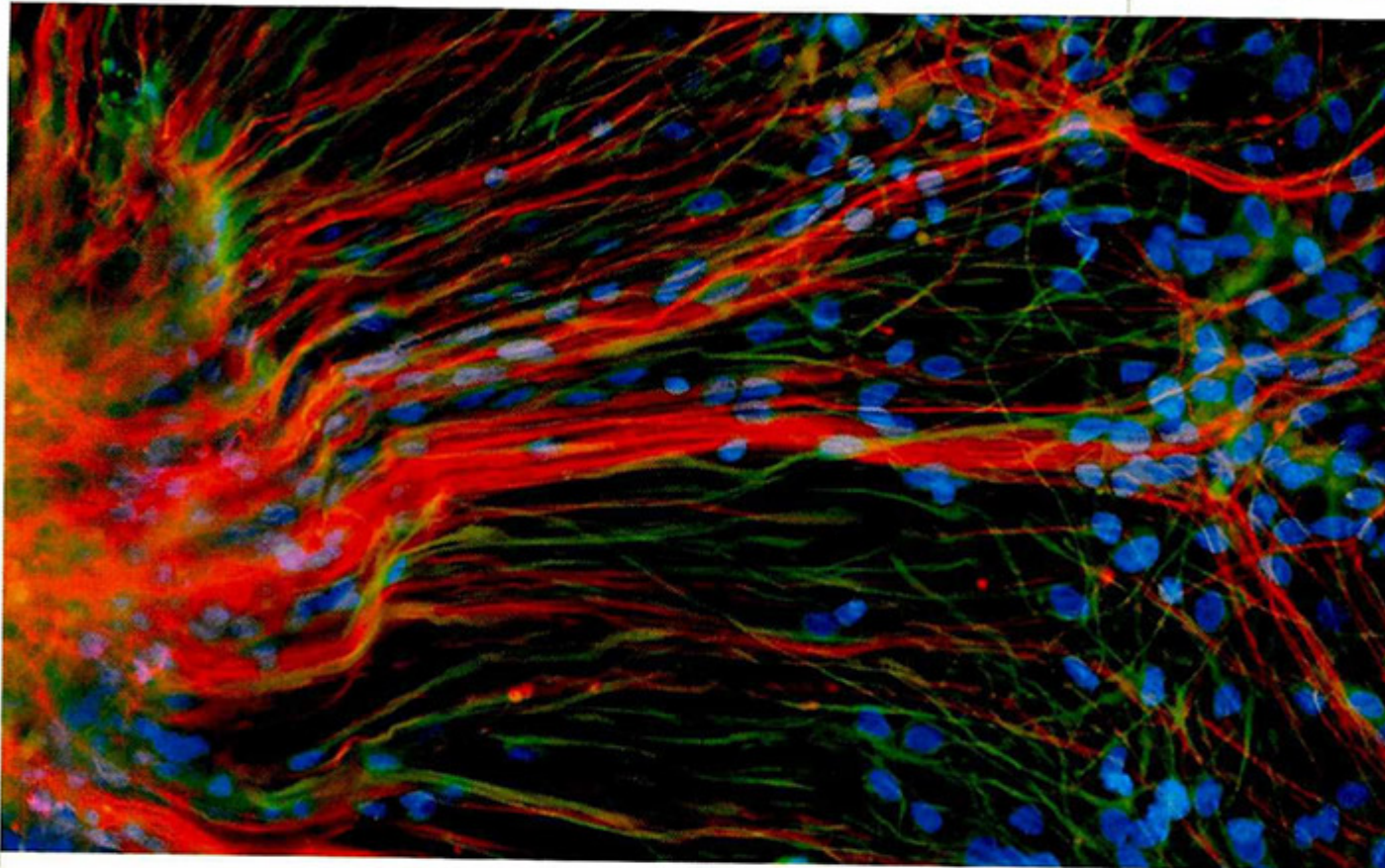
Info@pagosonline.net

pagosonline.net 

El pago seguro en Internet

El pago seguro en Internet

El pago seguro en Internet



desarrollado por la compañía norteamericana Opko, que propicia la interferencia por ARN y que ha alcanzado una fase avanzada de ensayos clínicos. Se trata de un fármaco para tratar la degeneración macular senil húmeda, una enfermedad ocular que genera ceguera en ancianos. En este padecimiento se produce un exceso de la proteína llamada Factor de Crecimiento del Endotelio Vascular (VEGF, por su sigla en inglés), y el fármaco ejercería el silenciamiento del gen que permite su síntesis.

Al respecto, también es posible disminuir los niveles de microARN que se encuentren aumentados, mediante ARN antisentidos (anti-microARN), remplazarlos cuando estén ausentes o incluso modular la expresión de los ARNpi que son introducidos a la célula, cuando ya no se requiera su acción silenciadora. Esta última aproximación es posible, debido a que ambas moléculas son muy compatibles entre sí.

En los últimos años, el ARN está siendo observado con nuevos ojos, debido a que cada vez aparecen más tipos de ARN, con funciones importantes y muy diversas, que constituyen un mundo de ARN. Pero, como podemos ver, queda mucho por descubrir en este microcosmos, e incluso no es de dudarse que muy pronto existirá una nueva área del conocimiento dentro de la genómica, que muy bien podría llamarse *microARNómica*.

Referencias

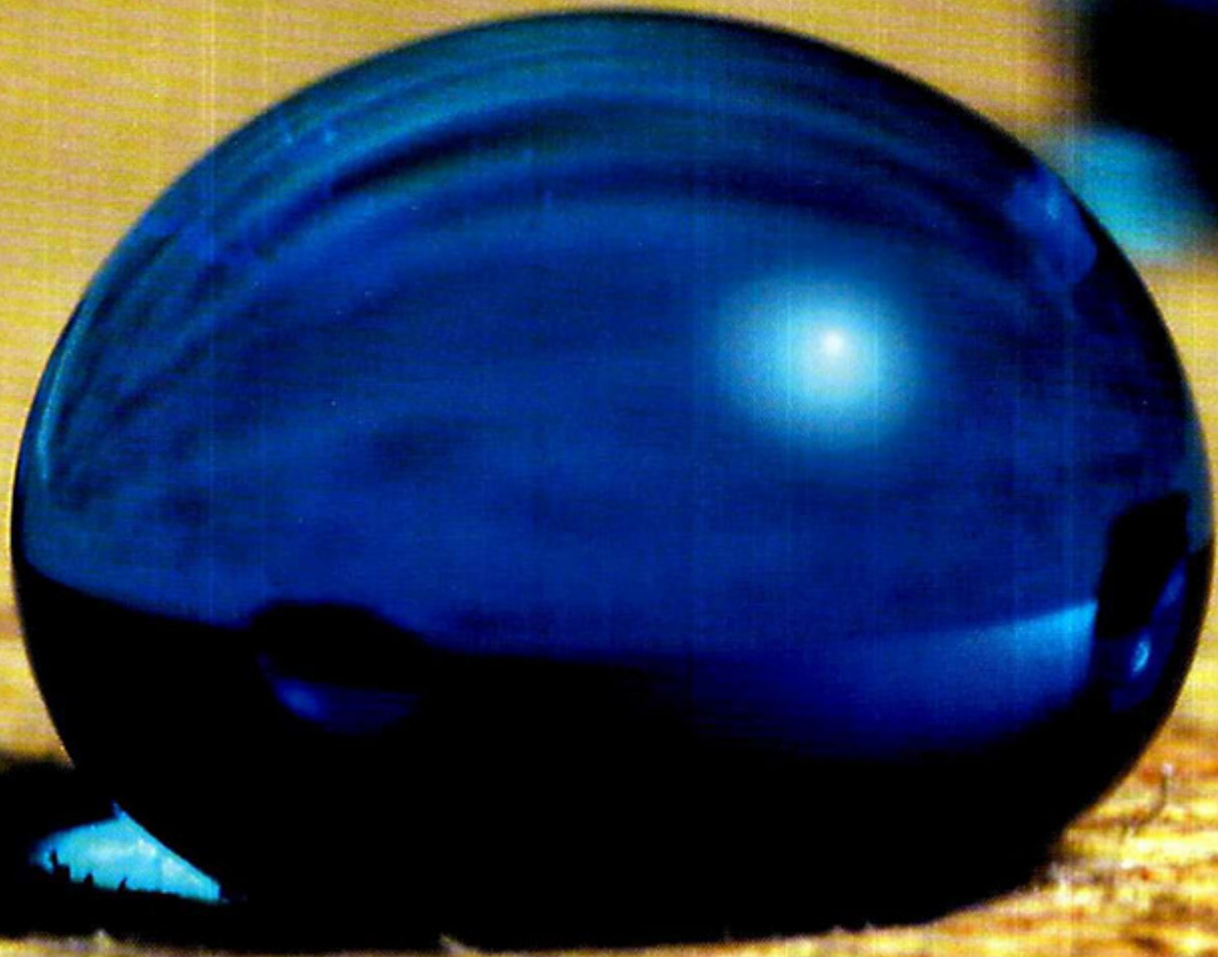
Aquino Jarquin, G. (2007), Las ribozimas, moléculas terapéuticas en experimentación, *Revista Ciencia y Desarrollo*, Vol. 33, No. 205, pp. 24-29.

Bartel, D. P. (2004), MicroRNAs: Genomics, Biogenesis, Mechanism, and Function, *Cell*; Jan 23; 116(2): 281-97.

Ouellet, D. L., Perron, M. P., Gobeil, L. A., Plante, P. y Provost, P. (2006), MicroRNAs in Gene Regulation: When the Smallest Governs It All, *J Biomed Biotechnol.*; 2006(4):69616.

Rana, T. M. (2007), Illuminating the Silence: Understanding the Structure and Function of Small RNAs, *Nat Rev Mol Cell Biol.*; Jan;8(1): 23-36.

La economía del hidrógeno en Colombia



Hernán Carvajal-Osorio,
Ph.D., I.E.&N.

Ingeniero Electricista y Nuclear
Profesor investigador de la Universidad
de América y de la Universidad
La Gran Colombia, Bogotá, Colombia

Introducción

El hidrógeno (H_2) viene adquiriendo renovado interés como posible elemento clave en el desarrollo energético del mundo moderno. Hoy se habla de una *Economía del Hidrógeno* (EH_2) (Rifkin, 2002)¹, que se cree entrará a regir plenamente a partir de la segunda década de este siglo como alternativa energética y en sustitución progresiva de los combustibles fósiles. Más aún, se plantea (Rifkin, 2002: 9-11) que el empleo del hidrógeno a gran escala producirá una revolución económica y social, por el hecho de que la utilización de dicho elemento como generador de electricidad permitirá un manejo muy amplio y de alcance directo por parte de todos los humanos para abastecerse de la energía que necesiten. Así, la situación actual de dependencia total de unos pocos suministradores y negociadores de la energía desaparecería.

A dicho escenario de la EH_2 contribuirán también los sistemas computacionales cada vez más sofisticados, con los cuales se facilitará la operación y manejo de redes automatizadas de suministro energético, con generación y consumo de electricidad operados por los mismos usuarios, en un esquema bien diferente del convencional, que está supeditado al suministro desde grandes centrales eléctricas a cargo de un número reducido de empresas. Incluso se prevé la conformación de una red electrónica del tipo World Wide Web (www), que se llamaría *Hydrogen Energy Web*, HEW (Rifkin, 2002: 9), encargada de todas las operaciones energéticas.

Actualmente, el mayor interés en el H_2 surge de la necesidad del sector transporte de reducir su casi total dependencia del petróleo y, a la vez, disminuir la grave contaminación ambiental que causa. El H_2 alimentaría celdas de combustible que producirán electricidad para mover los vehículos eléctricos. Estos dispositivos generadores también tendrán amplio uso en otras aplicaciones tanto móviles como estacionarias.

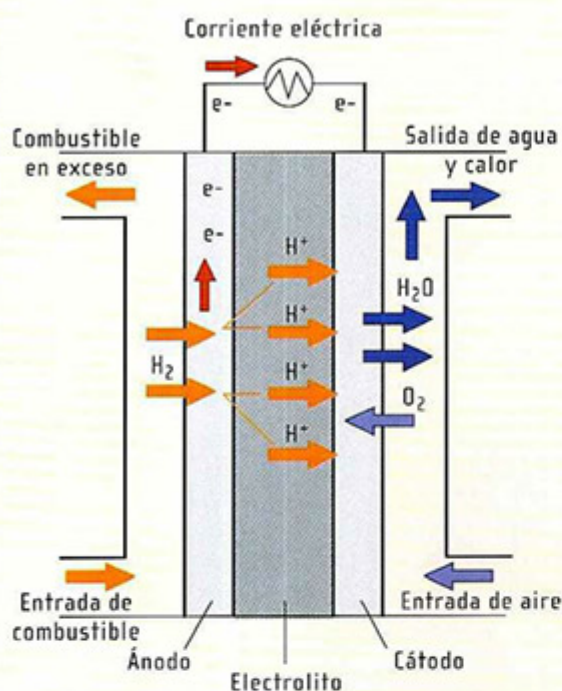
Las celdas de combustible (inventadas por W. Grove desde 1839) adquirieron auge a raíz de su utilización en las misiones espaciales, donde producen electricidad dejando sólo agua como residuo, dos elementos indispensables en dichos viajes. Sus ventajas, incluida su mayor eficiencia, las hacen muy apropiadas para múltiples aplicaciones en sistemas móviles y estacionarios, donde, además, pueden favorecer la utilización de las energías renovables con reducido impacto ambiental.

La situación energética mundial enfrenta una población creciente y con mayores necesidades de energía. La explotación de una fuente de energía renovable, con el ineludible aumento de la dependencia de com-

El hidrógeno viene adquiriendo interés como elemento clave en el desarrollo energético del mundo moderno.

1. El término Economía del Hidrógeno fue introducido por el estadounidense Henry Linden, presidente fundador del Institute of Gas Technology de Chicago.

Celda de combustible



además de las dificultades económicas y políticas ocasionadas por la volatilidad en los precios de los energéticos convencionales.

Actualmente, dentro de las investigaciones que se adelantan en muchos países sobre la energía y su impacto ambiental, el H_2 ha sido incluido como elemento central de una futura economía basada en su utilización. Se busca la producción de celdas de combustible más económicas y duraderas, a la par de metodologías optimizadas para la obtención del H_2 y diferentes opciones para su almacenamiento, contrarrestando la baja densidad energética de su estado gaseoso. Ya Estados Unidos y la Unión Europea han fijado como meta hacer una realidad la EH_2 a partir de la segunda mitad de la próxima década.

Colombia presenta una serie de condiciones altamente favorables a la EH_2 , incluidos abundantes recursos energéticos primarios; como se resalta en este artículo, se puede concluir sobre la importancia de adentrarse en esta nueva tecnología que seguramente tendrá alcance global. Así, el H_2 podrá convertirse en componente principal de la cadena energética nacional, incluso con posibilidades de exportación ante una demanda mundial que se presentará en un futuro no lejano, todo en procura del desarrollo sostenible del país.

En este documento se revisan los aspectos más relevantes del H_2 y su posible utilización en Colombia como elemento intermedio en la cadena energética, como resultado de los estudios hasta ahora adelantados en la Universidad de América por el Grupo de Investiga-

ciones en Energías Alternativas (IENA), bajo la dirección del autor, con el apoyo de proyectos de grado en varias ramas de la ingeniería.

El hidrógeno: características y utilización

El interés por el hidrógeno tiene que ver con varias de sus propiedades, principalmente, su alto poder energético, su disponibilidad en casi cualquier lugar (en forma de compuestos) y el muy reducido impacto ambiental al utilizarlo.

El H_2 es la sustancia con el mayor contenido energético por unidad de masa: 120 MJ/kg (aproximadamente, tres veces el de la gasolina). Al efectuarse su oxidación, ya sea por combustión directa o en intercambio iónico en las celdas de combustible, el subproducto es agua. De otro lado, por ser un elemento gaseoso muy liviano, requiere ser almacenado a muy altas presiones para lograr suficientes cantidades de energía en volúmenes razonables. Su alta densidad energética se consigue en estado líquido, pero para licuarlo se necesitan temperaturas extremadamente bajas ($-253^\circ C$), lo cual presenta dificultades prácticas y alto consumo de energía. Se investigan otros modos de almacenamiento, por ejemplo, formando hidruros con ciertos metales, o en nanotubos de carbono, tecnologías prometedoras actualmente en desarrollo. Otro modo muy conveniente sería producir metanol a partir del H_2 , ya que se puede almacenar como cualquier otro combustible líquido con alta densidad energética.

Por no encontrarse el H_2 en estado libre en la naturaleza (excepto en cantidades insignificantes²), es necesario producirlo por algún medio. Esto hace que el H_2 sea un elemento intermedio en la cadena energética para almacenamiento y transporte de la energía; debiendo ser claro que la energía obtenida al usar el H_2 será siempre menor que la empleada en su producción³. Esto se presta para cuestionamientos a la utilización del H_2 , por lo que se requiere demostrar sus importantes ventajas, para insistir en su aprovechamiento.

El H_2 puede ser producido de manera controlada y segura en centros de procesamiento a partir del agua y otros compuestos hidrogenados, siendo la forma más convencional a partir del gas natural y de

2. En la naturaleza existen mecanismos, principalmente de carácter orgánico, que liberan hidrógeno al ambiente pero en cantidad prácticamente no detectable en la atmósfera. No se consigue en mayores concentraciones, precisamente, porque siendo un elemento muy liviano escapa fácilmente de la gravedad terrestre. De otro lado, es el elemento más abundante en el Universo y en la biosfera, en ésta, en forma de compuestos, principalmente agua.

3. De los medios para producir H_2 , por ejemplo, la electrólisis (descomposición del agua por acción de la electricidad) tiene un rendimiento de apenas el 25-35%. Otros procesos, como el reformado con vapor de agua de combustibles fósiles, presentan rendimientos



Turbina eólica generadora de electricidad que puede ser utilizada para producir hidrógeno por medio de la electrólisis

actualidad prima la obtención por descomposición del gas natural, medio que está siendo considerado como de transición hacia otras formas mucho menos contaminantes basadas en energías renovables, como las energías solar y eólica, la biomasa y la hidroelectricidad, entre otras. También se considera la energía nuclear por sus ventajas de alta intensidad y ausencia de gases de efecto invernadero. Muy próximamente, las plantas de gasificación contarán con la nueva tecnología de recolección (o "secuestro") del bióxido de carbono (CO_2) producido en la combustión, para evitar su emisión a la atmósfera. Este gas será almacenado en grandes depósitos geológicos o en el fondo del mar, o puede ser utilizado inyectándolo a pozos de recuperación mejorada de petróleo pesado.

El aprovechamiento de procesos microbiológicos para generar H_2 , así como su producción directa por metabolismo de cierto tipo de algas, también son motivo de investigación intensa⁴. En Colombia ya se estudia la utilización de las denominadas hidrogenasas⁵, con la ventaja de su alto rendimiento al ser explotadas en el medio tropical.

Contar con el H_2 como depósito de energía ayuda a solventar uno de los principales inconvenientes de la electricidad: el no dejarse almacenar, característica que exige costosos y nunca lo suficientemente efectivos sistemas de almacenamiento de energía, casi siempre en forma de energía química en baterías. En cambio, el H_2 producido en momentos de exceso de energía barata serviría muy bien de depósito temporal para su posterior utilización. Esto precisamente lo convierte en gran aliado de las energías renovables, ya que varias de éstas, por su naturaleza, presentan fuertes variaciones que limitan y encarecen su uso. El H_2 entraría a aminorar dichos efectos, permitiendo suministrar la energía en forma más continua y confiable, con la consecuente reducción de costos. Si bien la utilización de fuentes renovables de energía primaria para la generación de H_2 requiere de inversiones de capital más elevadas, la ausencia de los costos por combustible en su operación harán rentables, a la larga, dichos sistemas, además de reducir el impacto ambiental.

En cuanto a la seguridad en la manipulación del H_2 , este elemento se ha reconocido como riesgoso

4. Joel K. Bourne, Jr., "Sueños verdes", *National Geographic en Español*, Vol. 21 (octubre de 2007), No. 4, pp. 22-43.

5. Se informa de varios desarrollos al respecto en proceso de patentar; J. C. Borrero, comunicación personal, junio de 2006.

6. En el muy conocido caso asociado con el H_2 de la destrucción del zepelín alemán Hindenburg, ocurrida a su llegada a Nueva York, en 1935, investigaciones recientes demostraron que el incendio del zepelín se produjo más por el material inflamable con que estaba recubierto el cuerpo del mismo, y que si bien el H_2 contribuyó como combustible, no



Bus movido por hidrógeno.

7. La reacción nuclear de fusión se produce al juntar los núcleos atómicos de los isótopos del hidrógeno deuterio y tritio (el primero existe en la naturaleza en muy pequeñas concentraciones y el segundo es producido artificialmente), para formar un núcleo de helio. Al fusionarse dichos elementos, la desaparición de masa que ocurre aparece como energía, según la ecuación de Einstein: $E = mc^2$, el fenómeno que ocurre en el Sol respecto a su energía.

8. Un excelente relato histórico del desarrollo de las aplicaciones del hidrógeno y las celdas de combustibles puede verse en el libro de Hoffmann, 2002.

9. Ver: <http://hydrogen.pnl.gov/cocoon/morf/hydrogen/>, consultado: octubre 7/07.

10. Ver S. Segura y R. Pinzón, "Diseño del sistema de almacenamiento y suministro de hidrógeno para la producción de energía eléctrica mediante celdas de combustible", Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de América, Bogotá, 2007.

niente adicional de que su llama es prácticamente invisible, a la vez que es incoloro e inodoro. Aunque no es tóxico, una alta concentración desplazaría el oxígeno necesario para la vida, pudiendo ocasionar asfixia. De otro lado, por ser tan liviano, rápidamente se dispersa en el ambiente, evitando peligrosas acumulaciones y, por tanto, reduciendo considerablemente su potencialidad explosiva. Surge otra preocupación al conocerse el uso de ciertas variedades del H_2 en las bombas atómicas. Sin embargo, en este caso, se trata de reacciones de fusión nuclear⁷, las cuales requieren de unas condiciones extremas de millones de grados de temperatura para que se produzca el fenómeno, condiciones totalmente fuera del alcance de cualquier sistema convencional.

La producción y uso del hidrógeno no son nada nuevo⁸, pues éste se utiliza en cantidades importantes en las refinerías de petróleo, para aligerar los destilados del petróleo y reducir contaminantes, así como para la fabricación de amoníaco y otros petroquímicos. También se emplea en la industria alimenticia (hidrogenación de grasas) y en la industria electrónica (fabricación de semiconductores), entre otras aplicaciones. Actualmente, en el mundo se producen más de 20 millones de toneladas anuales de hidrógeno, con 16.100 kilómetros de gasoductos que transportan el H_2 entre refinerías cercanas de Estados Unidos y Europa⁹. También, los grandes cohetes espaciales utilizan el H_2 como combustible propulsor, además de emplear celdas de combustible a bordo de las naves, para proporcionar electricidad y agua de consumo a los astronautas. Lo mismo se hace en los submarinos.

Entre las aplicaciones más novedosas, se están desarrollando celdas de combustible para suplir la electricidad de sistemas muy diversos, desde computadores portátiles y celulares hasta plantas de suministro eléctrico de mediana potencia, pasando por automotores livianos y buses. Actualmente circulan en varias ciudades buses eléctricos de transporte público en prueba, que utilizan celdas de combustible. Incluso, se hacen ensayos de prototipos de trenes eléctricos y aviones movidos por H_2 . Los principales fabricantes de carros en el mundo cuentan ya con vehículos híbridos prototipo a base de H_2 . Adicionalmente, se considera el uso de celdas de combustible estacionarias para el suministro eléctrico a sectores residenciales, comerciales y de servicios¹⁰, con generación a cargo de los mismos usuarios y en múltiples puntos de la red, en el modo denominado de generación distribuida.

El paradigma energía-medio ambiente

La situación que actualmente se debate intensamente en el mundo es el aprovechamiento energético y su estrecha relación con los efectos medioambientales negativos que está causando. Esto tiene dos

la eléctrica, junto con materia también de más alta calidad, es decir, productos más elaborados y sofisticados, como carros, electrodomésticos, etc.; todo para satisfacer el deseo de la humanidad de mayor comodidad y bienestar, pero en cuestionamiento actualmente por los excesos en que está incurriendo la sociedad moderna. Lo anterior, necesariamente, se ve reflejado en una creciente demanda de energía y de recursos de todo tipo, impulsada por una población en aumento, con necesidad de mayor cantidad de energía per cápita, situación más evidente en países de rápido crecimiento económico.

Sin embargo, las leyes de la naturaleza establecen serias limitaciones, generalmente excedidas por el hombre. Se trata de las leyes de la termodinámica¹¹, que establecen que cada transformación energética y cada uso que se hace de la energía contribuyen obligatoriamente a desmejorar el medio. Como la energía se conserva (1ª ley), la cantidad invertida en cierto proceso de ordenamiento para aumentar la calidad proviene necesariamente del medio que rodea al sistema, que luego de su transformación queda como energía degradada (aumento de la entropía¹², por la 2ª ley). Esto constituye los fundamentos que rigen inexorablemente la relación energía-medio ambiente, con sus efectos sobre la naturaleza, incluido el hombre mismo. Querer ignorar y sobrepasar estos principios es la razón principal de la crisis medioambiental.

Es así como la humanidad se enfrenta hoy a un dilema difícil de resolver: necesidad con intensidad creciente de la energía, frente a la naturaleza, que establece límites y condiciones al aprovechamiento de sus recursos. De aquí surge como lo más indicado el *uso racional de la energía* (URE); esto es, el empleo de cantidades suficientes de energía para el logro de su beneficio, pero sin desperdicio ni despilfarro. La situación empeora cuando, adicionalmente a las limitaciones de la termodinámica, la economía de muchos países funciona haciendo gran derroche de energía. Por ejemplo, en Estados Unidos sólo se aprovecha un 10% de la energía total que entra al sistema, (Miller, 2002), condición que no puede ser sostenible, ni habrá medio ambiente que la resista, de continuar esta práctica. Otra consecuencia de dichos principios es que se convierte en falacia la tan usada expresión de *energías limpias*, pues no existe forma de explotación de la energía que no tenga impacto sobre la naturaleza.

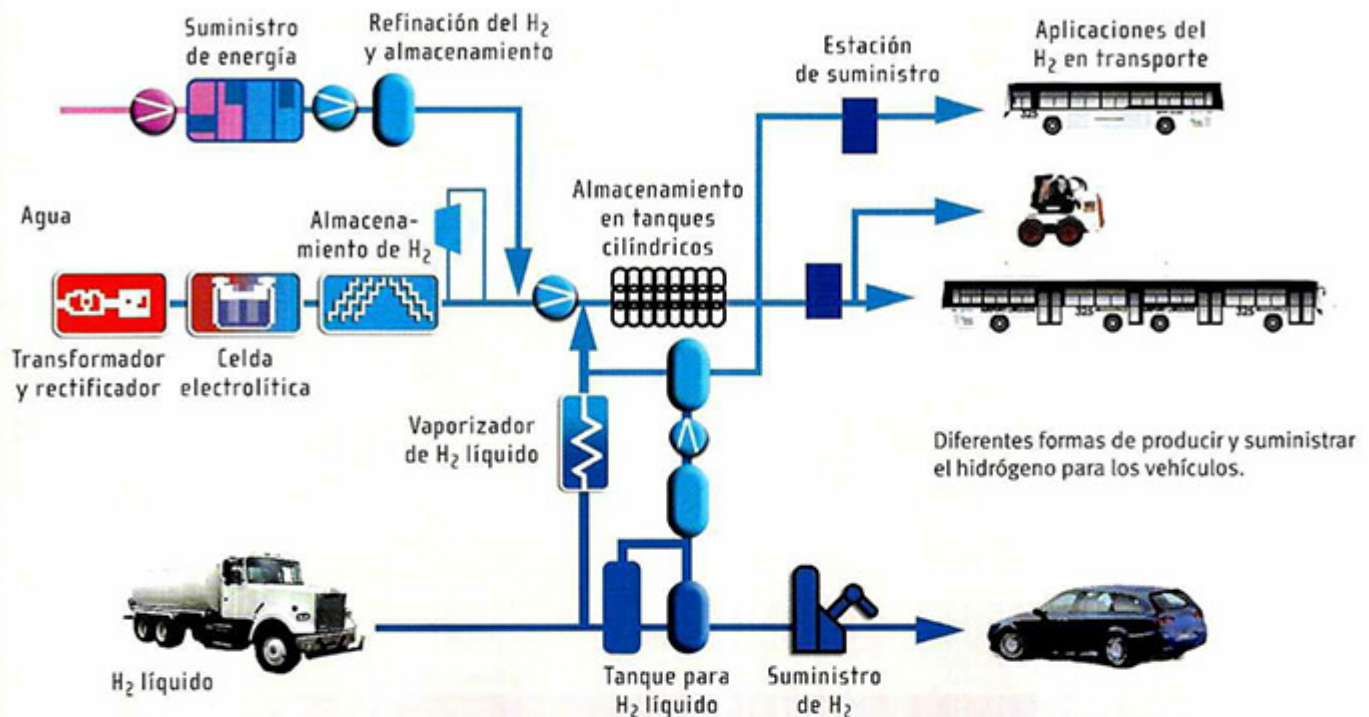
También debe tenerse en cuenta para el suministro de la energía que, además de los recursos primarios para su producción, es necesario contar con medios para transformarlos y hacerlos útiles, así como para su transporte y distribución hasta el usuario final, tarea nada fácil por la magnitud requerida y que a su vez pide más energía para seguir funcionando.

11. Precisamente, Einstein se refería a las leyes de la termodinámica diciendo: "Es la única teoría física de contenido universal de la cual estoy convencido de que, dentro del marco de aplicabilidad de sus conceptos básicos, nunca será abatida". En O. Levenspiel, *Understanding Engineering Thermodynamics*, Prentice Hall, Upper Saddle, N. J., 1996, p. 4.

12. *Entropía* es el parámetro que cuantifica el grado de desorden del Universo o del sistema en particular que se está tratando. La segunda ley de la termodinámica indica que la energía siempre fluye en un proceso de pérdida de calidad (o aumento de la entropía), en la medida que realiza su trabajo. De aquí surge el hecho de que cualquier transformación o proceso energético implica necesariamente una mayor degradación de la naturaleza.



Suministro de hidrógeno para aplicaciones en transporte



Diferentes formas de producir y suministrar el hidrógeno para los vehículos.

13. Esto hace referencia a la curva de forma de campana descrita por el geofísico M. King Hubbert cuando trabajaba con la Shell, en 1956. Se aplica para describir y analizar el comportamiento de recursos finitos, inicialmente aplicada para el petróleo. En J. Rifkin (2002), p. 25.

14. Se espera para los próximos 20 años un crecimiento de la demanda de energía por encima de 50%, con aumento del 40% en el consumo de petróleo. A pesar del gran desarrollo actual de las energías renovables, su aporte no superará el 20% en el mediano plazo, indicando la continuación de la fuerte dependencia de los combustibles tradicionales. Ver Energy Information Agency, *World Energy Outlook*,

En cuanto a disponibilidad de los recursos energéticos, cuando actualmente parece que no se llegará tan pronto al tan anunciado agotamiento de los combustibles convencionales, motivo de preocupación en la segunda mitad del siglo pasado, ahora la atención se centra en los efectos medioambientales. Son de todas maneras recursos finitos cuya intensidad de explotación en algún momento, próximo o no, llegará al punto máximo de la curva de Hubbert¹³. Se especula en la actualidad sobre cuándo se alcanzará dicho máximo, dando inicio, por tanto, al descenso en la capacidad de abastecimiento frente a una demanda creciente¹⁴. Algunos analistas consideran que ya se alcanzó dicho punto y que ésta es la razón principal de la fuerte subida de los precios del petróleo. Llegada la anterior situación, se causarían serios inconvenientes a la humanidad, por la escasez y mayores alzas de los costos de los combustibles, con tendencia a aumentar los dominios en el suministro.

La circunstancia anterior tiene la suficiente potencialidad de convertirse en catástrofe para la humanidad, principalmente en las naciones de menores recursos, cuando para enfrentar la situación de escasez de combustibles tampoco cuentan oportunamente con alternativas energéticas suficientes. La EH₂ tiene el potencial de cambiar este escenario trágico si se cuenta con suficiente materia prima para producir H₂ utilizando energías renovables, de acuerdo a las características especiales que se detallan más adelante.

Ante las evidencias preocupantes de los efectos medioambientales de las actividades del hombre, como el calentamiento global (Gore, 2007; IPCC, 2006), se piden mayores restricciones al uso inadecuado de la energía, lo cual obliga a considerar seriamente alternativas válidas que deben ajustarse a las condiciones de cada país, incluido el cambio en actitudes y costumbres de sus habitantes.

Ante tales realidades, la tecnología seguirá dando respuestas, como lo es la EH₂; pero no se lograrán los resultados esperados si no se atienden simultáneamente los factores sociales y económicos. La existencia de consideraciones políticas y de grandes intereses, junto con la desigualdad, entre otros, hacen la situación mucho más compleja, para lograr el desarrollo sostenible. Es en este convencimiento que se ha considerado la importancia de que en Colombia se dé impulso a la investigación y el desarrollo de las energías alternativas, específicamente, en lo relacionado con la EH₂.

La relación hidrógeno-electricidad y las celdas de combustible

Es interesante destacar ciertas circunstancias y características que establecen una estrecha relación de complementariedad entre el H₂ y la electricidad, lo cual ciertamente está contribuyendo al desarrollo actual de la EH₂.

Ambos, el H₂ y la electricidad, son básicamente elementos de transferencia energética de gran capacidad, a la vez complementarios, el primero como repositorio de energía, solventando la conocida desventaja de la electricidad de su difícil almacenamiento. Esta sinergia H₂-electricidad, junto con la obtención de agua como subproducto, fue ciertamente la que dio nuevo impulso al empleo de las celdas de combustible, al ser introducidas en la carrera espacial. Surgen ahora otras propuestas tecnológicas avanzadas de gran perspectiva, como es el caso, por ejemplo, de la construcción de ductos especiales criogénicos para el transporte masivo y a grandes distancias, conjuntamente, de electricidad e hidrógeno líquido¹⁵. Así se aprovecharían las propiedades de la superconductividad que presentan ciertos materiales a muy bajas temperaturas, junto con la máxima densidad energética del hidrógeno al transportarse en estado líquido. Se tendrían así grandes *autopistas* de energía que facilitarían su transporte de manera incluso transcontinental.

En las celdas de combustible, reacciones electroquímicas sobre el H₂ producen electricidad con eficiencias relativamente altas, entre 40 y 60%, mayores que las obtenidas con máquinas convencionales, con la ventaja adicional de que, en tamaño pequeño, la eficiencia tiende a aumentar, contrariando la "ley" de escala. Esta característica las hace muy atractivas para los usos a escalas mediana, pequeña y micro, abriendo gran variedad de posibles aplicaciones y promoviendo, además, el empleo de las energías renovables como fuentes primarias para producir el H₂.

Se añade el hecho de que las celdas de combustible pueden operar en sentido inverso al explicado para su funcionamiento; es decir que, suministrando electricidad a la celda, prácticamente se tiene un electrolizador que produce hidrógeno y oxígeno por descomposición del agua. Siendo así un proceso casi reversible, puede considerarse el aprovechamiento de esta característica en celdas que funcionarían de una u otra forma, según la disponibilidad del H₂ y la demanda de electricidad en el sistema.

La estrecha relación hidrógeno-electricidad también puede ser bien aprovechada en aplicaciones de transporte, donde el hidrógeno sirve de combustible que alimenta celdas de combustible para vehículos movidos eléctricamente, en los denominados vehículos híbridos¹⁶. Lograr la independencia del petróleo y cero emisiones contaminantes en el sitio de uso –además de una operación simplificada al usar controles computarizados, con reducido número de piezas mecánicas que se desgasten, y en ausencia de ruido– son características muy ventajosas para el empleo del H₂ en los vehículos, razones suficientes para las grandes inversiones de gobiernos de los países desarrollados y de los fabricantes de automóviles más importantes, a fin de producir comercialmente un carro eléctrico de suficiente alcance movido por H₂.

La economía del hidrógeno y su proyección

La economía de hidrógeno (EH₂), en un futuro no muy lejano, será de oportunidad para convertir en generadores de electricidad a los hasta ahora usuarios dependientes, siempre y cuando se cuente oportunamente con suficiente hidrógeno y con celdas de combustible asequibles y duraderas, para producir electricidad en casi cualquier lugar. Esto significará cambios fundamentales en el aprovechamiento de la energía, principalmente, en el suministro y disponibilidad de la electricidad, que, siendo la forma de energía a predominar en el futuro, determinará en gran medida el grado de desarrollo de las sociedades. He aquí la importancia de la EH₂ como complemento de otras alternativas.

Los esfuerzos mundiales que hoy están centrados en la aplicación del H₂ en el transporte, a su vez, incidirán positivamente en otros usos extensos de este elemento, una vez logradas celdas de combustible mejoradas y más económicas, siempre y cuando se cuente con medios de producción y suministro

15. Paul M. Grant et al., "Una red de energía para la economía del hidrógeno", *Investigación y Ciencia*, septiembre de 2006, pp. 53-59.

16. En la actualidad se ofertan comercialmente carros híbridos pero basados en motores pequeños de gasolina o diesel, encargados de mover un generador de electricidad que alimenta la parte motriz del carro eléctrico. Para el futuro, se considera sustituir el motor de gasolina por una celda de combustible, como ya se hace en prototipos que funcionan.

17. Más información en varios sitios de Internet, por ejemplo: www.eere.energy.gov, www.doe.gov/energysources/, www.asociacion-hidrogeno.com, www.airproducts.com.co.

El H₂ también puede usarse como combustible directo de alto poder energético, por ejemplo, en motores de combustión interna, modalidad que no parece tan atractiva al lado de celdas de combustible mucho más eficientes, más con la tendencia actual hacia la electrificación general. También se estudia el empleo del H₂ mezclándolo con otros combustibles de bajo poder calorífico, para aumentar su potencia. Otra opción muy válida es la conversión del H₂ a metanol en una etapa adicional en el proceso de gasificación de hidrocarburos. El metanol se convierte así en un medio muy práctico de almacenar la energía del H₂ con alta densidad, pudiendo ser depositado en los tanques convencionales de los vehículos, solucionando así el problema del almacenamiento directo del H₂.

Surge el cuestionamiento sobre los costos de sustituir los combustibles fósiles por el H₂, factor que finalmente será el determinante para contar con la EH₂. Aunque cualquier análisis actual presenta grandes incertidumbres, sin duda, el uso del H₂ será más costoso que el empleo de los combustibles tradicionales. Sin embargo, como ocurre con toda nueva tecnología, los costos se reducirían de manera importante al hacerse un uso masivo de los sistemas asociados con el H₂, una vez optimizados los procesos involucrados y reducidos los costos de fabricación de las celdas de combustible. Será también decisivo contar con fuentes de energía primarias muy económicas, lo cual se da en la actualidad con la hidroelectricidad y la energía eólica, y más adelante, con la mareomotriz, la solar y ciertas formas de la biomasa.

Varios países ya han fijado metas de costos unitarios para la implementación de una EH₂ que sea competitiva en un futuro próximo. En Estados Unidos, se calculan precios de suministro del H₂ en la actualidad de tres a cinco veces el costo de la gasolina¹⁸. El Departamento de Energía de Estados Unidos ha establecido metas para los próximos años del costo por unidad de H₂, en referencia, principalmente, a las aplicaciones en el transporte¹⁹. Dada la validez de los actuales avances tecnológicos, se cree con firmeza que se lograrán dichas metas, posiblemente, antes de lo fijado, al implementar medidas medioambientales más estrictas.

Algunas grandes multinacionales de la energía en la actualidad aprovechan la economía de escala para la producción de H₂ más económico, en complejos industriales denominados de "poligeneración"²⁰, donde, una vez producido dicho elemento, éste es utilizado para obtener varios productos químicos, como gas natural sintético, metanol y amoníaco, entre otros, junto con la cogeneración de electricidad, como medio para lograr mejores precios de producción del H₂ y los otros productos químicos, actualmente en fuerte demanda.

La posibilidad de tener una EH₂ basada en sistemas fotovoltaicos solares está descartada actualmente, debido a las bajas eficiencias y a su alto costo unitario. El empleo de biomasa, ya sea como fuente de energía o como materia prima para obtener el H₂ por descomposición, cuenta con gran diversidad de opciones y, por tanto, estará siempre en consideración, según las condiciones particulares de cada región. Sin embargo, esta alternativa estará siempre limitada por sus eficiencias muy bajas y por la competencia con la producción de alimentos, excepto donde se cuente con abundancia de los recursos necesarios: suelo, sol y mano de obra barata, como ocurre en muchos países del trópico, incluidos Colombia y Brasil.

El desarrollo de una EH₂ y de otras alternativas energéticas se vería mucho más favorecido si las externalidades²¹ son incorporadas dentro de los costos de las energías convencionales. Esto produciría unos costos más realistas, logrando una economía energética más equilibrada basada en tecnologías de menor impacto medioambiental y, por tanto, favorecedoras del desarrollo sostenible, donde el H₂ y otras alternativas entrarían a competir con mayor facilidad.

Se considera que la EH₂, en sus inicios, estaría basada en la continuidad del método convencional de obtención del H₂ por descomposición del gas natural. Sin embargo, en la medida en que el precio de este gas se incremente, junto con mayores restricciones medioambientales, tal como está previsto, será perentorio acudir a otras fuentes alternas. También existe el convencimiento de que la EH₂, a más largo plazo, estará basada en la gasificación del carbón, por su abundancia, con captura de emisiones. La energía nuclear de alta temperatura y otras alternativas de energía renovable también harán una importante contribución. La tecnología de gasificación del carbón es empleada modernamente en plantas de potencia eléctrica de ciclo combinado con gasificación integrada (IGCC por su sigla en inglés), opción

18. Actualmente, en Estados Unidos, el precio de la gasolina oscila alrededor de US\$2,60 por galón (US\$0,68/litro), con casi el mismo contenido energético de un kilogramo de H₂ (0,99 galones de gasolina).

19. En Estados Unidos se han fijado como metas precios del H₂, para el 2010, de US\$1,50/kg, sin impuestos, más US\$1,30/kg para el suministro a la estación de entrega; para el 2015, desde US\$0,80/kg producido por gasificación del carbón, y de 2 a 3 veces más con energías renovables y energía nuclear, más US\$1,0 de suministro; valores que variarán considerablemente, según la tecnología de producción. Ver en: www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/hydrogen_posture_plan.pdf, p. 21; consultado en octubre 8/07.

20. Dale Simbeck, en la 18a. Conferencia Internacional de Pittsburgh sobre el Carbón, Newcastle, Australia, Dec. 4, 2001. En www.engr.pitt.edu/pcc/Past%20conferences.htm, consultada en noviembre 20/07.

21. El término *externalidades* se refiere a los efectos medioambientales y sociales producidos en la explotación y utilización de la energía (similamente, de otros bienes), no incluidos hoy en los costos de la energía vendida. Se pretende cuantificarlos en términos monetarios, para ser sumados a los precios de la energía, proceso que se denomina de

Producción de hidrógeno por electrólisis del agua



Al suministrar electricidad a los dos electrodos (cátodo y ánodo) sumergidos en el agua, ésta se descompone, liberándose hidrógeno y oxígeno gaseosos que pueden ser recogidos en la parte superior de los electrodos.

TOMADA DE: WWW.FUELCELLTODAY.COM

Ya se ofrecen comercialmente numerosos productos que utilizan celdas de combustible para diversas aplicaciones, desde computadores portátiles hasta vehículos híbridos que funcionan con H_2 , aunque, generalmente, con costos elevados. En varias ciudades, como Madrid, Los Ángeles, Chicago, Londres, entre otras, se están ensayando prototipos de buses eléctricos de transporte público movidos por H_2 . Existe también un número importante de instalaciones con celdas estacionarias en edificios, comercios, y en aplicaciones militares, en varios de los casos, con aprovechamiento de parte del calor producido en la celda²². El ejército de Estados Unidos tiene en ensayo más de 200 instalaciones con celdas de combustible para suministro eléctrico, varias en zonas remotas, además de las aplicaciones en submarinos. Es tal el interés despertado alrededor del H_2 que en varios países (Holanda, Estados Unidos, Japón, etc.) se han creado las llamadas *Comunidades del Hidrógeno*, las cuales tienen como meta abastecerse exclusivamente con energías alternativas, incluido el H_2 .

Se ha llegado a considerar por parte de ciertos autores, como Rifkin (2002), que la EH_2 debe constituirse en una contribución importante para reducir las diferencias sociales; este último explica en su libro que la falta de acceso a la energía, en especial la electricidad, contribuye a perpetuar la pobreza y que, a cambio, su fácil disponibilidad significará más oportunidades económicas. Y agrega (2002: 237):

Haciendo el cambio hacia un régimen energético basado en el hidrógeno –empleando fuentes renovables y nuevas tecnologías para la producción del hidrógeno– y creando redes de generación distribuida para conectar comunidades alrededor del mundo, es la única forma de sacar a miles de millones de personas de la pobreza...

Las anteriores consideraciones, incluido su carácter social, dan mayor valor a la EH_2 .

22. Por ejemplo, el First City Bank, en Omaha, tiene instalada en el sótano de su edificio una planta a base de celdas de combustible, como sistema piloto que suministra gran parte de sus necesidades de electricidad y sirve de abastecimiento de emergencia.

Posibilidades de la EH_2 para Colombia, año 2020

H₂, por sus interesantes particularidades, puede convertirse en uno de los elementos centrales para atender las necesidades energéticas crecientes del país. Aparece así un campo de innovación y oportunidad para ser liderado por las instituciones académicas, ojalá contando con apoyo suficiente del Estado y los empresarios.

De otro lado, cuando en Colombia se experimenta un crecimiento importante de la economía, con aumento en la demanda energética (UPME, 2005), se enfrenta la situación de agotamiento de sus reservas de petróleo y limitadas de gas natural, pero contando con abundantes energéticos como carbón, recursos hidráulicos, biomasa y energía solar. El reto, entonces, consiste en saber acoplar nuestros recursos con las necesidades de desarrollo propio, donde el H₂ se presenta como una excelente opción. Dicha abundancia de recursos primarios constituye un gran potencial para producir H₂ y sus derivados, como metanol, combustibles sintéticos y otros productos químicos de gran utilidad, con la ventaja de poderse hacer en condiciones ambientales bien controladas.

En Colombia están dadas condiciones favorables que abren oportunidades de participación en la economía del hidrógeno.

Ya el Departamento Nacional de Planeación (DNP) se ha referido al asunto, al plantear la necesidad de una estrategia para una distribución más eficiente de la canasta de consumos energéticos, señalando su ex director que²³ "... dicha canasta en Colombia está actualmente mal distribuida por centrarse

en los combustibles escasos". De aquí que deba inculcarse un mayor interés por las variadas fuentes energéticas, incluido el carbón, recurso al cual no se le ha dado valor agregado, y que puede ser aprovechado en la EH₂. También se debe considerar que, dado el énfasis actual del empleo a gran escala del gas natural –con proyección de mayor consumo, incluida la exportación (ya iniciada con Venezuela)–, entraría en escasez en menos de dos décadas. Esto agrega oportunidad al H₂, el cual encajaría muy bien en ese entonces al entrar a hacer uso de una infraestructura gasífera muy bien desarrollada en el país.

Colombia ya ocupa un lugar destacado en el campo de las energías renovables, con la producción a gran escala de biocombustibles, así como con el empleo de hidroelectricidad, que atiende cerca del 80% del consumo eléctrico nacional, y con la puesta en funcionamiento del primer parque eólico, Jepirachi, en La Guajira. El actual desarrollo de los biocombustibles, principalmente etanol y biodiesel para uso en el transporte, puede ser considerado como una etapa de transición²⁴ hacia una futura EH₂; idea que se refuerza si se considera que no será factible que la biomasa llegue a sustituir la totalidad de los combustibles fósiles, entre otros factores, por las serias repercusiones que tendría sobre el ambiente y la disponibilidad de alimentos.

Un análisis de las políticas nacionales a través, por ejemplo, del Plan Visión Colombia II Centenario 2019 (ver en: www.dnp.gov.co) revela una serie de planteamientos que pueden relacionarse directamente con varios de los puntos aquí expuestos.

Haciendo referencia a dicho Plan, el entonces Ministro de Minas y Energía, en un foro del DNP²⁵, indicó como estrategias fundamentales para el sector energético, de aquí al 2019: "Integración regional aprovechando los recursos energéticos propios; convergencia de acciones, incluidas las acciones tendientes al uso de biocombustibles y otras fuentes de energía renovables, así como el suministro de energía confiable y de mínimo costo en el largo plazo; y desarrollo de infraestructura con el fin de ubicar a Colombia como un centro energético regional para mejorar su participación en el mercado mundial de los hidrocarburos y del carbón"; tratamiento que coincide en varios aspectos con los propósitos de una posible EH₂.

En los planes nacionales también son motivo de preocupación los efectos del exagerado incremento de los precios de los energéticos y otras materias primas, lo que necesariamente obliga a recurrir a alternativas válidas, las cuales comienzan a ser competitivas. Este aspecto ha sido considerado, aunque sin mayor profundidad, en un documento de Colciencias de 2005, el Plan Estratégico: Programa

23. Santiago Montenegro (2006), *Documentos Visión Colombia II Centenario 2019: Propuesta para Discusión*. En: www.dnp.gov.co/paginas_detalle.aspx?idp=366; consulta: diciembre 5/06.

24. Juan P. Dalmaso, "Oro verde", revista *América Economía*, No. 32 (abril de 2006), pp. 22-25.

25. Luis E. Mejía (2006), alocución en el DNP sobre: Visión Colombia II Centenario 2019, marzo 2 de 2006, Bogotá, D.C. En: www.dnp.gov.co/consultas/di-jornales

mocional de la innovación y el desarrollo energético en el país. Aunque era deseable que este estudio hubiese planteado con mayor contundencia las acciones que Colombia requiere desde ahora para su desarrollo sostenible, los cuatro escenarios allí establecidos para cada uno de los sectores minero-energéticos, excepto uno, basan su eje principal en el alto conocimiento y en la cultura investigativa, así como en un desarrollo con mayor apropiación tecnológica, para el logro de las metas que plantea para el desarrollo social hacia el año 2015. Esto sienta bases para el apoyo necesario a los trabajos de avanzada en el campo energético.

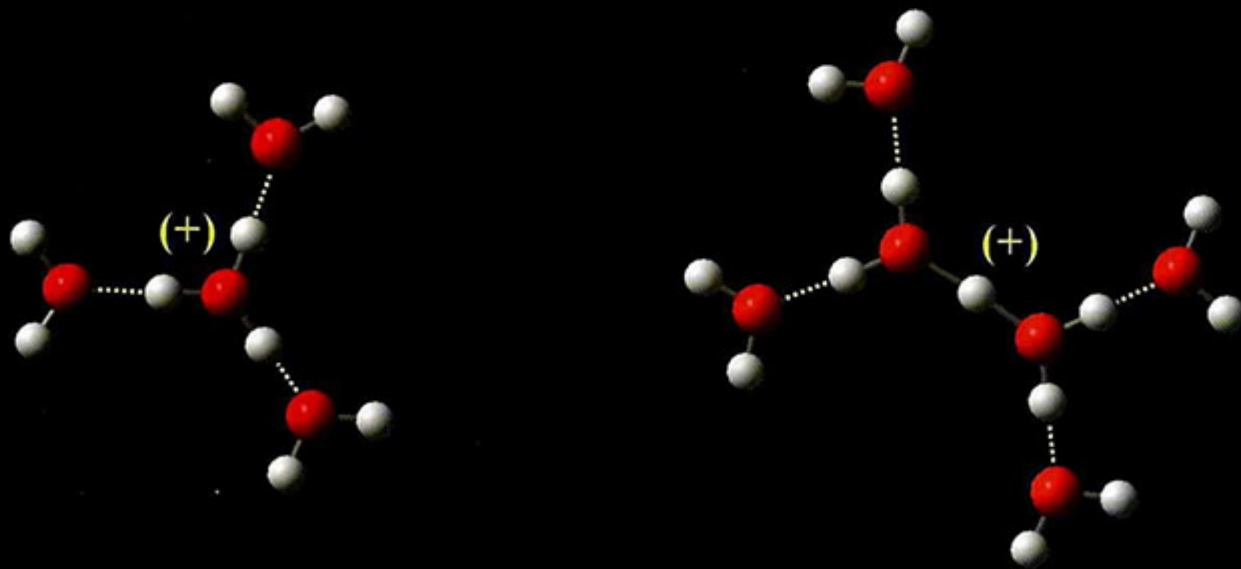
Cabe entonces preguntarse: ¿Necesitará Colombia de una EH₂? Si Colombia cuenta con factores favorables para establecer una EH₂ propia, ¿cuáles son estos factores? ¿Cómo debemos prepararnos para aprovechar la tecnología del H₂? O cuando menos, ¿qué debemos hacer para enfrentar sabiamente intereses foráneos no acordes con las prioridades del país?

Para dar respuestas responsables se hace innegable la necesidad de generar conocimiento y participar en el desarrollo de la EH₂, no sólo por estar al día en el quehacer científico-tecnológico mundial, sino también para generar soluciones a las situaciones energéticas que es necesario enfrentar sabiamente, lo cual sólo es posible con un auténtico desarrollo nacional. Esta necesidad debe servir para impulsar actividades en el campo energético relacionadas con alternativas más apropiadas a nuestro medio y de menor impacto ambiental, generando a la vez menor dependencia de los combustibles convencionales y permitiendo reducir la pobreza; aquí es donde la EH₂ puede entrar a cumplir un papel muy importante.

Más específicamente, se pueden señalar las condiciones que Colombia ciertamente presenta como altamente favorables a un desarrollo moderno, en parte, basado en la EH₂:

- Colombia, como otras naciones en rápido crecimiento, contempla entre sus políticas nacionales la necesidad de cantidades importantes de energía, económica y de fácil adquisición, ante la urgencia de lograr equidad y de derrotar la pobreza de segmentos importantes de la población todavía al margen del desarrollo. Se puede considerar entonces que, entre las diferentes alternativas energéticas, la EH₂ está llamada a realizar una contribución importante en dicho sentido.

- Colombia se encuentra en un buen momento económico, pero con crecientes necesidades, preocupaciones e incertidumbres con respecto a la suficiencia de los recursos requeridos, además de la necesidad de mayor estabilidad social, política y financiera. Una alternativa energética de gran potencial, como la EH₂, ciertamente, servirá para coadyuvar en dicha situación.



- En el país existe una preocupación creciente por el respeto al medio ambiente, más ahora cuando se aprecian las consecuencias del maltrato a la naturaleza, donde, por ser un reservorio de una de las más altas biodiversidades del mundo, se exige cuidadosa atención a sectores que como el energético y el del transporte, entre otros, están afectando la ecología.

- La naturaleza del país y sus recursos presentan condiciones altamente ventajosas para el aprovechamiento energético. Las características de capital humano, tierras, minerales, sol, agua y localización geográfica favorecen alternativas de menor impacto medioambiental, como la tecnología del H₂, apoyada en energías renovables. Incluso el carbón, de valor estratégico para Colombia, puede ser aprovechado en forma más favorable a través de su gasificación para producir H₂ y metanol, con captura de los gases nocivos. Además, la topografía montañosa y lluviosa que se tiene produce abundante energía hidroeléctrica, la cual, por ser renovable y de las más económicas, puede convertirse en la fuente principal para producir importantes cantidades de H₂.

- Los altos precios actuales de los energéticos convencionales favorecen la introducción de fuentes alternas que han venido desarrollándose por años pero que no han dado su potencial por falta de oportunidad económica (con excepción de la energía eólica en el exterior). Es el momento propicio para dedicar esfuerzos y dar incentivos para la investigación y el desarrollo de alternativas energéticas, como lo están haciendo muchos países, campo totalmente abierto en Colombia para la acción.

- El rápido avance de los biocombustibles en el país abre el camino hacia la EH₂, al considerar su desarrollo como de transición hacia una nueva economía energética que estaría centrada en el uso del H₂. La abundancia y diversidad en Colombia de la biomasa, incluidos los desechos agrícolas y de otros tipos, sirven de base para una EH₂.

- Una economía como la colombiana, con tendencia hacia la privatización, abierta al mundo, relativamente estable y de continuidad, proporciona seguridad para las inversiones en energía, incluidos capitales foráneos, como ha venido ocurriendo; favoreciendo así una EH₂, junto con otras alternativas.

- La abundancia en Colombia de fuentes primarias de energía de reducido impacto ambiental hará posible continuar la exportación de energéticos, esta vez en forma de H₂, avizorando una importante demanda en el exterior.

Lo anterior da razones suficientes para justificar acciones tendientes a establecer la viabilidad futura de una EH₂ en Colombia. De aquí la importancia de que desde ahora se planteen estrategias que le permitan al país prepararse científica y tecnológicamente para afrontar en forma adecuada los retos de la modernidad.

Recomendaciones para una EH₂ en Colombia, año 2020

Dados el grado de desarrollo y el impulso actual de la tecnología asociada al H₂, se recomienda desde ahora trabajar en el país para lograr, primero, y lo más importante, despertar el interés por conocer a profundidad todo lo relacionado con el H₂ y la potencialidad para su engranaje en el desarrollo nacional y, segundo, para prepararse científica y tecnológicamente para un avance adecuado con desarrollo propio, a la vez, para continuar ocupando un papel destacado en el mundo energético, esta vez apoyándose en la tecnología del H₂.

Por tanto, se propone considerar para Colombia lo siguiente:

1. De prioridad y gran interés para el país debe ser el buen aprovechamiento de sus recursos energéticos, en vista de sus necesidades, al lado de grandes capacidades para el desarrollo sostenible, debiendo considerar entre las alternativas la EH₂. Se debe estudiar a ciencia cierta su posible papel en la economía energética en el futuro, a corto, mediano y largo plazos, a la par con una promoción más intensa del uso racional de la energía y la optimización de los procesos convencionales con el desarrollo de varias alternativas energéticas. Estas actividades deben ser lideradas por las universidades y los institutos de investigación existentes en el país, buscando alianza con instituciones internacionales que trabajan en este campo, con el apoyo decidido de Colciencias y el soporte directo del Ministerio

mos iniciales recomendados es la realización de foros donde participen expertos en el tema, junto con agremiaciones de las ciencias y de la ingeniería, profesores y estudiantes universitarios, además de los empresarios interesados. Como resultado de estos foros se obtendrían recomendaciones más precisas para políticas y estrategias nacionales y locales, con definición de los recursos y apoyos necesarios.

2. Revisar las estrategias de planeación nacional y agendas regionales en lo relacionado con el campo energético, bajo las directivas de la Unidad de Planeación Minero Energética (UNME), considerando las políticas ya presentadas por el DNP, con el fin de determinar las oportunidades que brindaría la utilización del H₂, a fin de incluir desde ya los aspectos necesarios para una posible EH₂ en Colombia a partir de la próxima década, dando así mayor seguridad de cumplimiento a programas de largo alcance, como el Plan Visión Colombia II Centenario-2019.

3. Crear una red nacional de investigación sobre la EH₂ con alcance internacional, para los necesarios intercambios técnico-científicos, principalmente con los centros donde se esté trabajando intensamente sobre energías alternativas y el uso del H₂, reactivando convenios existentes. Se obtendrá el beneficio del actual grado de desarrollo de la tecnología del H₂, así como de la apertura amplia que demuestran varios países e instituciones, junto con el buen momento internacional de la Colombia actual.

4. La amplia experiencia internacional actual en la producción y uso del H₂ debe ser aprovechada para conocer bien las propiedades del H₂ y las particularidades de los procesos de obtención y utilización del H₂, con sus ventajas e inconvenientes, para lograr un manejo seguro y efectivo.

5. Las necesidades mundiales y los avances en una economía globalizada favorecen un escenario exportador para Colombia, tanto por su situación geográfica como por la abundancia de sus recursos. Se re-

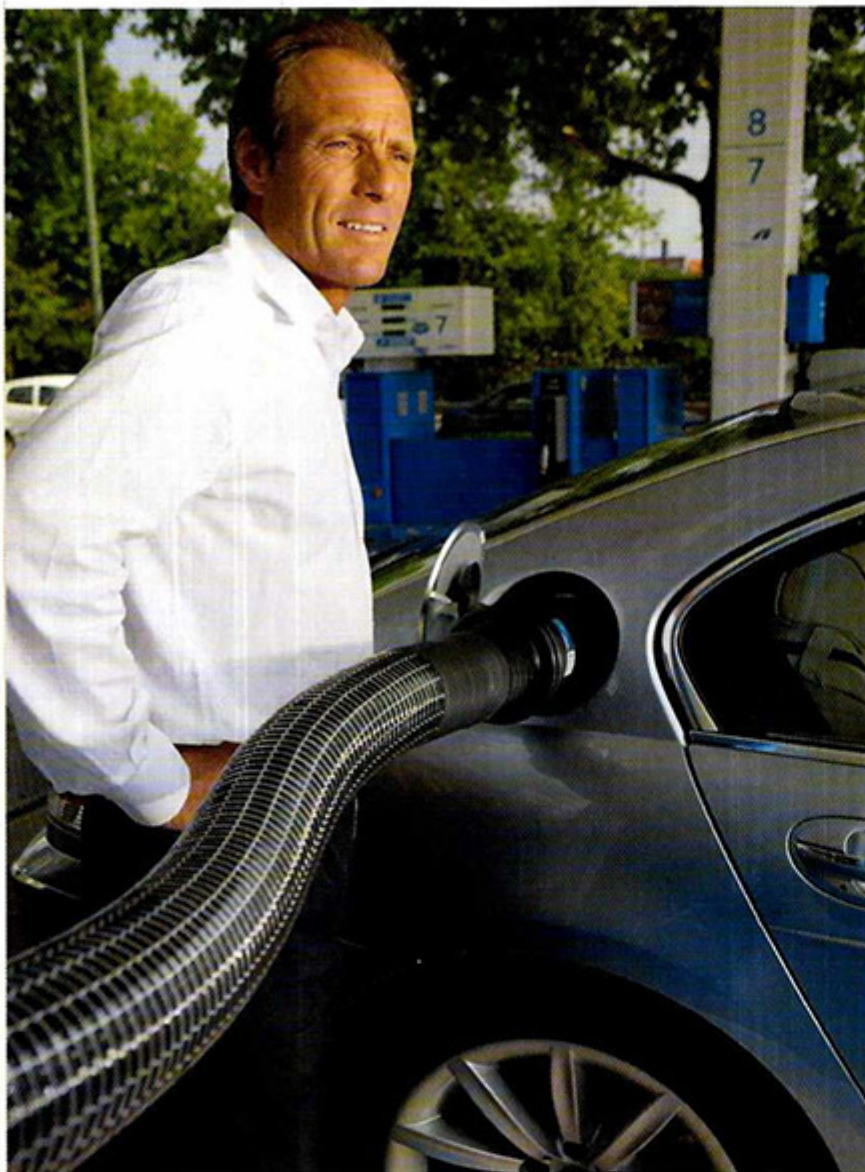
quiere, por tanto, de preparación y suficiente desarrollo científico y tecnológico, en lo cual Colombia demanda grandes esfuerzos. El H₂ en estado líquido, ciertamente, presenta excelentes perspectivas como energético de exportación.

6. El escaso desarrollo de las energías alternativas en Colombia, frente a su importancia actual y su conexión con la EH₂, exige un cambio radical, dándoles prioridad a las iniciativas en el campo de las energías renovables y al uso racional de la energía, con el apoyo y los incentivos que se requieran. Esto debe ir acompañado de programas de promoción del conocimiento en esta área, incluso desde niveles básicos de la educación y, con mayor razón, en niveles superiores. Los avances en el exterior son realmente impresionantes, acerca de lo cual es muy poco lo que se conoce y se hace en el país.

7. Los altos precios actuales del petróleo y otros combustibles fósiles, así como la creciente presión para proteger al medio ambiente, hacen rentables alternativas energéticas que, de otra forma, antes no tenían posibilidades económicas. Los ingresos adicionales, no presupuestados, derivados de los altos precios de las exportaciones de Colombia de combustibles fósiles, deben aprovecharse mejor para asegurar el futuro energético del país. Con una pequeña fracción de dichos ingresos se daría suficiente impulso a la investigación y desarrollo de las alternativas energéticas. Así mismo, las transnacionales que actualmente explotan los recursos energéticos nacionales deben ser obligadas contractualmente a aportar la necesaria transferencia tecnológica, lo cual no se está cumpliendo a cabalidad.

8. La concentración urbana creciente, aquí como en el resto del mundo, requiere y, a su vez, favorece la utilización de fuentes energéticas distribuidas, a lo cual el hidrógeno se presta muy convenientemente, con el empleo de las celdas de combustible. Dada la gran ventaja de esta tecnología de no contaminar en el sitio de uso, por ejemplo, en centros urbanos, donde los efectos nocivos se multiplican por la alta densidad poblacional, debe considerarse obligadamente la opción de usar H₂.

Ya se ofrecen comercialmente productos que utilizan celdas de combustibles de hidrógeno para diversas aplicaciones.



países, es decisiva para el desarrollo que se requiere de las alternativas energéticas. En Colombia este aspecto es incipiente y, más aún, con regulaciones que parecieran desfavorecer la implementación de sistemas energéticos de avanzada. Las universidades y los gremios profesionales están llamados a presentar iniciativas y a suministrar la asistencia necesaria.

Conclusiones

En Colombia están dadas condiciones favorables que abren oportunidades de participación en la economía del hidrógeno, en preparación adecuada para el desarrollo energético a mediano y largo plazos. Es, por tanto, muy necesario conocer desde ya las características y desarrollos de los sistemas basados en el hidrógeno como elemento intermedio en la cadena energética, con el apoyo de las energías alternativas como fuentes primarias de reducido impacto ambiental. De esta forma, se establecería su contribución a la economía del país, permitiendo el abastecimiento energético suficiente para asegurar un alto grado de autosuficiencia con desarrollo sostenible, y además, con la posibilidad de continuar integrado al mercado global de la energía, como proveedor internacional de ésta, para un mejor aprovechamiento de sus recursos.

Es ésta la principal conclusión de los estudios que se han realizado hasta el presente en la Universidad de América sobre el hidrógeno y sus posibles implicaciones.

La situación energética actual de Colombia, a pesar de la abundancia de sus recursos, no tiene asegurada su sostenibilidad, con insuficiencia de estudios a profundidad para el largo plazo, lo cual indica la necesidad de adelantar acciones prontas en este campo.

La EH_2 , ciertamente, ofrece perspectivas favorables a las condiciones del país, valiéndose de sus recursos energéticos más abundantes, como el carbón, los crudos pesados, la hidroelectricidad y la biomasa, y más adelante, con la participación de otras energías alternativas. Actualmente, varios de dichos recursos no tienen casi valor agregado, con la potencialidad de suplir buena parte de la canasta energética futura, con reducido impacto ambiental.

Atendiendo esta propuesta, los esfuerzos nacionales en ciencia, tecnología e innovación tendrán un campo más de acción encaminado a que el país pueda enfrentar exitosamente las exigencias de competitividad y conectividad con el mundo, contribuyendo a la vez a la reducción de la desigualdad social y de los problemas medioambientales. Teniendo las suficientes bondades, con conocimiento e inventiva, dichos recursos pueden ser convertidos en elementos altamente beneficiosos para la sociedad.

Finalmente, se espera que con los planteamientos aquí presentados se haya logrado el convencimiento de que Colombia no puede seguir de brazos cruzados frente a los beneficios que ofrecen las

Referencias

Bennaceur, K. *et al.* (2005), El hidrógeno: ¿un futuro portador energético?, *Oilfield Review* vol. 18, N° 2 (verano, 2005) (artículo facilitado por Shell-Colombia; disponible en Dpto. de Investigaciones de la U. de América).

Cabanillas, A. *et al.* (2001), Tecnologías limpias de combustión y gasificación, en Pedro L. García, Ed., *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*, McGraw-Hill Interamericana, Madrid.

Carvajal-Osorio, H. (2001) y J. Sosa, Gasificación del carbón con energía nuclear de alta temperatura, *Memorias de las Jornadas Internacionales de Energía Eléctrica*, ACIEM, 25-26 de octubre de 2001, Bogotá, D. C.

— (2005), *Plan Estratégico: Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería 2005-2015*, Colciencias, Bogotá, D. C.

Daza, L. y Hontañón, E. (2001), Pilas de combustible, en Pedro L. García. (Ed.), *Tecnologías energéticas e impacto ambiental*, McGraw-Hill Interamericana, Madrid.

Gore, A. (2007), *Una verdad incómoda*, Gedisa Editores, Barcelona, España, primera edición.

Hoffmann, P. (2002), *Tomorrow's Energy*, The MIT Press, Cambridge, Ma., USA.

IPCC (2006), *Intergovernmental Panel on Climate Change*. En: www.ipcc.ch/about/.

Khatib, H. (2004), *The Future of Energy: Alternatives Ahead*, World Energy Council, London, GB. En: www.worlenergy.org/wec-geis/news_events/, consulta: 11/11/06

Miller, G. T. (2002), *Introducción a la Ciencia Ambiental*, Thomson Editores Spain, Madrid, España.

Ogden, J. (2006), Buenas expectativas para el hidrógeno, *Investigación y Ciencia*, noviembre de 2006, pp. 60-67.

Rifkin, J. (2002), *The Hydrogen Economy*, Tarcher/Penguin, New York, N. Y., USA. (También en español, de Ed. Paidós, Barcelona, España, 2002).

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME (2005), *Plan Nacional Energético 2005-2019*, Ministerio de Minas y Energía. En: www.upme.gov.co, consultada nov. 17/06.

WBGU (2004), *German Advisory Council on Global Change: World in Transition, Towards Sus-*



ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA
EL AVANCE DE LA CIENCIA

37 años

Programa Nacional de Actividades Científicas

Programa *Encuentro Con el Futuro* - Conferencias Sabatinas (Entrada Libre).
Febrero-Noviembre.

Programa *Encuentro Con las Ciencias* - Conferencias con Científicos.
Febrero-Noviembre.

Diplomado en Investigación, Formulación y Gestión de Proyectos.
Marzo-Mayo
Agosto-Octubre.

Diplomado de Apropiación Social de las Ciencias en la Educación
Marzo-Mayo.

III Encuentro Ciencia y Arte: *Los museos, un espacio para el aprendizaje de las ciencias*.
Abril.

XIX *Premio Nacional al Mérito Científico* - Vida y Obra - Investigador de Excelencia - Divulgación de las Ciencias - Grupos de Investigación de Excelencia.
Mayo-Octubre

Vacaciones con Ciencia - Un programa integral que permite acercarse de manera divertida a interesantes temas.
Junio y diciembre.

XVII Convención Científica Nacional "Transferencia de Conocimiento y Tecnología", Neiva-Huila.
Del 24 al 26 de septiembre.

Seminarios y talleres sobre el Aprendizaje de las Ciencias
Más...

Clubes de Ciencias
Tutorías Científicas
Taller para Docentes
Excursiones y Campamentos

Revista *Innovación y Ciencia* - Edición trimestral de divulgación científica

Administración y Gerencia de Proyectos

Calle 44 N° 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3
Teléfonos: 3150728 – 3155900 • Fax: 2216950
Email: acac@acac.org.co
Bogotá, D.C. – Colombia

PROGRAMACIÓN 2008

ciencias sociales

Ética de la ciencia: una invitación a la reflexión



Rafael A. Forero M. MSc.

Profesor de Bioquímica.

Universidad Pedagógica Nacional

rafael-forero@hotmail.com

El desarrollo de la ciencia y el afán por conseguir tanto la fama como los fondos millonarios que la financian han puesto en jaque más de una vez a aquello que llamamos ética. A pesar de que se cometen fraudes científicos de talla internacional, en la comunidad científica se observa poco interés en debatir el problema. Los científicos del mundo entero han leído los informes que al respecto han publicado *Nature*, *Science*, *Scientific American* y otras revistas científicas, pero parecen seguir creyendo que el problema no se encuentra en su propio dominio. En los congresos, se dedican a conocer específicamente de su tema y no pierden el tiempo en mesas redondas sobre los fraudes que podrían estar ocurriendo en su propia disciplina. Grandes instituciones como la Royal Society o la American Chemical Society no se ocupan del tema.

Un caso es el del investigador estadounidense en cardiología Robert Slutsky, de la Universidad de California, en San Diego; al parecer, de sus 137 publicaciones, 13 son fraudulentas y otras 45 son sospechosas de fraude. Infortunadamente, y desde otra perspectiva, el destino de aquellos colaboradores suyos, que seguramente se esmeraron de manera ética durante su trabajo, resultó opacado al ser parte del equipo de un falsario.

La presión por destacarse en el mundo científico, la relación ciencia-sociedad, el rigor y objetividad como imagen de la ciencia, son algunos aspectos que influyen en los investigadores a cometer fraude, aun cuando para el público resulte casi imposible poner en duda la rectitud del científico. La integridad de los colegas en el ámbito científico es cuestión de fe, y la deshonestidad es rechazada a priori. La ciencia es la comprensión de la naturaleza y su producto es el conocimiento. Las actividades científicas difieren de otras formas de conocimiento en cuanto a que no son absolutas, se basan en el estudio de la naturaleza y no son simple raciocinio. Por tanto, permiten hacer predicciones sobre acontecimientos futuros que, si se confirman, lo refuerzan, y si fracasan, lo ponen en duda. El conocimiento producido por la ciencia no es ni completo ni permanente. Al contrario, presenta leyes y teorías que, además, han sido modificadas de manera más o menos radical a través de los tiempos. Sin embargo, toda la majestuosa estructura de las ciencias se basa en un postulado: los científicos dicen solamente la verdad, tal como ellos la entienden. En otras palabras, los científicos, cuando hablan o escriben, no dicen mentiras (Schulz y Katime, 2003). Conviene aquí distinguir entre mentira y error. *Humanum sum* (humanos somos), errores cometen todos los hombres y mujeres de la ciencia. Los investigadores son conscientes de que el conocimiento es probabilístico e incompleto, pero cuando se plantea, se piensa que es lo mejor que existe. La mentira es otra cosa, es una afirmación cuya falsedad le consta a quien la formula, sea porque la inventó o porque tiene pruebas de que no es cierta. El mentiroso sabe perfectamente bien que lo que dice no es cierto, pero de todos modos lo dice, seguro de que los demás le van a creer. Y por un tiempo, al menos, que va desde algunos días hasta milenios, se le cree. El quehacer científico es arduo pero gratificante, y lo debe ejercer quien encuentra ahí su verdadera vocación y sus razones para vivir. El ser investigador no es tener una elegante investidura que deslumbré a la sociedad, es tener una actitud creativa, honesta y humilde (Bribiesca, 1988).

¿Por qué miente un científico?

La respuesta de por qué un científico se decide a violar las normas de la ética no se puede generalizar, es individual. Sólo William Summerlin dio una larga entrevista luego de haber sido descubierto. La mayor parte de los falsarios desaparecen en la nada, y aun los periodistas más eficientes no pueden conseguir una entrevista. Se habla de causas intrínsecas y extrínsecas. El primer término se refiere a la mentalidad y actitud del investigador, y el segundo, al marco ambiental en el cual trabaja (Pérez, 1987). La motivación intrínseca es compleja y requiere de un análisis psicológico, pero quizás gira alrededor de una característica humana, que es la vanidad. Al hombre, en particular al inteligente, no le gusta equivocarse, y para aceptar un error se requiere de cierto grado de humildad al que no se llega fácilmente. Cuando un individuo descubre en su intimidad, aunque no lo exhiba, que es de inteligencia superior y que puede destacar sobre la gran masa humana, trascendiendo en su sociedad y en la historia, sufre de diversos grados de ceguera ante la realidad. Este fenómeno es muy evidente en los grandes líderes

de la historia, que pretenden, pese a la evidencia contundente de su entorno, ser poseedores de la verdad y son capaces de arrastrar a sus pueblos a grandes catástrofes sociales. Ejemplos sobran: Hitler, Lenin, Pol Pot, Stalin, Mussolini, la lista puede hacerse tan larga como se quiera.

En la ciencia han surgido líderes intelectuales que, plétóricos de vanidad, cambian o alteran sus observaciones para que concuerden con la verdad que ellos plantean. Esta actitud no es necesariamente deliberada; puede ser inconsciente. Ptolomeo usó los datos de Hiparco para ajustarlos a su idea preconcebida de la estructura geocéntrica del universo; Mendel posiblemente arregló sus datos de hibridación de plantas para que concordaran perfectamente en su genial concepción de la herencia y de los genes. Ninguno de los dos deseaba obtener premios, fama, gloria ni remuneración económica. Su motivación era satisfacer su propio orgullo y demostrar al mundo científico y a sí mismos que eran hombres superiores. Incluso el propio Kammerer, científico establecido sin penurias económicas y con un alto grado académico, inventó las rugosidades nupciales de sus sapos para realimentar su íntimo concepto de genialidad y convencer al mundo de lo mismo. La adoración interna del ego, el narcisismo intelectual y las ideas grandiosas y paranoicas son rasgos comunes en el hombre intelectualmente dotado, en especial, en el científico (Broad y Wade, 1983).

La motivación extrínseca que favorece la deshonestidad científica es quizás característica de nuestro siglo. Galileo contaba con el apoyo económico del duque de Toscana, Charles Darwin era un individuo sin penurias económicas y Gregor Mendel, en su monasterio agustino de Brunn, carecía de preocupaciones económicas. En la actualidad, el costo de la construcción de laboratorios, de la compra de instrumentos, de reactivos, de la contratación de personal técnico, ha puesto a la ciencia completamente fuera del alcance de cualquier investigador aficionado. La investigación científica se ha transformado en una profesión de la cual vive su ejecutante; los científicos actuales deben tener un grado universitario de alto nivel y trabajar en instituciones debidamente equipadas y remuneradas.

Esta situación, indudablemente, presenta un lado benéfico, puesto que permite que un número cada vez mayor de individuos con una preparación sólida se dedique seriamente y en forma exclusiva a la investigación científica. Sin embargo, para conseguir apoyo económico, nivel académico adecuado y reconocimiento científico, el sistema exige al investigador una producción rápida y abundante. La presión generada por muchas instituciones para mantener en sus puestos a los científicos y otorgarles financiación de sus proyectos, por no mencionar su influencia científica y moral, puede ser superior a la resistencia del investigador. Para obtener subsidios y promociones es necesario hacerse valer, y ello se logra publicando. Se han citado investigadores que publicaron un promedio de 68 artículos por año. Cuanto más crecen los laboratorios, más se estrechan las especializaciones, más proliferan los artículos y menos eficaz es el control. Poco a poco, en virtud de una lógica interna, el sistema se hace incapaz de garantizar la calidad científica del conjunto de los artículos.

Invención de datos

Estudiaremos algunas clases y ejemplos históricos de fraudes científicos. Dentro de la motivación intrínseca encontramos aquellos científicos que inventan los datos y los experimentos enteros. Muchos consideran este tipo de fraude como el peor de todos. Veremos varios ejemplos, y en algunos de ellos se puede apreciar la dificultad inherente a la demostración de la existencia del fraude.

Las encuestas de Burt

Quizás el mayor de los fraudes, por la importancia de su gestor, por el impacto que tuvo y por el tiempo que tardó en ser descubierto, fue el de sir Cyril Ludowic Burt. Sus trabajos se orientaron hacia un aspecto particularmente importante de la psicología: la herencia de las facultades intelectuales. ¿La inteligencia se hereda o, por el contrario, se adquiere a lo largo de la vida? Esta pregunta posee particular importancia social y política. Burt, cuyos "descubrimientos" apoyaban la transmisión hereditaria de la inteligencia, murió en 1972, a los 88 años, cuando era considerado uno de los grandes maestros de la psicología del comportamiento del siglo xx. Los trabajos de Burt se centraron en la comparación de los coeficientes in-



telectuales (ci) de los gemelos univitelinos separados al nacer, y luego criados y educados en ambientes diferentes. Ahora, si el ci de tales parejas de individuos con los mismos genes resultaba ser más cercano que el esperado, ése sería un argumento de peso a favor del carácter hereditario de la inteligencia. En las conclusiones de sus trabajos, Burt determinó que los ci de los gemelos, incluso si crecían separados, eran prácticamente iguales y, por consiguiente, la inteligencia se heredaba. Las publicaciones de sus trabajos en destacadas revistas internacionales se realizaron ya al final de su vida con dos colaboradoras, de apellidos Conway y Howard, presuntamente de la Universidad de Londres.

En 1976, Oliver Guille, un periodista del *Sunday Times* de Londres, afirmó, después de una ardua investigación, que estas colaboradoras sólo existían en la imaginación de Burt, ya que eran desconocidas en esa universidad. Si esto resultaba ser cierto, se comprobaría que la obra de Burt era un fraude. La inexistencia de las colaboradoras de Burt condujo a numerosos análisis de sus trabajos, donde se hallaron datos sospechosos. Como es de suponer, los gemelos univitelinos no son muy numerosos en el mundo, y Burt los fue encontrando fácilmente a lo largo de su vida: 15 pares en 1943, 21 pares en 1955, más de 30 en 1958 y 53 en 1966. Pero, dato curioso, el coeficiente de correlación entre los ci resultó ser siempre, y en todos los casos, exactamente idéntico, algo improbable estadísticamente. Los coeficientes de correlación eran de 0,944 para los gemelos criados juntos y 0,771 para los que habían sido criados por separado. Estos resultados sugieren que la herencia cumple un papel en la inteligencia.

Finalmente, la prueba definitiva de los fraudes de Burt la aportó el psicólogo británico Leslie Hershaw (1979), quien tuvo la oportunidad de consultar la correspondencia y el diario del célebre sabio. Allí encontró la confesión de sus fraudes. Hershaw llegó a la conclusión de que Burt no había hecho observaciones después de la Segunda Guerra Mundial, y sólo los datos de los 15 primeros pares eran reales.

Origen del cáncer: Mark Spector

En la primavera de 1981, Mark Spector, un joven de 24 años que trabajaba bajo la supervisión del investigador en receptores de membrana Efraim Raker, propuso una nueva teoría sobre el origen del cáncer.

Sus estudios experimentales eran tan sólidos que se pensó en hacerlo merecedor del Premio Nobel de Medicina. El joven científico pretendía demostrar que la ATPasa sodio-potasio era fosforilada por una serie de cuatro enzimas denominadas cinasas, que se activaban sucesivamente en la célula cancerosa, en un proceso de cascada. Spector, en tan sólo dos años, aseguró haber aislado y purificado las cuatro enzimas, un trabajo que generalmente tomaría varios años, incluso con un buen grupo de investigadores y un laboratorio muy bien equipado. Los biólogos moleculares calificaron los experimentos de Spector de espectaculares y unificadores. No obstante, cuando otros investigadores trataron de repetir los ensayos, no lograron hacerlo. Investigadores de prestigiosas instituciones como Cornell, el NCR (National Cancer Research) y Harvard no pudieron replicar sus resultados. Inmediatamente, se puso en duda la genialidad del joven científico. En poco tiempo se desenmarañó el acertijo: Mark Spector había falsificado sus experimentos. Un brillante investigador y una gran veta en la investigación científica se desmoronaron. Lo más sorprendente fue descubrir que el joven genio no tenía ni siquiera grado de bachiller y que había logrado engañar a todo el sistema hasta obtener un puesto privilegiado que le permitió llegar hasta los estratos más elevados de la ciencia. Richard McCany, bioquímico de la Universidad de Cornell, dijo: "Si Spector hubiera propuesto sus ideas sólo como una hipótesis, podría haber sido reconocido como un genio" (Kolata, 1981).

Franz Moewus y el origen de la biología molecular

Con relación a los resultados y datos inventados, Franz Moewus también es tristemente célebre. De su obra científica de casi treinta años hoy no queda nada. En el simposio de Cold Spring Harbor de 1951, el genetista norteamericano T. M. Sonneborn presentó a F. Moewus como un de los pioneros de la biología molecular. En su exposición afirmó que, gracias a F. Moewus, el alga unicelular *Chlamydomonas eugametos* era el ser vivo mejor conocido desde el punto de vista genético; al comprobarse su fraude, este título recaería sobre la *Escherichia coli*. El éxito de Moewus consistía en haber demostrado la existencia pieza por pieza de unos setenta genes y su acción sobre la morfología, la fisiología, la genética y la bioquímica de la célula *Chlamydomona*, tanto así que el mismo Sonneborn lo postuló al Premio Nobel de Medicina. Según Moewus, la vida sexual de las *Chlamydomonas eugametos* se describía así: las células individuales adquieren flagelos en presencia de luz y se toman móviles, esto les permite agruparse y copular. Moewus descubrió que una hormona era la causante de la formación de los flagelos; otras dos, de la determinación del sexo; dos más, de la cópula de las células sexuales, etc. Moewus aseguró la colaboración de Richard Khun, que había ganado el Premio Nobel de Química por sus trabajos sobre los carotenoides, y Moewus había descubierto que sus hormonas eran precisamente carotenoides. Hoy se sabe que este sistema de genes y factores químicos sólo existió en la imaginación de Moewus. J. H. S. Haldane, el célebre genetista británico, en 1939 advirtió una dispersión estadística muy baja. En 1954, H. Förster y L. Wiese desmintieron el papel de las sustancias carotenoides en la sexualidad de *Chlamydomonas*. La investigadora alemana M. Hagen-Seyfferth desmintió en 1959 el efecto de las hormonas sexuales. La genética de los determinantes del sexo no pudo ser confirmada por genetistas de las universidades de Yale y Missouri, durante más de veinte años. Foster y Wise demostraron que no es necesaria ninguna hormona, ni la luz, para el crecimiento de los flagelos: sólo se necesita un poco de agar nutritivo para que crezca, y la desaparición del flagelo se logra con alcohol. La obra de Moewus, después de ser la más brillante del siglo xx, desapareció completamente de las publicaciones científicas, incluso, de los textos de biología de la época (Schulz y Katime, 2003).

Falsificación de pruebas

El problema de inventar los resultados de experimentos que no se han realizado es que a veces se necesita presentar pruebas. El paso siguiente, si se quieren cubrir las huellas del fraude con una cortina de humo, es falsificar las pruebas que apoyen las teorías o los resultados del falsario. Estudiaremos algunos ejemplos que nos ofrece la historia de la ciencia.

Paul Kammerer y Alyfes obstetricans

Hay un fraude que reviste particular interés en la historia de la biología: el del sapo falsificado de Paul Kammerer, biólogo vienés de principios del siglo xx. Este asunto constituyó un episodio crucial y trágico de la querrela entre los partidarios de la herencia de los caracteres adquiridos (Lamarck) y los seguidores de la teoría de Weisman, para los que esto era imposible. Paul Kammerer, zoólogo del Instituto de Investigaciones Biológicas de Viena, sostuvo a partir de 1909 que había realizado una serie de experimentos que, según él, comprobaban la herencia de los caracteres adquiridos (Koestler, 1971). Su modelo experimental fue el sapo *Alyfes obstetricans*, un animal esencialmente terrestre. Este animal se acopla en la tierra y no posee cepillos copuladores (callosidades en las manos y antebrazos). Por el contrario, los machos de numerosas especies de ranas y sapos que copulan en el agua poseen estos cepillos copuladores. Su razonamiento utilitarista de la época permitiría al macho agarrarse de la hembra durante la cópula. Desde el utilitarismo, esto parece ser adaptación. Los anfibios necesitan estos cepillos, ya que sin ellos sería difícil la cópula en el agua. Siguiendo con el mismo criterio, los sapos parteros de tierra no necesitan estos cepillos, ya que la piel de la hembra es seca y áspera. Kammerer aseguró haber inducido a unos sapos parteros a acoplarse en el agua; los machos tratados desarrollaron cepillos copuladores y este carácter se transmitió hereditariamente: el sapo partero de tierra adquiriría estas estructuras cuando era obligado a realizar su abrazo en el agua. En 1926, Kammerer realizó un viaje a Inglaterra para dar conferencias sobre sus experimentos de naturaleza lamarckiana; mientras estaba de gira, su laboratorio en Viena fue visitado por el conservacionista del Museo Americano de Historia Natural, G. K. Noble, quien fue recibido por su director, Karl Przibram. En su carta a la prestigiosa revista *Nature* del 7 de agosto de 1926, Noble manifestó que, con la ayuda de una lupa binocular, no observó callosidades, ni espinas ni asperezas en las manos del sapo. Por el contrario, había advertido que las superficies ventrales y dorsales de la mano izquierda eran de color negro, y que esta capa negra parecía proceder de una capa profunda de la piel. Entonces examinó minuciosamente esta pata y observó una sustancia negra que, sin duda alguna, era tinta china. Kammerer se suicidó el 23 de septiembre de ese año y escribió una carta al director, en la cual juraba que no era autor del fraude.

La presión por destacarse en el mundo científico es un aspecto que influye para que los investigadores cometan fraudes.

Los ratones teñidos de Summerlin

W. T. Summerlin, un brillante inmunólogo que trabajaba en uno de los centros de investigación de mayor renombre mundial, el Sloan Kettering Cancer Center de Nueva York, bajo la dirección del prestigioso inmunólogo Robert A. Good, propuso una solución del problema inmunológico que ocasionan los trasplantes. Se sabe que cuando se realizan injertos no histocompatibles es necesario tratar a los receptores del trasplante con inmunosupresores, para evitar el rechazo. Summerlin tuvo la genial idea de realizar un cultivo de órganos con fragmentos de piel antes de injertarlos. Daba la impresión de que los fragmentos así cultivados no despertarían reacción inmune y no sería necesario el inmunosupresor. Sus resultados fueron evidentes: sobrevivieron los injertos de piel de ratones blancos en ratones grises y, en la especie humana, los de piel de una mujer blanca en un hombre negro. La perspectiva de estos resultados era inmensa en el campo de la cirugía y el tratamiento de quemaduras. Los resultados de Summerlin impresionaron a inmunólogos de la talla de Medawar, Benacerraf y Kumbel; sin embargo, otros investigadores empezaron a tener dificultades para reproducir sus resultados y a plantear dudas sobre la validez de sus teorías. Por desgracia, Summerlin no consiguió reproducir sus resultados, lo cual lo hizo sospechoso ante la comunidad científica. Desesperado al tener que enfrentarse a una comisión investigadora, Summerlin debió de querer, sin duda, salvar su prestigio. La noche del 24 de marzo de 1974 procedió a maquillar los ratones, tiñendo con un marcador su pelaje, para hacer creer que los injertos habían arraigado. Esa noche fue sorprendido por un reportero cometiendo su fraude y por ello quedó suspendido de su trabajo. La expectativa científica, un Premio Nobel y el futuro promisorio para

pacientes que requerían trasplantes se desvanecieron en un segundo (Culliton, 1974). Interesa señalar que varios inmunólogos del Hospital Hammersmith de Londres, así como en Australia, realizaron experiencias similares a las de Summerlin y parecen haber tenido éxito. Así, pues, es una pena que el fraude de Summerlin desacreditara durante más de una década este tipo de trabajos que merecían ser efectuados mucho antes.

Plagios

En otros casos de menor repercusión en la ciencia, pero no de menos trascendencia en el quehacer científico, se han apropiado del trabajos de otros; esto se conoce como plagio. En éste se omite informar que lo que se dice es de otro autor, y se lo hace pasar como original, incluso se sustituye el nombre del verdadero autor por el propio, a veces haciendo modificaciones menores para disimular el hecho delictivo. Hasta un científico de primer nivel como Johan Bernulli robó ecuaciones desarrolladas por su hijo y las publicó con fecha cambiada, para que pareciera que el plagiario era el verdadero autor. Veamos otro ejemplo de plagio.

Los plagios de Soman y Alsabti

Vijay Soman, investigador de Poona, India, y profesor asociado de la Universidad de Yale ejemplifica el plagio científico en busca de notoriedad. El joven investigador, bajo la dirección de Philip Felig, profesor de Medicina de la Universidad de Yale, fue descubierto al retener y copiar parte de un manuscrito sobre anorexia perteneciente a otra investigadora. Elías Alsabti, estudiante iraquí de Medicina, logró laborar en varios centros de investigaciones mediante el plagio de artículos publicados por otros autores en revistas de gran calidad, que luego reprodujo en publicaciones europeas y japonesas. Así logró obtener un currículum impresionante que la hizo célebre académicamente (Broad, 1980).

Después de haber estudiado algunos casos de fraude científico, es necesario invitar a la reflexión. Parte del problema radica en que el proceso de evaluación del mundo científico no funciona de manera perfecta. Esto se refiere al hecho de que los evaluadores son elegidos entre los pares. Muchas veces, los fraudes son encontrados accidentalmente luego de haber pasado exitosamente las barreras de un sistema. Una acción que debería realizarse en todas las universidades y centros de investigación es reducir la posibilidad de fraude, educando a los nuevos investigadores en una cultura de ética y honestidad científica. Tengamos en cuenta que el quehacer científico es una actividad social por excelencia, que muchas personas en el mundo aguardan una esperanza de vida en los científicos, por descubrir nuevos tratamientos o cura contra enfermedades que matan a millones de pacientes al año. Que la ciencia no se vuelva un producto económico en esta sociedad postmodernista, cuya visión son las inversiones millonarias y su afán por patentar eso que llaman genes...

Referencias

- Bribiesca, L. H. (1988), Los fraudes en ciencia, *Ciencia y Desarrollo*, 79: 51.
- Broad, W. J. (1980), Imbroglia at Yale: Emergence of a Fraud, *Science*, 210: 38 y 171.
- Broad, W. y Wade, N. (1983), *Betrayers of the Truth. Fraud and Deceit in the Halls of Science*, Simon & Chuster Inc. New York. N.Y., p. 256.
- Culliton, B. J. (1974), *The Sloan Kettering affair (II): An uneasy resolution*, 52: 59.
- Hernshaw, L. S. (1979), *Cyril Burt, Psychologist*. Cornell University Press, Cornell.
- Koestler, A. (1971), *El abrazo del sapo*. Editorial AYMA, S. A. Barcelona.
- Kolata, B. G. (1981), Revaluation of Cancer Data Eagerly Waited, *Science*. 214: 316.
- Pérez, T. R. (1987), *Acerca de Minerva*, Secretaría de Educación Pública. La Ciencia desde México. No. 40. México, D. F.
- Schulz, P. C. y Katime, I. (2003), Los fraudes científicos, *Revista Iberoamericana de polímeros*, 4(2): 1-90.

sitios web

FÍSICA HOY

<http://www.fisicahoy.com>

La Universidad Autónoma de Madrid cuenta con este sitio web, donde muestran la física en la vida cotidiana. Los profesores del departamento de física de esta universidad explican la nanotecnología, la biofísica, la astrofísica, partículas elementales, y la relación de la física con el entorno.



ROBÓTICA

<http://www.inl.gov/adaptiverobotics/>

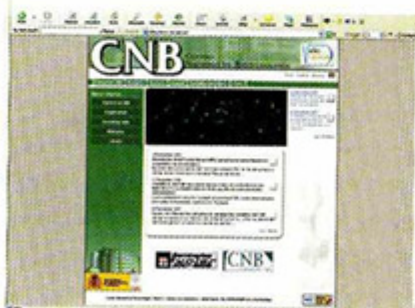
Encontrará información sobre las investigaciones que adelanta el Laboratorio Nacional de Idaho (INL). Están trabajando para desarrollar una nueva clase de sistemas robóticos integrando la ciencia y la ingeniería, para operar en diversos campos. Un ejemplo es un robot que detecta las radiaciones gamma, previniendo la exposición del hombre.



CENTRO NACIONAL DE BIOTECNOLOGÍA

<http://www.cnb.uam.es/>

Éste es el sitio oficial del Centro Nacional de Biotecnología ubicado en Madrid, España. Aquí encontrará investigaciones, formación de investigadores, noticias, becas, ofertas de empleo, publicaciones, seminarios y eventos que realizan.



AGENCIA ESPACIAL EUROPEA

<http://sci.esa.int/science-e/www/area/index.cfm?fareaid=1>

Sitio del programa de ciencia y tecnología de la agencia Espacial Europea (ESA), le brinda al navegante noticias de actualidad, investigaciones, contenido educativo sobre el sistema solar, astrofísica y física fundamental.

UNIVERSO DE LA LUZ

<http://www.universodelaluz.cl>

El Universo de la Luz: Exposición Itinerante e Interactiva, es un proyecto apoyado por el programa Explora de CONACYT de Chile y la Iniciativa Científica Milenio. Se trata de un conjunto de experimentos sobre el estudio, comportamiento, propiedades y aplicaciones de la luz diseñados para ser resistentes, transportables, y que puedan ser manipulados por el público.



QUÍMICA

<http://www.chemie.de/>

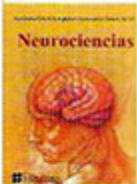
Servicio de información en química europeo donde se pueden encontrar software, equipos, libros, eventos, artículos, noticias, boletines, ofertas de trabajo y presentaciones.





Novedades editoriales

NEUROCIENCIAS



Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC
Bogotá
Septiembre 2007
104 pp.

Con gran satisfacción, ACAC presenta a sus lectores este libro dedicado al cerebro y basado en el número especial de *Innovación y Ciencia* sobre ese tema. El gran interés de las neurociencias, uno de los campos de mayor actualidad en la ciencia de hoy, al igual que la indiscutible calidad de los artículos que lo constituyen, harán que, una vez más, nuestro número especial se convierta en

obra de referencia obligada no solamente para los estudiantes de Medicina o Biología, sino para los profesionales en neurociencias y el público en general. Esperamos que esta publicación contribuya al desarrollo científico de nuestro país en un tema que será sin duda uno de los de mayor relevancia en la investigación científica en los próximos años.

nanotecnología

Naciones preliminares sobre el universo nanoscópico



Asociación Colombiana pro Enseñanza de la Ciencia – Burialma, IEE – Consejo Nacional de Nanociencia y Nanotecnología y Centro de Ciencia y Tecnología Nanoescalar.
Bogotá, Abril 2007
162 pp.

Esta publicación es un esfuerzo conjunto de las tres organizaciones editoras, que lograron reunir las nociones preliminares sobre la nanotecnología, su impacto y consecuencias para el mundo de hoy, en los campos de la salud, nuevos materiales, electrónica, entre otros. La nanotecnología ofrece al mundo entero y, en especial, a los países en vía de desarrollo la oportunidad de acelerar su crecimiento, aumentar

su bienestar social y construir las sociedades del conocimiento que se requieren.

Periódico Alma Mater 1997-2007.

10 años de noticias, opiniones y análisis con el sello de la Universidad de Antioquia



Universidad de Antioquia
Medellín
Octubre 2007
284 pp.

La Universidad de Antioquia reúne en una publicación de lujo la recopilación fotonoticiosa del producto de todos estos años del periódico *Alma Mater*, mostrando noticias, opiniones y análisis destacados que la han llevado a ser una de las publicaciones que rescata el patrimonio científico, cultural e histórico de la comunidad antioqueña y nacional.

Las rastros de la palma



Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma
Bogotá
Octubre 2007
87 pp.

Esta publicación resalta la palmicultura colombiana, que ha sido forjada por empresarios, campesinos y trabajadores a lo largo de cincuenta años, y que es una actividad económica con profundo arraigo social y territorial, pues constituye una agroindustria que es la principal fuente de abastecimiento de materias primas para la fabricación de aceites y grasas comestibles, jabones y otros productos derivados.

Nuestra pasión es trabajar por los pacientes



Somos una compañía de biotecnología dedicada a desarrollar y proporcionar terapias innovadoras que mejoren la calidad de vida de las personas con enfermedades "poco comunes."



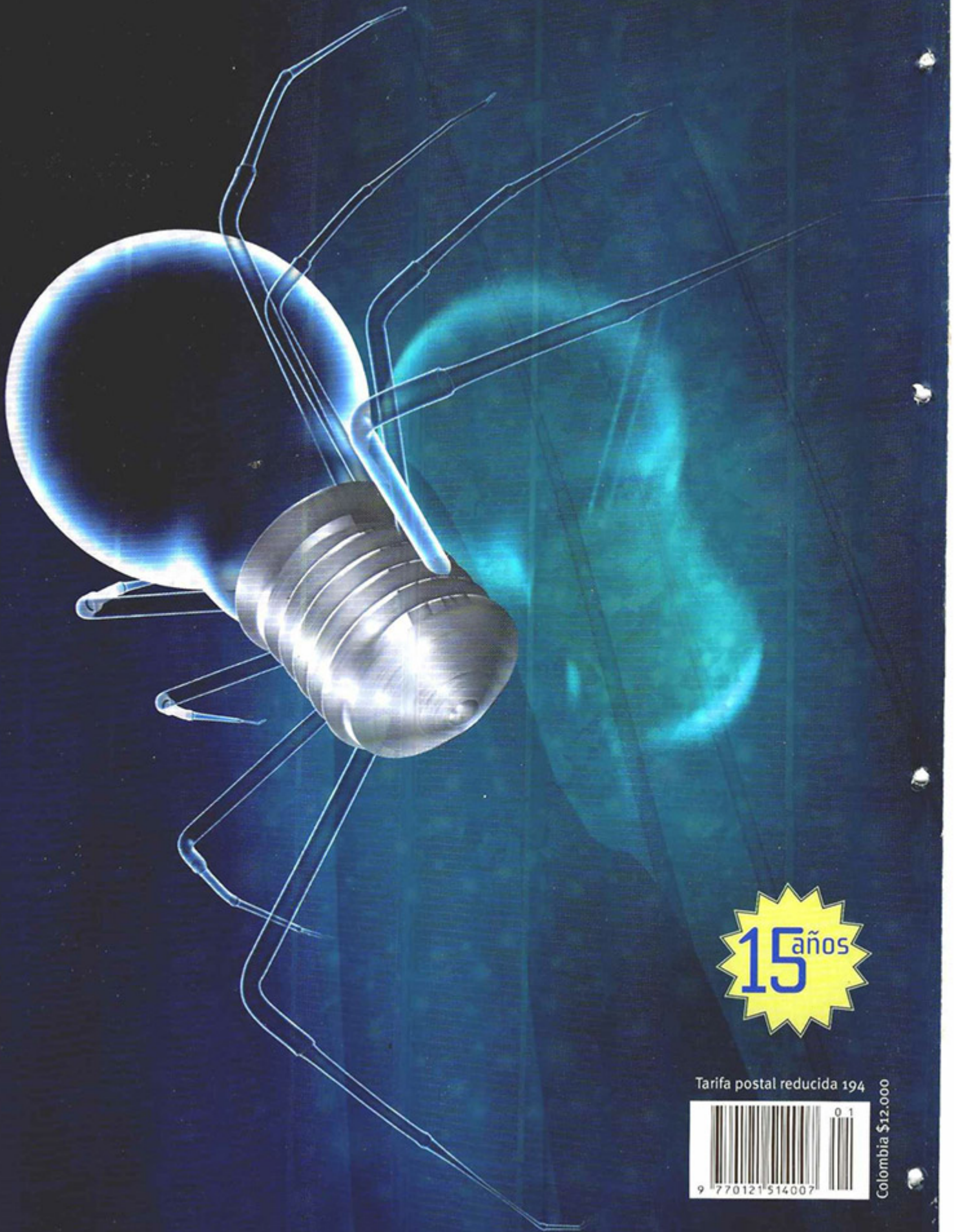
Trabajamos por la salud de los colombianos en tres líneas de acción:

- Tratamientos para enfermedades genéticas poco frecuentes
- Tratamientos para enfermedad y transplante renal y cáncer de tiroides
- Barreras de adhesión en cirugía

Genzyme de Colombia S. A.
Tel: (57-1) 621 6600
Fax: (57-1) 621 6677
Calle 93 B #17-25/49, Piso 5
Bogotá, Colombia
www.genzyme.com.co
Inst 9901C1207

Campaña institucional

genzyme



15 años

Tarifa postal reducida 194



Colombia \$12.000