



# Innovación y Ciencia

VOLUMEN VII, Nº 4, 1998

## Los 50 años del transistor

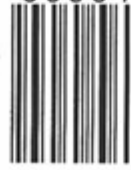
La fauna  
anfibia de los  
Andes

TARIFA POSTAL REDUCIDA 769. Precio: \$3.900.00

ISSN 0121-5140



00004



9 770121 514007

Infomedicina:  
el nuevo paradigma

# Maloka Ciencia & Tecnología Interactiva



## Misión

Contribuir a la apropiación social de la **ciencia y la tecnología** y al cambio hacia una cultura basada en el conocimiento, que incorpore el desarrollo tecnológico a nuestra cotidianidad y a los procesos productivos, dentro de un marco de desarrollo sostenible.

## Nuestros Servicios

### EXHIBICIONES INTERACTIVAS

- del Universo
- de la Vida
- de la Tecnología
- de la Biodiversidad
- de la Ciudad
- de los Niños
- del Ser Humano

CINE DOMO

RESTAURANTE  
"Maiki"

CAFE INTERNET

ALMACÉN

MALOKA VIRTUAL

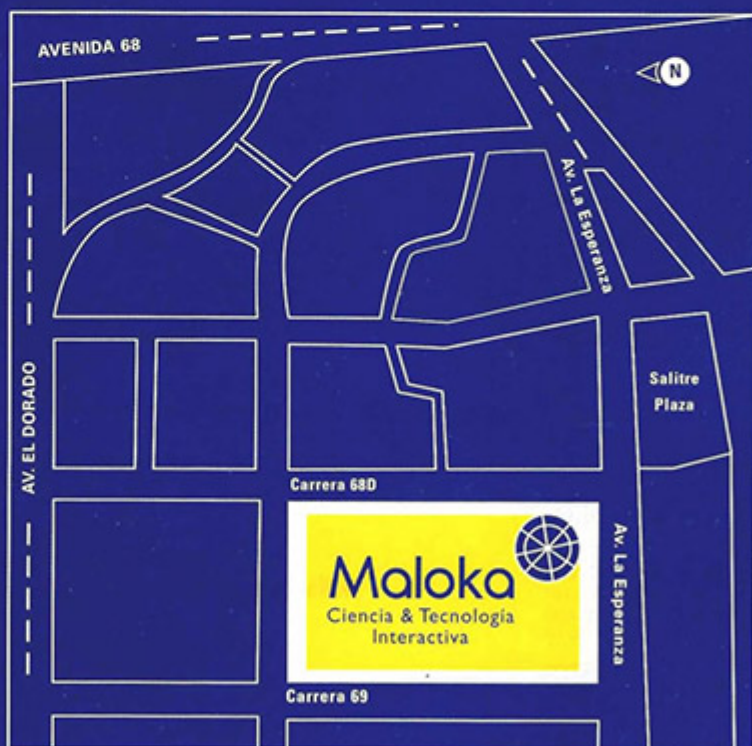
ACTIVIDADES RECR

# Visión

internet: maloka.org  
E-mail: info@maloka.org

Posicionarse como uno de los cinco centros de ciencia y tecnología más importantes del mundo y ser una organización líder a nivel nacional e internacional en educación no formal.

¡Te  
esperamos!



**Maloka**  
Ciencia & Tecnología Interactiva

Cra. 68D # 40A-51 Ciudad Salitre - Santafé de Bogotá, Colombia

Tel.: (571) 427-2707 Fax: (571) 427-2747

TIVAS / EDUCATIVAS



ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA  
EL AVANCE DE LA CIENCIA -A.C.A.C.-

Presidente  
Guillermo Hoyos

Director ejecutivo  
Eduardo Posada Flórez

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

Coordinadora editorial  
Rosario Martínez

Comité editorial  
Nohora Elizabeth Hoyos, Alberto Ospina,  
Eduardo Posada, Rosario Martínez, Carmen H. Carvajal

Asesoría editorial  
Mauricio Pérez Gil.

Consejo editorial internacional  
José Fernando Escobar, Leon Lederman,  
Isabel Llano, Rodolfo Linás.

Consejo editorial nacional  
Carlos Corredor, Rodrigo Escobar Navia,  
Rodrigo Gutiérrez, Guillermo Hoyos,  
Luis Eduardo Mora-Osejo, Antonio Ordóñez-Piñaja,  
Efraim Otero, Manuel Elkin Patarroyo,  
Jorge Rodríguez Arbeláez

Corresponsales  
Juan Carlos Salcedo, Andrés M. Pérez-Acosta

Publicidad  
Clara López, Gloria Zamora

Secretaría  
Yenny Yuliett Arias

Corrección de estilo  
Angela Fuentes

Diseño gráfico y Producción  
Vesalius - Arte y Ciencia Ltda

Fotografía  
Photo Images Ltda., The Image Bank, Super Stock  
Slide Depot, ABC Stock Imágenes

Preprensa electrónica  
Elograf Ltda

Impresión  
Printer Colombiana S. A.

Distribución  
Distribuidoras Unidas S.A.

#### DERECHOS RESERVADOS.

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

Resolución Ministerio de Gobierno N° 5447  
del 9 de octubre de 1992. ISSN 0121-5140.  
Tarifa postal reducida N° 769 de Adpostal.  
Venc. dic 98.

A.C.A.C. Cra. 50 N° 27-70,  
Edificio Camilo Torres, A.A. 92581.  
Fax: 2216950. Tels: 3150734 - 2213313 - 2217348.  
e-mail: acac2@col1.telecom.com.co  
Santafé de Bogotá - Colombia.

Precio de venta al público \$3.900.  
Suscripción (5 números al año): \$17.000.  
Impresa en Colombia.

# CONTENIDO



#### PORTADA:

Las extraordinarias propiedades electrónicas de los semiconductores forman la base de la última, y aún en curso, revolución tecnológica que afecta no sólo las potencialidades de la ciencia moderna sino prácticamente todos los aspectos de nuestra vida diaria. Este desarrollo acelerado está basado en la habilidad para controlar las propiedades electrónicas y estructurales de los semiconductores.

## NOTA DEL EDITOR

Negros nubarrones

7

## NOTICIAS Y COMENTARIOS

El cáncer del cuello uterino. Una enfermedad venérea... con esperanza de una vacuna.

8

¿Existen planetas fuera del Sistema Solar?

12

Los museos de ciencia y tecnología.  
Las catedrales del futuro.

16

Información "Bit-degradable".

22



## VISTAZOS

Robots en el quirófano  
Supercomputadores de bajo costo  
Hallazgo en Chile replantea la llegada de los humanos a América  
Trigo hecho a mano  
Reparaciones por el camino  
Aspirina: otra ventaja más  
El litio y la muerte celular  
Toma de decisiones bajo presión: no es para todo el mundo  
Al rescate de las diferencias "no significativas"

26

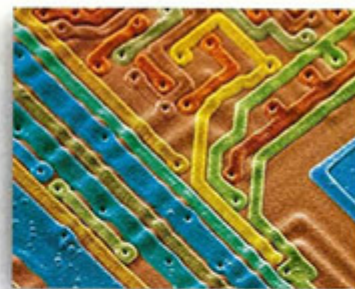
# Innovación y Ciencia

Volumen VII, N°4 - 1998

## ARTICULOS

### Física de semiconductores en los cincuenta años del transistor

No ha habido en la historia reciente de la ciencia y la tecnología un invento que haya marcado tan extraordinariamente nuestra vida cotidiana como el del transistor. La historia de los 50 años de este invento ha demostrado cómo una relación cooperativa entre ciencia básica y tecnología ha llegado a cambiar nuestro modo de vida y nos ha enseñado algunas propiedades sorprendentes de la materia forzada a bajas dimensiones.



30

### El pasado y el futuro de la humanidad es azul

Los océanos cubren el 70% de nuestro planeta y el hombre ha explorado científicamente menos del 1% de ellos. Hoy, cuando la sobrepoblación de la tierra se hace evidente, mirar hacia el mar es la alternativa más próxima.

40

### La riqueza de la fauna anfibia de los Andes colombianos

El artículo aporta información actualizada sobre la riqueza de los anfibios en los Andes colombianos. El autor describe cómo la taxonomía es esencial para el conocimiento de la biodiversidad y destaca la importancia de tomar medidas que garanticen la supervivencia de estas especies.

46

### Evolución, religión y los límites de la ciencia

Darwin completó la revolución copernicana, al incluir los organismos y sus órganos dentro del ámbito de la ciencia. La evolución por selección natural es un proceso creador, en el que se entrelazan el azar y la necesidad, y que ha producido alas y ojos; orquídeas, cóndores y humanos. Pero el valor y el significado del mundo y de la vida son cuestiones fuera del alcance de la ciencia, a explorar con la literatura, el arte, la filosofía y la religión.

52

### Infomedicina. El nuevo paradigma.

Lo más sobresaliente de la evolución histórica de la medicina en el siglo XX es su vertiginoso avance para convertirse en una nueva ciencia.

60



## NOVEDADES EDITORIALES

72

# Fundación Corona



La FUNDACIÓN CORONA contribuye al progreso del país mejorando la calidad de la gestión de los procesos sociales y facilitando el acceso de la población menos favorecida a los beneficios que genera el desarrollo.

Con este propósito trabaja en las siguientes áreas :

- **Desarrollo Empresarial:** Crea y fortalece instituciones y programas de apoyo a la micro y pequeña empresa.
- **Educación:** Contribuye a mejorar la calidad de la educación básica y la pertinencia de la formación para el trabajo.
- **Salud:** Mejora la Gestión Hospitalaria y el acceso de la población menos favorecida a los servicios de salud.
- **Gestión Local y Comunitaria:** Fortalece la capacidad de gestión tanto de las comunidades organizadas como de los gobiernos locales.

FUNDACIÓN CORONA  
Calle 100 No. 8A-55 - Torre C - Piso 9  
Teléfono: 610 5555 - Fax: 610 7620 - Bogotá  
fc005000@inter.net.co

# NOTA DEL EDITOR

## Negros nubarrones

**E**l factor que más ha caracterizado el desenvolvimiento de la actividad científica y tecnológica en América Latina, y muy probablemente en otros países en desarrollo, es la gran inestabilidad de las políticas gubernamentales en este campo y la poca fuerza que poseen los organismos encargados de su gestión. Los ministerios, secretarías, consejos nacionales, se crean un día y se eliminan al siguiente, al capricho de los funcionarios de turno, sin que, a pesar de los reiterados esfuerzos de la comunidad científica, se haya logrado que temas de tanta trascendencia adquieran el carácter de políticas de Estado como lo tienen los países industrializados.

Ello se debe esencialmente a la idea muy generalizada entre los economistas poco informados (desafortunadamente legión en nuestras tierras), de que la ciencia y la tecnología son lujos reservados a las naciones avanzadas y que en las nuestras no podemos ser sino receptores pasivos de lo que se produzca en latitudes más favorecidas. En resumidas cuentas, la ciencia básica no sirve para mucho y no tiene sentido financiarla y la tecnología no hay más remedio que comprarla, ya que producirla es una utopía rayana en el delirio. Cuántas lamentables decisiones no se han tomado con base en tan peregrina teoría, atractiva sin embargo a ojos de quienes ven en ella una manera fácil de ahorrar algunos centavos en los presupuestos del gobierno, agobiados por los crónicos desajustes fiscales.

Afortunadamente es fácil demostrar cuán equivocados están quienes así razonan, evocando ejemplos concretos de países que han tomado la decisión política de apoyar la educación, la ciencia y la tecnología, éstos, en corto tiempo, han alcanzado niveles de desarrollo comparables con los de países de industrialización tradicional. A ello se debe que un país como Taiwán haya logrado en quince años y partiendo de cero, convertirse en el cuarto productor mundial de circuitos integrados y uno de los mayores productores de computadores personales, todo ello gracias a una tecnología completamente propia.

Sin tener que recurrir a ejemplos tan lejanos, es fácil encontrar en nuestro país casos notables en ese sector. Uno de ellos es el desarrollo de la variedad Colombia llevado a cabo por Cenicafé hace unos años, que le representa anualmente a la industria cafetera nacional miles de millones de pesos de ahorro en costos de fumigación contra la roya; otro es la puesta a punto del beneficio sin agua, que tendrá una importante repercusión en la conservación del medio ambiente de la zona cafetera.

Hace treinta años exactamente, durante la administración del presidente Carlos Lleras Restrepo se creó Colciencias, inicialmente como un fondo adscrito al Ministerio de Educación y posteriormente, tras la promulgación de la legislación de ciencia y tecnología,

como un instituto para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. A lo largo de estos años, la entidad ha realizado una extraordinaria labor en favor del desarrollo del país; en particular se deben destacar el sensible incremento de la financiación para la investigación, los programas de formación de investigadores al más alto nivel y las actividades de apoyo al desarrollo tecnológico. Gracias a todo ello en los últimos diez años se ha construido el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, como base de la actividad de investigación en nuestro país. Ese Sistema, si bien es aún frágil, constituye un elemento vital para establecer un diálogo entre los principales sectores de la vida nacional, ya que agrupa en los consejos de programa a representantes de la comunidad científica, del sector productivo y del gobierno, convirtiéndose en un espacio único de concertación entre ellos. La gran fortaleza de Colciencias a lo largo de estos años, que lo ha convertido en modelo en el continente, ha sido la unidad conceptual, la relativa estabilidad en su financiación y el hecho de reunir bajo un mismo techo los programas de ciencias básicas y aplicadas, los de desarrollo tecnológico y los de formación de investigadores. Todo lo anterior hacía pensar a la comunidad científica nacional que Colciencias era la honrosa excepción a los peligros que enunciábamos al comienzo.

Desafortunadamente, lo ocurrido en los últimos meses ha mostrado hasta qué punto esa confianza carecía de fundamento. Por un lado, se ha hablado, con el absurdo pretexto de ahorrar algunos centavos, de desmembrar a Colciencias y repartir sus funciones entre ministerios y otros institutos como recompensa, sin duda, por haber sido una de las entidades más eficientes del Estado colombiano. Si bien lo anterior no ha pasado de ser un rumor que esperamos se limite a ello por el bien del país, lo que sí es un hecho concreto es el enorme recorte en su presupuesto que para el año de 1999 no pasará de 24 millones de dólares, suma esta inferior a la apropiación de todos los años transcurridos desde 1992 y la cuarta parte del presupuesto de 1996. Esa suma es totalmente risible si se piensa que deberá servir para cubrir la formación de investigadores, la financiación de los proyectos de investigación en ciencias naturales y sociales que se desarrollan en las universidades y centros de investigación, y los programas de apoyo al desarrollo tecnológico que se llevan a cabo en la industria y en los centros de investigación aplicada.

Esperamos que el gobierno actual comprenda la gravedad de la situación y tome las medidas correspondientes para evitar que se cometa un error histórico de incalculables proporciones.

EDUARDO POSADA F.  
Director Ejecutivo A.C.A.C.

Una  
enfermedad  
venérea ...  
con  
esperanza  
de una  
vacuna

# El cáncer

## del cuello uterino

**L**os virus son partículas ultramicroscópicas que contienen ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (ARN) como material genético. Se multiplican únicamente dentro de una célula y originan en ella lesiones diversas que a veces no sólo son letales para la misma, sino para el organismo que sufre la infección. En general, producen enfermedades agudas, pero causan también enfermedades crónicas y persistentes al transformar el comportamiento de las células infectadas. Éstas empiezan a proliferar en exceso y, en consecuencia, a provocar la formación de tumores benignos y malignos. Los

papilomavirus son un ejemplo de esta última acción.

Los papilomavirus contienen ADN y afectan la piel y las mucosas de la boca, la vagina, el cuello uterino, la región anal y la perianal. Deben su nombre a que inducen proliferación celular con formación de verrugas llamadas papilomas, que son los tumores benignos más frecuentes en todos los seres humanos conocidos como verrugas vulgares o mezquinos.

De especial importancia es su asociación con verrugas venéreas de transmisión sexual como los condilomas acuminados, la papulosis bowenoide que es un carcinoma *in situ*, no invasor, localizado en la

epidermis del área genital de hombres y mujeres, y con los condilomas virales y los carcinomas escamosos del cuello uterino.

Un virus se puede observar con el microscopio electrónico y se puede "disecar" con métodos especiales de biología molecular. Los papilomavirus constan de un centro de ADN con doble cadena, recubierto por unidades proteicas llamadas capsómeros que en conjunto forman una cubierta para el ADN viral, llamada cápside. Miden 55 nanómetros de diámetro (1 nanómetro es la millonésima parte de un mm) y se multiplican en el núcleo de algunas células epiteliales. El ADN viral tiene 8 segmentos llamados E1, E2, E4, E5, E6, E7, L1, L2, cada

uno de los cuales posee la información para ordenar la síntesis de diferentes proteínas del virus.

Por la comparación de estos segmentos génicos se sabe que existen unos 75 tipos de papilomavirus que afectan a los humanos. Así mismo, virus similares pero específicos para cada especie existen en los peces, las tortugas, los bovinos, los perros, los conejos y muchos otros animales.

La tipificación de los papilomavirus tomó mayor importancia a mediados de los años setenta, cuando se confirmó que la epidermodisplasia verruciforme, una enfermedad humana, viral, crónica y persistente, en la cual se presentan en la piel verrugas aplanadas y tumores de diverso tipo, entre ellos tumores cutáneos malignos, era producida por diferentes tipos de papilomavirus. Cuando los virus predominantes eran los tipos 5 y 8, los enfermos presentaban lesiones malignas, mientras que con otros tipos virales sólo mostraban lesiones benignas.

Hacia la misma época, se empezó a prestar mayor atención a los condilomas del cuello uterino en los cuales se demostraron papilomavirus. Se pudo establecer también que la papulosis bowenoide genital era producida principalmente por los papilomavirus tipo 15 y 16, que también fueron detectados en lesiones tumorales del cuello uterino.

Nació así una nueva biología de los papilomavirus centrada en su capacidad oncogénica benigna y maligna.

Inicialmente, los investigadores afirmaron que la presencia de papilomavirus humano en los carcinomas del cuello uterino representaba solamente un cofactor unido circunstancialmente a otros factores de riesgo para el cáncer del cuello, tales como la iniciación temprana de las relaciones sexuales, la promiscuidad sexual, otras enfermedades venéreas y virales como el herpes simple y el tabaquismo, entre otros. Hoy la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que la presencia del virus es esencial para que se desarrolle el cáncer del cuello uterino.

Los papilomavirus más implicados en el origen del cáncer del cuello uterino son los tipos 16 y 18, pero existen otros, pues hasta ahora han sido detectados unos veinticinco capaces de contribuir en la formación de esta neoplasia. Los compañeros sexuales de las mujeres afectadas tienen también estos virus o son portadores de ellos en sus genitales e inclusive en el semen, pero el desarrollo de tumores es menos frecuente en los hombres.

En conclusión, existe evidencia razonable para afirmar que el cáncer del cuello uterino es una enfermedad producida por diferentes tipos de papilomavirus y constituye una enfermedad de transmisión sexual.

## Se dispone de una vacuna para papilomavirus en animales y el paso a humanos será cuestión del futuro inmediato.

Los investigadores buscan entender: 1) ¿Cómo algunas de las proteínas que elabora el virus alteran el ciclo de proliferación celular de tal manera que immortalizan las células y las vuelven tumorales? 2) ¿Cómo se induce o se expresa la respuesta inmune del hospedero? Se sabe que si bien las verrugas persisten durante años también sanan "espontáneamente" a través de la respuesta inmune de los linfocitos y anticuerpos del

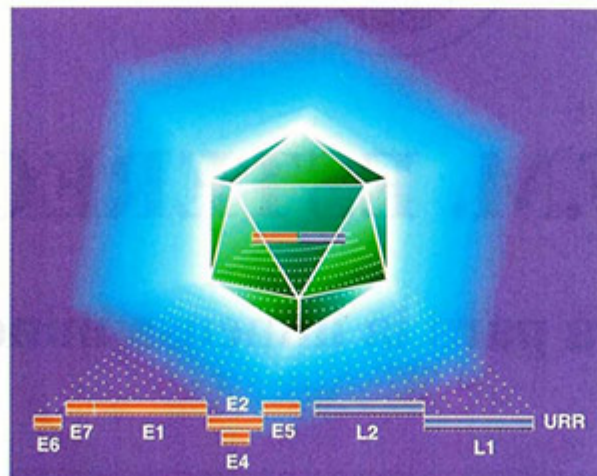
hospedero que destruyen las células que alojan el virus, a partir de ese momento, el paciente queda con inmunidad definitiva y no vuelve a presentar las verrugas.

Estos ensayos han contado con una dificultad adicional: los virus no crecen *in vitro*, en células cultivadas, por lo tanto, no hay modelos para ver su desarrollo, aislar las proteínas virales y muchos otros aspectos que se facilitan con el cultivo. La biología molecular ha dado pasos decisivos en este sentido, pues ha transferido o pegado segmentos del ADN de los papilomavirus a otro virus que sí crece en células en cultivo, utilizándose en este caso células de insectos. Al multiplicarse en el cultivo celular este virus así modificado no sólo produce sus componentes, sino los codificados u ordenados por el ADN del papilomavirus que se le ha insertado.

En varios ensayos, al virus vector se le han unido los fragmentos génicos L1 y L2 de los papilomavirus. Estos genes codifican y ordenan la formación de las proteínas de la cápside, que por ser la más externa del virus es el blanco contra el cual se dirigen los anticuerpos del hospedero. Las cápsides así formadas no contienen ADN y por lo tanto no son infectantes, pero sí son anti-génicas.

Conejos y vacas inyectados con las cápsides específicas de sus papilomavirus produjeron títulos altos

**Figura.** Organización del genoma del virus papiloma humano.



de anticuerpos, luego tanto éstos como otros animales no vacunados fueron infectados con sus papilomavirus. Se observó que en los primeros no se desarrollaron lesiones; mientras que en los animales control, no vacunados, sí se manifestaron verrugas y tumores. En animales con lesiones previas, la aplicación de la vacuna no surtió ningún efecto.

En conclusión, se dispone de una vacuna para papilomavirus en animales y el paso a los ensayos en humanos será cuestión del futuro inmediato. El principal obstáculo está en que no hay protección cruzada entre los diferentes tipos de papilomavirus, ni siquiera entre los estrechamente relacionados como los tipos 6 y 11. Se requiere entonces una vacuna múltiple que neutralice aquellos virus llamados de "alto riesgo", por su mayor facilidad para desarrollar cáncer de cuello uterino.

La tecnología de biología molecular tiene las condiciones para

desarrollar una vacuna contra el cáncer del cuello uterino, que es la segunda causa de mortalidad de las mujeres en todo el mundo y que en nuestro país tiene una de las incidencias más altas registradas, con cuarenta casos nuevos por cada 100.000 mujeres al año.

Sin embargo, las mujeres no deben tener la falsa impresión de que la vacuna se encuentra disponible. Los ensayos clínicos controlados, la producción de las cápsidas pertinentes, los virus que deben contener, la edad y la vía en que se debe aplicar, el número de inmunizaciones, las licencias y los acuerdos mundiales de las organizaciones de salud son pasos que toman tiempo, pero la claridad metodológica y la contundente demostración de protección en los experimentos con animales, permite guardar la esperanza de su aplicación a corto plazo.

Por otra parte, las vacunas no deben tomarse como panaceas que

solucionan todos los problemas. El cáncer de cuello uterino puede diagnosticarse en sus inicios, cuando no se ha diseminado, y es curable en todos los casos. Esto se logra mediante el simple y económico procedimiento llamado "citología vaginal o cervicovaginal", que toda mujer con vida sexual activa debe practicarse anualmente. Si esta norma se practicara estrictamente, ninguna mujer en el mundo moriría a causa del cáncer del cuello uterino.

Gerzain Rodríguez  
Ladye Sarmiento

Instituto Nacional de Salud,  
Laboratorio de Patología,  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.

e-mail: gerodrig@bacata.usc.unal.edu.co



# 89.9 F.M. ESTEREO

## una emisora para la inmensa minoría

Of.: Cra. 12 N° 82-23 • Tels.: 236 38 40 - 236 39 96 - 616 02 35 • Fax: 257 0595 - 236 88 61 • Bogotá D.C.

# EL CAFE ES BUENO PARA TODOS

<http://www.cafedecolombia.com>



“El café es 100% natural y nos dá la energía necesaria para realizar con éxito todos nuestros proyectos, que son los proyectos de Colombia.”

TORO

## EL CAFE



Despierta tu energía

### Pasos Para Preparar Un Café Frío



- 1 Endulzar al gusto de 2 a 3 tazas de café, preferiblemente oscuro
- 2 Enfriar el café
- 3 Agregar en la licuadora el café y tres cubitos de hielo
- 4 Licuar por 20 segundos
- 5 Servir y degustar inmediatamente



Centros de Preparación de Café  
E - MAIL: [cpctazor@colomsat.net.co](mailto:cpctazor@colomsat.net.co)  
Bogotá: Tels: 346 1809 / 249 3612



# *¿Existen planetas fuera del Sistema Solar?*

**L**a posibilidad de encontrar planetas fuera de nuestro Sistema Solar ha intrigado a los astrónomos desde épocas muy remotas. El descubrimiento de uno de estos planetas tendría profundas consecuencias para el entendimiento del origen y formación del Sistema Solar y solidificaría la hipótesis según la cual los sistemas planetarios como el nuestro deben ser la norma y no la excepción.

Analizando las modulaciones en el espectro de algunas estrellas, los astrónomos han encontrado evidencia indirecta en favor de la presencia de planetas en la vecindad de las mismas, pero no se había logrado una observación directa de ningún planeta extrasolar hasta el mes de agosto de 1997, cuando el telescopio espacial Hubble produjo la imagen de un planeta a una distancia de 450 años luz.

Observar un planeta en otra estrella que no sea el Sol es muy difícil debido a que los planetas no emiten luz propia y además cualquier cámara es ciega a objetos poco luminosos situados al lado de una fuente muy intensa como lo es la estrella central. La clave que permitió descubrir este planeta fue la observación en la parte del espectro electromagnético correspondiente al infrarrojo. Un planeta gigante como Júpiter, formado recientemente, aún conserva grandes cantidades de calor en su interior, lo cual se manifiesta con emisión en el infrarrojo. Susan Terebey y su grupo de la Corporación de Investigación Extrasolar, en Pasadena, Estados Unidos, usaron la cámara infrarroja NICMOS a bordo del telescopio espacial Hubble para recoger esta señal<sup>1</sup>. La observación del planeta llamado "TMR-1C", se hizo en la región de Taurus en un sistema estelar binario.

La imagen muestra una estructura en forma de filamento que conecta al planeta con el sistema binario de estrellas (**figura 1**). Apparently, el planeta fue lanzado del sistema estelar debido a un jalón gravitacional común en sistemas de varios cuerpos.

Si se logra establecer la edad de TMR-1C, es posible estimar su masa y decir si efectivamente es un planeta o una estrella enana marrón. En caso de que TMR-1C tenga la misma edad de las estrellas

vecinas (algunos cientos de miles de años) se trata de un planeta con una masa entre 2 y 3 veces la masa de Júpiter. Si por el contrario, su edad se aproxima a los 10 millones de años entonces es más probable que éste sea una estrella enana marrón (una estrella donde no se mantiene el proceso de fusión nuclear).

**Figura 1.**  
Derecha:  
Imagen del  
TMR-1C captada  
por el telescopio  
espacial Hubble  
(NICMOS).  
Abajo:  
Localización del  
TMR-1C.



El objeto TMR-1C candidato a planeta se encuentra a 389.000 millones de kilómetros de su estrella madre alejándose a una velocidad de 10 km/sec. La reacción de los astrónomos coincide en apreciar la necesidad de hacerle seguimiento a este objeto para determinar la órbita y obtener su espectro de emisión. De esta forma se podrá confirmar el descubrimiento o discriminar entre las diversas alternativas (una estrella de fondo o una enana marrón). Sin

embargo, aún si este candidato no logra confirmarse, la evidencia de planetas extrasolares es bastante fuerte.

Cuando un planeta gigante da vueltas en torno a una estrella central, la posición de la estrella vista por un observador desde la Tierra aparece perturbada con un movimiento que la hace acercarse y

alejarse cíclicamente en fase con el movimiento orbital del planeta.

Debido al efecto Doppler de la luz emitida por la estrella, las líneas de absorción presentes en su espectro aparecen en la Tierra desplazadas hacia el azul cuando la estrella se acerca y hacia el rojo cuando se aleja. Usando la técnica del efecto Doppler, los astrónomos suizos Michel Mayor y Didier Queloz anunciaron al mundo en octubre de 1995, la detección de un planeta en torno a la estrella 51 Pegasi. A los pocos días este descubrimiento fue confirmado con mediciones realizadas por Geoff Marcy y Paul Butler de la Universidad de San Francisco.

La estrella 51 Pegasi es parecida al Sol pero, contrario a lo que se

esperaría, la órbita del planeta descubierta por Mayor y Queloz lo coloca demasiado cerca a 51 Pegasi. Con un periodo orbital de 4,2 días y una masa aproximada de 0,5 masas de Júpiter, este planeta está a sólo 10 millones de kilómetros (una sexta parte del radio de la órbita de Mercurio) de su estrella central.

Para los científicos no ha sido tarea fácil realizar las mediciones que han permitido la detección de planetas extrasolares porque para captar las pequeñas velocidades de las perturbaciones en el movimiento de las estrellas producidas por planetas en órbita, se requiere una resolución de tres metros por segundo al momento de producir un espectro. Por esta razón, la evidencia tiene que ser cuidadosamente examinada y confirmada independientemente por otros grupos. En el caso del planeta en 51 Pegasi surgió la duda sobre la verdadera naturaleza de la señal de-

tectada por Mayor y Queloz, ya que es posible explicar un efecto similar como producto de oscilaciones estelares en lugar de perturbaciones por órbitas planetarias. Las observaciones de David Gray de la Universidad de Ontario Occidental indican que en 51 Pegasi se producen oscilaciones en la superficie de la estrella que podrían ser la fuente de la señal interpretada como un planeta. Sin embargo, la confirmación realizada por Marcy y Butler y los resultados de nuevos análisis favorecen la tesis planetaria en 51 Pegasi<sup>2</sup>.

Fuera de TMR-1C y del planeta en 51 Pegasi, Marcy y Butler han encontrado otros seis planetas que gravitan alrededor de estrellas parecidas al Sol. Aleksander Wolszczan de la Universidad de Pensilvania detectó la presencia de tres planetas en torno a una estrella pulsar. El conjunto de datos y observaciones referentes a planetas extrasolares confirman, una vez más, la visión copernicana del cosmos en la cual

nuestro planeta y nuestro Sistema Solar no tienen nada de especial en el universo. La formación de sistemas solares y planetas parecidos al nuestro es tarea rutinaria en el cosmos.


## Referencias

1. El anuncio original del descubrimiento se encuentra en internet: <http://www.oposite.stsci.edu/pubinfo/pr/1998/19/pr-photos.html>

2. Resumen de los argumentos a favor de la interpretación planetaria en 51 Pegasi se encuentran en internet: <http://www.usr.obspm.fr/planets/>

Sergio Torres Arzayús  
Centro Internacional de Física.  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
e-mail: storres@earthlink.net

**Acceso telefónico a redes**



La línea está ocupada.  
Inténtelo de nuevo más tarde.

**Aceptar**

- IT Asistencia personalizada 24 horas al día, todos los días.
- IT Las tarifas más económicas del mercado.
- IT Su conexión a Internet desde 35 ciudades del país.
- IT Acceso sin demora a la red, con veloz salida internacional por fibra óptica.
- IT Un completo portafolio de servicios complementarios para usted y su empresa (Telecom Mail, Banca en Casa, EDINET, Teleciudad...)

¿Más tarde?

ENTRE de una POR  
INTERNET-TELECOM

DESDE  
\$30.000 mensuales  
más IVA

Gratis llame ahora y entre ya!

9800 19011

[Internet.Telecom.com.co](http://Internet.Telecom.com.co)

**INTERNET TELECOM**

Vicepresidencia de Servicios Telemáticos

¡En larga distancia, el que Sabe... Sabel!

**MARQUE ASI:** NACIONAL 0 + indicativo de siempre  
INTERNACIONAL 009 + indicativo del país + código de área





FUNDACION ALEJANDRO ANGEL ESCOBAR

## PREMIOS 1998

### **Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**

Estudios inmunológicos, bioquímicos y moleculares de *Trypanosoma cruzi*, agente causal de la enfermedad de Chagas, como contribución al establecimiento de programas de prevención y control a nivel nacional. *Felipe Guhl Nannetti*

### **Ciencias Sociales y Humanas**

Historia de Orocué. *Roberto Franco García*

### **Menciones de Honor**

La ciudad representada. Política y conflicto en Bogotá.  
*Francisco Gutiérrez Sanín*

Album de familia: la imagen de nosotros mismos.  
*Armando Silva*

### **Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible**

La biogeografía como herramienta en la selección de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en la Amazonia y Pacífico colombianos.  
*Thomas Walschburger, Adriana Hurtado Guerra, Milton H. Romero Ruiz, Olga Lucia Montenegro Díaz, María del Pilar Rivas Pava, Claudia Sofía Polo Urrea, Martha Liliana Ahumada Franco.*

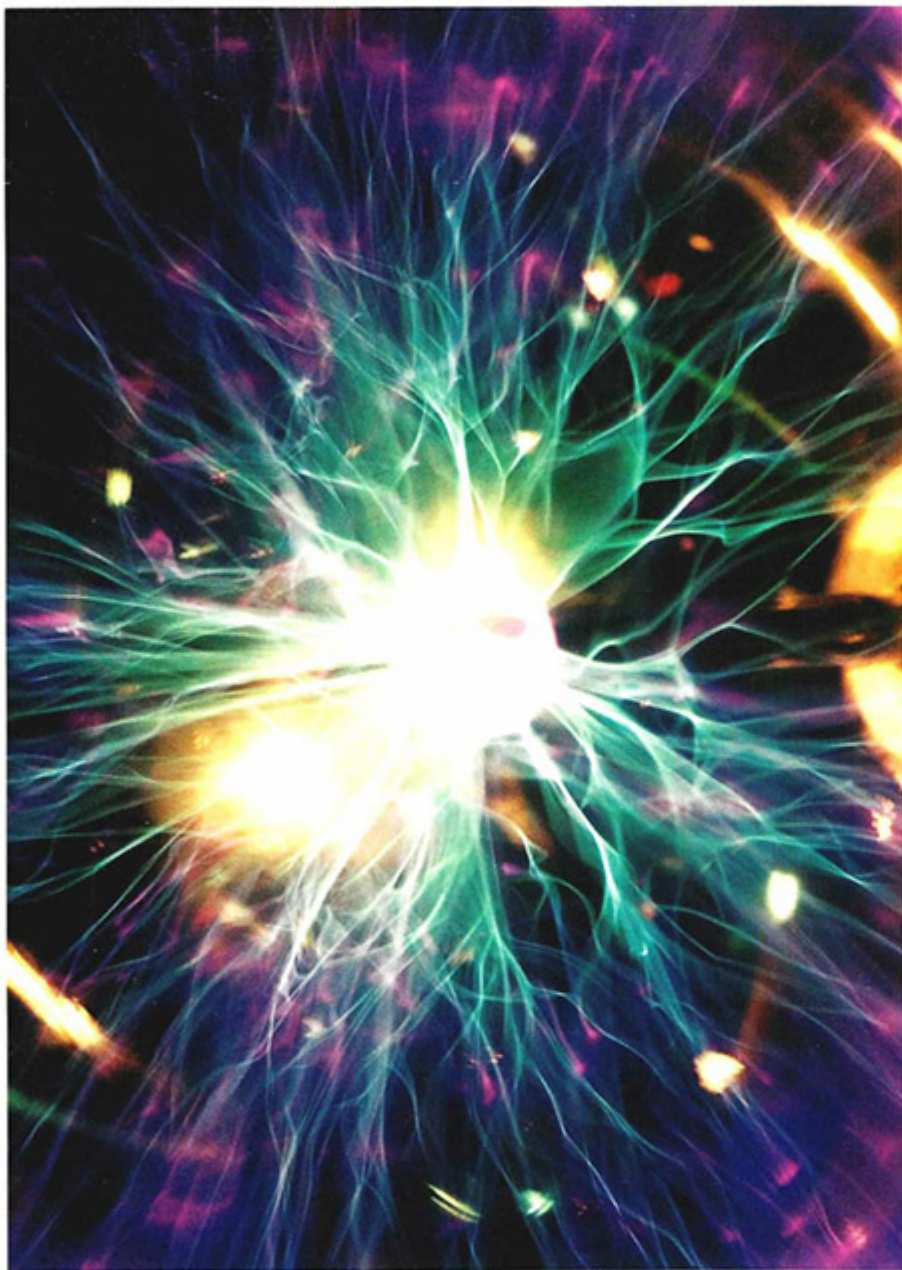
### **Solidaridad**

*Asociación para el Desarrollo Campesino, ADC. Pasto (Nariño)*  
*Corporación para el Desarrollo de Versalles. Versalles (Valle del Cauca)*

Reconocimiento a la excelencia: *Profamilia. Asociación pro-bienestar de la familia colombiana*



# Los museos de



¿Cómo funciona el motor de un automóvil?. ¿por qué se producen los tornados?. ¿qué son las ondas de radio?. ¿por qué tenemos dos ojos?... son sólo algunas de las inquietudes que responden de un museo de ciencia y tecnología. Más allá de la misión eminentemente educativa, de divulgación científica o de diversificación del ocio; los museos de ciencia y tecnología comienzan a plantearse otro tipo de tareas: producir emociones.

Los museos de ciencia nacieron como vitrina del desarrollo científico y tecnológico de los países industrializados y en la actualidad se han convertido en uno de los medios más importantes de divulgación científica. En este siglo han buscado, al igual que otro tipo de museos, alejarse del concepto de lugar frío, autoritario y distante, que caracteriza la museística tradicional para transformarse en una institución que dialoga con su público. En gran parte, el éxito de los museos de ciencia y tecnología se debe a que buscan que los visitantes sean protagonistas; que toquen, huelan, sientan, curioseen y se emocionen. Nada reemplaza la sensación de tocar un pequeño lagarto del Sahara o de aprender a diferenciar las tortugas de tierra y de agua acariciando sus caparazones. El contacto directo con los fenómenos naturales, físicos o químicos, puede llevar al usuario a encontrar una relación con los diferentes elementos que forman parte de su vida cotidiana.

# Las catedrales del futuro

# ciencia y tecnología

## Origen y evolución

En sus inicios los museos de ciencia y tecnología se proyectaron como expositores. Siguiendo el modelo del museo tradicional, se limitaron a mostrar escaparates atiborrados de elementos y a exhibir los logros científicos más importantes. En Europa, comenzaron a desarrollarse a raíz de la revolución industrial. Una excepción fue el caso de Francia, pues a finales del siglo XVIII se inauguró allí el *Conservatoire des Arts et Métiers*, uno de los precursores de los museos de ciencia y tecnología en ese país. En el Reino Unido, *The Science Museum* surgió gracias a la exhibición industrial de mitad del siglo XIX. Al otro lado del océano, el británico James Smithson dio soporte económico para crear el *Smithsonian Institution*, una entidad cuya razón de ser ratificó el Congreso de los Estados Unidos en 1846<sup>1</sup>.

Años más tarde, Alemania creó el *Deutsches Museum*, en Munich, hoy uno de los museos más

importantes del mundo, que abrió sus puertas en 1925. Luego nació el *Palais de la Découverte* de París, que inició sus actividades durante la exposición universal de 1937 y que en el decenio de los ochenta se convirtió en parte de la *Cité des Sciences et de l'Industrie*, en el complejo de ciencia y tecnología conocido como *La Villette*.

## Primeros pasos hacia la interactividad

De manera temprana, los encargados de algunos de los museos de ciencia y tecnología detectaron que algo le hacía falta a su público, que era necesario plantear alternativas para que el visitante entendiera por sus propios medios lo que sucedía en el mundo de la ciencia a través de situaciones y objetos presentes en la vida diaria.

En 1937, el *Palais de la Découverte* realizó los primeros intentos de exposiciones interactivas. El científico Jean Perrin introdujo experimentos, lecturas en grupo, películas y otro tipo de actividades que buscaban estimular el espíritu científico del público<sup>2</sup>.

Un año después Henry Lyons, director de *The Science*

*Museum*, observó que los visitantes tenían una actitud pasiva y quiso promover su participación, así creó la *Children's Gallery* donde los niños no se limitaban sólo a observar, sino que podían aprender a través de experimentos la forma cómo funcionaban los desarrollos tecnológicos.

En la búsqueda de nuevos caminos para desarrollar los museos de ciencia y tecnología, a finales del decenio de los cincuenta, los educadores estadounidenses plantearon un nuevo esquema de museo que pretendía que el usuario no sólo fuera un espectador, sino también "hiciera" y descubriera por sí mismo cómo funcionaban las cosas gracias a la manipulación de herramientas especialmente diseñadas para ello.

El primer paso fue alejarse de las características rígidas de la museística tradicional para conformar una institución participativa. Entonces, se trató de potenciar la libertad del visitante en el interior del museo -para que cada uno hiciera lo que le interesara y además se divirtiera-, y evitar así la apariencia autoritaria<sup>2</sup>.

La corriente norteamericana abandonó el término "museo", para adoptar el de "centros interactivos de ciencia". El interés principal de



**Figura 1.**  
La exposición universal de 1937, durante la cual inició actividades el Palais de la Découverte en París.



**Figura 2.**  
*Taller Toca Toca,  
 Museo de la ciencia  
 de la Fundación  
 La Caixa en Barcelona.  
 (Fotografía:  
 Pilar Aymerich).*

Lo importante  
 es que exista una  
 interactividad total  
 compuesta por  
 la interactividad  
 física, mental  
 y emocional.

# Maloka

**M**aloka, el primer Centro Interactivo de Ciencia y Tecnología de Colombia, y único subterráneo en su género y extensión en Suramérica, es el resultado de un largo camino recorrido por la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, A.C.A.C., en pro del acercamiento, sin prejuicios ni temores, de toda la sociedad al quehacer de los científicos, las innovaciones tecnológicas y el futuro de las distintas áreas del conocimiento.

En un ambiente lúdico e informal **Maloka** abrió sus puertas el cuatro de diciembre pasado a todos los colombianos para mostrar en sus 17.000 metros cuadrados, la relación entre todas las áreas del saber.

**Maloka** es una invitación para la Colombia del siglo XXI en los campos científico, tecnológico, cultural, educativo, turístico y recreativo, que cambiará la manera de ver y vivir la ciencia. A través de sus nueve salas que forman un



recorrido temático que se inicia desde las primeras experiencias sensoriales de la *Sala Infantil*, como se ha denominado este espacio dedicado a los menores de diez años, hasta la *Sala de la Ciudad*, un espacio de educación ciudadana donde todos pueden conocer cómo la ciencia y la tecnología están presentes en la vida cotidiana y contribuyen al bienestar en las ciudades de hoy.

Los visitantes de **Maloka** también podrán conocer los desarrollos científicos en materia de petróleo y telemática en la *Sala de la Tecnología*, que para algunos será un apasionante recorrido; así como la *Sala de la Biodiversidad* que reproduce una pequeña muestra del ecosistema de la Sabana de Bogotá.

estos centros fue demostrar los principios científicos y técnicos, en lugar de almacenar y exhibir objetos.

En el decenio de 1960, el físico estadounidense Frank Oppenheimer dio un gran empuje a las ideas del *Palais de la Découverte* y aplicó técnicas interactivas como medio de estimulación al usuario, al crear *The Exploratorium*, en San Francisco. En 1968, Oppenheimer publicó un artículo en el que planteó como principio de las exposiciones la psicología de la percepción. Oppenheimer basó su trabajo en los cinco sentidos oído, visión, gusto, olfato y tacto (incluyendo la percepción del calor y del frío)<sup>2</sup>. Otro de los museos que inició su trabajo centrándose en el usuario partici-

pante fue el *Ontario Science Center* de Canadá. El advenimiento de las nuevas tecnologías y la implantación de los sistemas multimedia entendidos como la combinación de dos o más medios para presentar información, fue lo que permitió desarrollar el concepto de usuario participante.

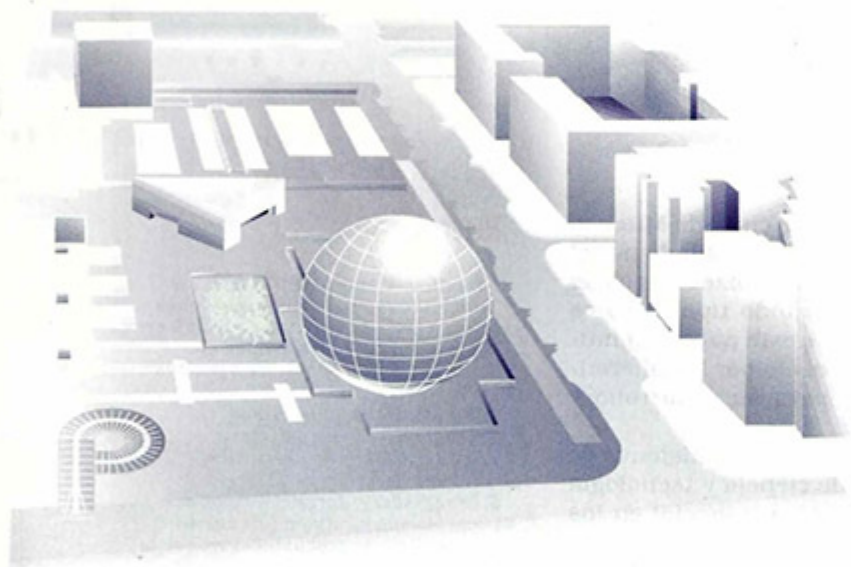
### La teoría de los estímulos

Y aunque la introducción de la tecnología multimedia permitió ampliar el camino de los museos de ciencia y tecnología, y de los museos en general, ahora se quiere ir más lejos. El Museo de la Ciencia de la Fundación la Caixa de Barcelona, es un claro ejemplo de lo que serán los museos de ciencia y tecnología en el segundo milenio. Con dieciocho años

de fundada, se ha convertido en una de las instituciones más innovadoras a nivel mundial. De hecho, fue el primer museo que introdujo la materia viva en las exposiciones.

El Museo de la Ciencia de Barcelona modificó el concepto de museo-educador para convertirse en un favorecedor de estímulos basados en los objetos y fenómenos de la realidad, tal y como lo dice su director, el físico catalán Jorge Wagensberg. El equipo trabaja con la hipótesis de que para transmitir conocimiento lo mejor es que el destinatario se ponga en el lugar de quien lo ha elaborado y que para crear opinión científica es necesario utilizar el mismo método del primer experimentador: el método científico, con aciertos y errores<sup>3</sup>.

La propuesta planteada por el científico catalán supera además el tradicional, aunque reciente, concepto de interactividad limitada en el que el visitante oprime botones o manipula palancas. Para Wagensberg, lo importante es que exista una interactividad total compuesta por la interactividad física



Cómo olvidar en este recorrido fascinante por la ciencia algunas de las preguntas habituales para los científicos como: ¿De dónde venimos?, ¿cómo se desarrolló la especie humana?, ¿cuál fue realmente su evolución?... Para responder estos interrogantes está la *Sala de la Vida*, donde el tema central es la célula, sus mecanismos de reproducción y defensa ante virus como el sida.

La *Sala del Ser Humano* muestra los cambios en el desarrollo de la especie, así como los secretos del cerebro y los

sentidos. Pero las emociones no terminan con el paseo al interior del ser humano que plantean estas dos salas. Continúa con *La Sala del Universo*, un viaje que se inicia en una nave espacial que lleva a los visitantes a conocer el Sistema Solar.

En las *Salas de Electricidad y Electromagnetismo y Fuerzas invisibles*, los visitantes de **Maloka** descubren cómo los campos eléctricos y magnéticos son fuerzas que rodean nuestro entorno así como lo interesantes que pueden llegar a ser las reacciones químicas.

En **Maloka**, una corporación mixta sin ánimo de lucro, regida por el derecho privado, tendrán todos un espacio no sólo como visitantes sino también como socios, mediante aportes que van desde los \$450.000., hasta los \$500.000.000. Múltiples empresas públicas y privadas; los gobiernos nacional y distrital; instituciones educativas; familias y personas naturales comparten hoy el fruto de un esfuerzo que le ofrece a todos los colombianos una ventaja competitiva para enfrentar el nuevo milenio.

Desde ya los grupos escolares, empresariales y de familias pueden tener acceso a este inolvidable acercamiento al mundo de la ciencia y la tecnología.



**Figura 3.** Taller Planeta Viu, Museo de la ciencia de la Fundación La Caixa en Barcelona (Fotografía: J. Casanova).

(hands-on), la mental (minds-on) y la emocional (heart-on).

La importancia de esta propuesta radica en que es sólo el inicio de lo que vislumbra Wagensberg sobre el papel de los museos de ciencia y tecnología en la sociedad actual. En efecto, el planteamiento del físico catalán es que un museo moderno de ciencia debe ser un mediador entre cuatro sectores de la población: la comunidad científica (que genera conocimiento), la industria (que aplica la ciencia), la sociedad (que se beneficia) y la administración pública (que gestiona).

En la búsqueda de este objetivo, servir de puente entre los diferentes sectores sociales, es importante que los museos diversifiquen sus actividades. De hecho, muchos ya lo hacen con la programación de conferencias, coloquios, cursos y talleres.

En Barcelona, el Museo de la Ciencia se ha convertido en paso obligado de eminentes científicos

cuando van a la ciudad. Muchos premios Nobel han desfilado por el auditorio e intercambiado sus ideas con público de todo tipo. Pero es importante que este papel del museo sea reconocido por los diferentes sectores para su desarrollo y continuidad.

Esta es una de las misiones de los museos de ciencia y tecnología en el siglo XXI, en especial en los países en vías de desarrollo. En Colombia, la necesidad de establecer los museos de ciencia y tecnología debe ir mucho más allá de la función eminentemente educativa o de divulgación científica. Nadie puede ignorar que el acelerado desarrollo tecnológico requiere, cada vez más, individuos capaces de entender los procesos generados por la sociedad moderna. La avalancha tecnológica y sus efectos en cualquier sociedad requiere de un medio que aliente (estímule) a los ciudadanos.

El camino que empezó a recorrer **Maloka** es un paso fundamen-

tal para Colombia. La importancia de crear este tipo de instituciones en el país se había detectado desde hacia varios años, por esta razón, las políticas ya se habían definido y el trabajo había comenzado. Sin embargo, en el momento en que los proyectos dejan de serlo y las obras comienzan a verse es cuando en realidad se da un paso adelante. Es necesario que la ciudadanía tome conciencia de que la escuela no es suficiente para la adquisición de conocimientos, pues se requieren otros instrumentos no formales. "¿Cómo puede influir en su futuro un ciudadano de una sociedad democrática marcada por la ciencia si su formación científica no equivale ni a la que regía durante la Edad Media?", proclama Jorge Wagensberg<sup>3</sup>.

## Referencias

1. **Danilov, Victor (ed).** *Towards the Year 2000. International perspectives on museums of science and technology.* Washington, D.C. Association of Science and Technology Centers, 1981.
2. **Butler, Stella.** *Science and Technology Museums.* Leicester, Leicester University Press, 1992.
3. **Wagensberg, Jorge.** "A favor del conocimiento científico (los nuevos museos)". Conferencia inaugural de la Fundación Giovanni Agnelli, Turín, Italia, marzo 9 de 1998 (Inédito).

**Patricia Castellanos**  
Comunicadora Social,  
Estudiante de Doctorado  
en Periodismo,  
Universidad Autónoma de Barcelona.  
Barcelona, España  
e-mail: p.caste@mailexcite.com



**ASOCIACION COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA  
A.C.A.C.**

## Misión

**Fomentar  
una cultura  
basada en el  
conocimiento  
para el  
mejoramiento  
de la calidad  
de vida**

## Actividades

**Diseño de políticas científicas y tecnológicas**  
**Programa Nacional de Actividades Científicas Juveniles:**

Encuentro con el Futuro - Conferencias  
Expociencia juvenil - Feria Nacional de la Creatividad  
Clubes de ciencia y tecnología  
Ferias de ciencia  
Teatro de la ciencia  
Correo de la ciencia  
Campamentos y excursiones científicas  
Encuentros de formación - Talleres y seminarios

### **Comunicación y publicaciones:**

Revista Innovación y Ciencia  
Programa de televisión - UNIVERSOS  
Boletín Informativo  
Centro de documentación

### **Eventos especiales:**

Expociencia-Expotecnología  
Convención Científica Nacional  
Premio Nacional al Mérito Científico  
Premio Nacional a la Innovación Tecnológica Empresarial  
Cursos - seminarios - talleres  
Programa Interciencia de Recursos Biológicos  
Nuevos o Subutilizados - PIRB  
Centro Interactivo de Ciencia y Tecnología - MALOKA

Sede: Cra. 50 N° 27-70  
Ed. Camilo Torres, Bloque C  
A.A. 92581 · Fax 2 21 69 50  
Tels.: 221 73 48 - 221 67 69 - 221 33 13  
e-mail: acac2@col1.telecom.com.co  
Santa Fe de Bogotá - Colombia

# **Usted puede ser miembro de A.C.A.C.**

**Informes:**

**Servicio de atención al socio  
Teléfono 221 99 53**



# Información “Bit-degradable”

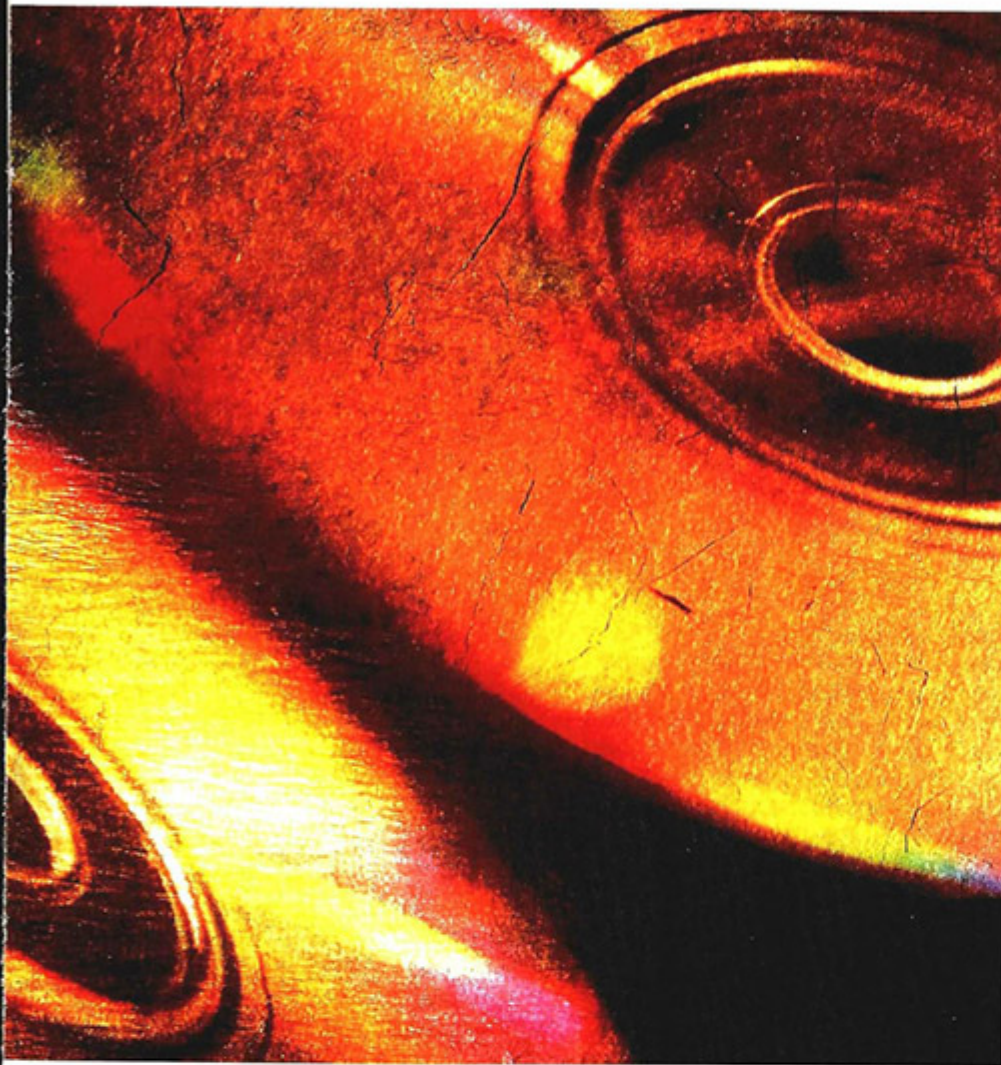


**A** sí como la tecnología constantemente nos da gratas sorpresas, hay ocasiones en que ocurre lo contrario. Esta es una de ellas: los datos computarizados pueden deteriorarse sin que lo sepamos. Es decir, que aquel diskette que contiene la información de su tesis de grado, o los datos claves de ese proyecto que le ha costado la mitad de su vida, podría no servir para nada dentro de algunos años.

En las últimas dos décadas, el mundo ha protagonizado una veloz carrera hacia la digitalización. Las instituciones en general dedican grandes sumas de capital a la automatización de todo tipo de información, pues ésta se acumula a un ritmo acelerado por factores como el auge de las redes de computadores y el hecho de que los datos producidos a diario tienden a ser (en más de un 50%) de origen digital: es decir, procesados por el computador sin una copia previa sobre el papel. Hay quienes estiman que las cantidades de datos electrónicos se cuadruplican cada seis meses.

El “dilema digital” de la era de la información radica en que siempre se pensó que la información digital sería duradera, y ahora se está descubriendo que los medios usados para preservarla pueden ser tan frágiles, que algunos quizá no serán confiables en la siguiente década. El riesgo que esto representa pone en peligro cualquier tipo de trabajo desarrollado en forma digital sin documentaciones impresas.

Bajo condiciones de almacenamiento inferiores a las óptimas, los discos y cintas digitales, incluyendo los CD-ROM, podrían deteriorarse casi tan rápido como el papel periódico, en un lapso de cinco a diez años. Y a diferencia de los registros en papel, los discos casi nunca muestran su deterioro hasta



cuando ya es demasiado tarde. Factores como los campos magnéticos, la oxidación, la humedad y el deterioro del material, pueden borrar fácilmente la información que guardan.

Hay otro problema representado por el constante avance de la tecnología. Es muy probable que el *software* necesario para ver los datos de hoy, no esté disponible dentro de diez años. Pero aún el anticiparse al deterioro de datos y a la obsolescencia del *software*, no es garantía suficiente para eludir el problema. Las compañías que gastan grandes sumas en nuevos equipos y programas tropiezan con otro inconveniente. A menudo, cuando se transfieren datos desde un sistema de cómputo a un mode-

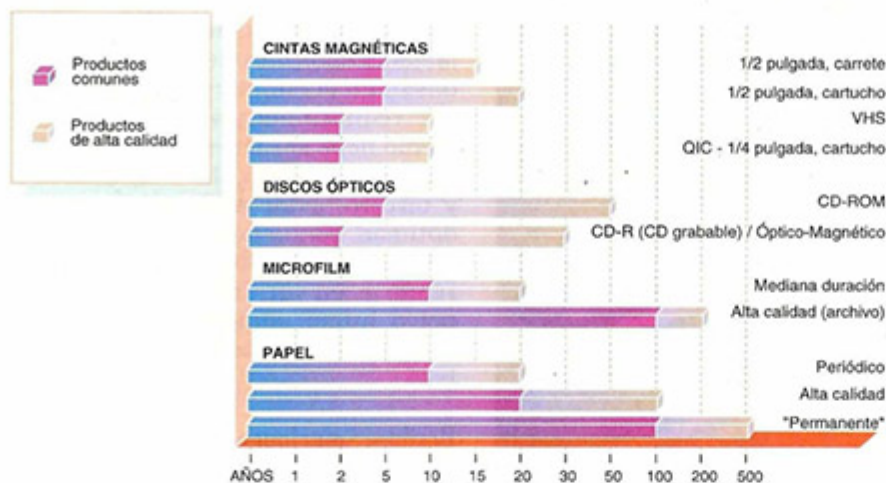
lo más reciente no todos los *bits* viajan con éxito hacia el nuevo medio. Esto se asemeja a un juego de "teléfono roto" entre los dos medios o sistemas, en el cual la cantidad de información afectada varía y en el camino puede perderse o ser alterada por errores imperceptibles por parte de la máquina.

Ante este panorama, se busca establecer normas de estabilidad para medios digitales. En Estados Unidos se ha conformado un equipo de trabajo integrado por representantes de laboratorios, compañías productoras de medios de almacenamiento, *hardware* y *software*, y archivistas de importantes museos y universidades. Uno de sus objetivos ha sido el diseño de una prueba digital de "longevidad" dirigida a

aumentar la vida útil de los medios de almacenamiento digital. Los datos con que cuenta el *National Media Laboratory* al respecto, se basan en el cumplimiento de ciertos requerimientos: primero, el medio debe ser leído con poca frecuencia; segundo, debe ser nuevo; y tercero, estar almacenado bajo óptimas condiciones de archivo: 68°F (20°C) y 40% de humedad relativa, en un ambiente libre de polvo, humo, alimentos, moho, luz solar directa y gases contaminantes.

### Posibles Soluciones

Otros trabajan en nuevas tecnologías para resolver el problema. La compañía *Norsam Technologies* ha desarrollado dos proyectos importantes en los últimos meses, basados en una tecnología derivada de la utilizada en la elaboración de circuitos integrados para la industria de semiconductores. Los más poderosos medios de almacenamiento conocidos hasta ahora, el CD (*Compact Disk*) y el DVD (*Digital Versatile Disk*) emplean rayos láser de 800 y 350 nanómetros (millonésimas de milímetro) respectivamente, para escribir la información en los discos. Los proyectos de *Norsam* se basan en otro tipo de rayo de partículas cargadas (iones) con una precisión de 50 nanómetros. Uno de ellos, denominado HD-ROM (*High Density Read Only Memory*) sobrepasa a otras tecnologías en términos de densidad, velocidad de acceso y costo, alcanzando capacidades de 165 Gb (*gigabytes*) por cara en un disco de 12 cm. En el mismo espacio, los formatos CD y DVD soportan hasta 650 Mb (*megabytes*) y 4.7 Gb, respectivamente. Las especificaciones actuales para las unidades de escritura y lectura en este tipo de discos alcanzan una velocidad de 20 Mb por segundo. HD-ROM soporta perturbaciones electromagnéticas con la ventaja de que se puede archivar en materiales extremadamente durables y resistentes a la abrasión, contami-



nación atmosférica, calor, y otros factores de deterioro físico. Se anticipa que la información digital de HD-ROM será escrita en discos de silicón, los cuales luego serán electroformados en discos metálicos para usarse como modelos en la producción de copias.

El otro proyecto de Norsam, llamado HD-ROSETTA, guarda datos en un formato análogo de imágenes de coordenadas "xy", y se promueve como producto de preservación histórica y de almacenamiento de grandes archivos. El proceso de grabación utiliza el mismo tipo de rayo mencionado anteriormente enfocado para grabar imágenes a dimensiones tan pequeñas como 20 x 30 micrones, en discos de dos pulgadas de diámetro conocidos como *Pancake Disk*, hechos de metal u otros materiales durables no magnéticos, resistentes al calor, y a la variación de las condiciones ambientales. El grabador HD-ROSETTA puede registrar aproximadamente 90.000 imágenes análogas de 8.5 x 11 pulgadas, en grises o a color, en un solo *Pancake Disk*. El rayo crea reproducciones microscópicas de las imágenes visibles al ojo humano, a partir de microfilm, CD-ROM, documentos originales u otros medios, a través de un proceso digital, sobre un disco maestro durable del cual pueden

hacerse copias a bajo costo. A diferencia de los sistemas de almacenamiento magnéticos o en CD (los cuales requieren de un computador y un programa intérprete para ver la información) el contenido de un disco HD-ROSETTA puede ser visto con cualquier microscopio potente. Esto asegura que la información guardada en uno de estos discos será legible después de mucho tiempo sin requerir la ayuda de ningún *software* o *hardware* de computador en especial. El propósito general del sistema es proteger la información valiosa contra la destrucción y la obsolescencia de las plataformas informáticas.

La compañía *Cobblestone Software*, por su parte, ha lanzado *PaperDisk*, una nueva y poderosa tecnología, que permite guardar información digital en papel, e incluso enviarla por fax. Se basa en la impresión de complejos patrones especiales de puntos y líneas, que pueden representar cualquier tipo de archivo de computador: texto, hoja de cálculo, gráficos, registros de bases de datos, audio, video, etc. Los archivos se recuperan usando un scanner y revirtiendo el proceso para descifrar, por medio del programa, el contenido original. Las pruebas a las que fue sometido el producto han dado como resultado la impresión de 1 Mb de información compri-

mida (originalmente 4 MB de texto) en un espacio de 8.5 x 11 pulgadas (una hoja tamaño carta). Los archivos pueden ser encriptados, de manera que nadie puede leer la información en la página impresa a menos que posea el *password*. Esto abre posibilidades como la de enviar un texto impreso junto con su archivo fuente sin incluir diskettes en el sobre, los cuales pueden dañarse con facilidad. La densidad y velocidad que *PaperDisk* puede alcanzar, varían dependiendo de las capacidad de los scanners, impresoras y procesadores involucrados en el proceso de transferir el archivo del computador al papel y viceversa. Al pasar por el scanner, *PaperDisk* es más confiable descifrando el código de puntos y líneas, que los programas de reconocimiento óptico de caracteres (OCR), los cuales cometen errores cuando la impresión del texto en su forma original no es muy nítida.

## Referencias:

- Mayor información:
- Norsam Technologies, Inc.
- **Homepage:** <http://www.norsam.com>
- Cobblestone Software.
- **Homepage:** <http://www.paperdisk.com>

**Fernando Ramos Martínez**  
 Facultad de Ciencias Básicas  
 e Ingeniería,  
 Departamento de Ingeniería de  
 Sistemas,  
 Universidad Nacional Abierta y a  
 Distancia.  
 Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
 e-mail: fernando-ramos@usa.net

# Un paso adelante en ciencia y tecnología

La información más importante sobre los últimos avances en ciencia y tecnología realizados en Colombia y en el mundo

...Lea  
**INNOVACION  
Y CIENCIA**

**Suscríbese ya por sólo \$ 19.000 al año**

Al afiliarse a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia recibirá la revista **TOTALMENTE GRATIS**



### TECNOLOGÍA

#### Robots en el quirófano

**E**n Alemania se llevaron a cabo recientemente dos operaciones de válvula mitral, en las cuales, uno de los asistentes en la sala de operaciones era un robot denominado "AESOP 3000", el cual es controlado por la voz humana y está acoplado a un sistema tridimensional de visualización e información.

Cuando se llevan a cabo microcirugías complejas en la cavidad torácica de seres humanos, es difícil manejar un endoscopio en forma precisa y firme y es allí donde se requiere la ayuda del AESOP 3000. El sistema de visualización e información con el que está dotado permite observar el campo de acción en tres dimensiones, con una gran resolución y con una percepción de profundidad muy realista, según informa la revista *Mechanical Engineering*, del 8 de Junio de 1998.

El uso del robot controlado por la voz humana para posicionar y manipular el sistema de visualización durante las operaciones cardíacas poco invasivas, representa un importante avance en la cirugía de corazón y reduce el personal necesario para este tipo de operaciones.

#### Supercomputadores de bajo costo

**S**egún reporta la revista *Mechanical Engineering*, en su edición de junio de este año, un equipo de físicos de la Universidad de Columbia, en Nueva York, construyó uno de los supercomputadores más rápidos del mundo, con el fin de estudiar el origen del universo. Lo denominaron QCDS, nombre derivado de la teoría de cromodinámica cuántica (QCD) y del procesador de señales digitales (DSP), el cual puede realizar 400 billones de cálculos por segundo. Esta velocidad permite, por ejemplo, la simulación de las condiciones que tuvieron lugar a 3 trillones de grados centígrados durante el *big bang*, cuando los componentes de los átomos de los núcleos hervían en un gran plasma.

El grupo de científicos de la Universidad de Columbia se propuso construir un supercomputador rápido y económico. Con la unión de 8912 nodos individuales para procesar datos en paralelo, y no en secuencia, lograron mantener el costo en un valor menor a cuatro millones de dólares, o sea, menos de un décimo del costo de un supercomputador comercial.

Cada nodo incluye un controlador de comunicaciones diseñado especialmente por los físicos de la Universidad de Columbia y un procesador de señales digitales de la compañía Texas Instruments montados en una tarjeta madre con dos megabytes de memoria. Cada estación de trabajo está formada por un procesador y un controlador y es, por tanto, un computador en sí mismo que tiene la capacidad de un computador personal Pentium, pero con un costo de US \$80 y el tamaño de una tarjeta de 5 cm por 7 cm.



## ARQUEOLOGÍA

### Hallazgo en Chile replantea la llegada de los humanos a América

La teoría más aceptada hasta ahora acerca de la llegada del hombre al continente americano afirma que éste entró por el estrecho de Bering (Alaska), poblando primero Norteamérica y luego Suramérica. Esta hipótesis se planteó gracias al descubrimiento en los años treinta de restos humanos en Clovis (Nuevo México, E. U.) fechados en -11.200 años.

Pero la hipótesis de Bering ha tambaleado a lo largo de la última década con el hallazgo de restos orgánicos (madera, hueso y piel) e inorgánicos (artefactos) en Monte Verde (sur de Chile), fechados en -12.500 años antes del presente, en una expedición dirigida por el arqueólogo norteamericano Tom Dillehay.

Para revisar la importancia de Monte Verde, un grupo de nueve científicos, incluyendo al arqueólogo colombiano Gerardo Ardila, examinó de nuevo el lugar y publicó su informe el año anterior en la revista *American Antiquity*. La versión en español de este artículo fue publicada

en la revista *Colombia Ciencia & Tecnología* de Colciencias y la investigación fue presentada también en la revista *Science*, del 2 de mayo de 1997.

Además de los restos de hace 12.500 años, en el mismo sitio se encontró otro pequeño conjunto de artefactos bien conservados, fechados en -33.000 A. P. Estos se convirtieron en los más antiguos vestigios de presencia humana en América, lo cual obligó a replantear la dirección de la llegada: primero Suramérica y después Norteamérica.

Aunque faltan más excavaciones que confirmen los hallazgos fechados en -33.000 A. P., los artefactos de hace 12.500 años son suficientes para sostener el cambio de dirección. Al fin y al cabo, la distancia entre Bering y Monte Verde es de ¡16.000 kilómetros!

## INGENIERÍA

### Reparaciones por el camino

¿Está usted cansado de los trancones ocasionados por la reparación de las vías? Hay una solución en camino.

Un técnico de los Laboratorios Nacionales Sandia de los Estados Unidos acaba de obtener la patente de un vehículo que repara el pavimento mientras se desplaza por las vías, según un reporte publicado en la revista *Business Week*, de junio de este año. Este vehículo tiene el tamaño de un bus y posee sensores en la parte delantera para detectar los huecos en el pavimento. Una vez que identifica el daño, limpia la superficie con aire a alta presión y recoge los desechos por medio de aditamentos colocados en la parte delantera. Inmediatamente procede a llenar los huecos con un relleno que sale del chasis. Un equipo colocado en la parte posterior del vehículo aplana el material y un sensor se asegura de que las reparaciones queden bien hechas. Se proyecta que este auto, que se desplaza a una velocidad de 10 kilómetros aproximadamente, tenga una aplicación práctica en el mantenimiento de las carreteras.



## BIOTECNOLOGÍA

### Trigo hecho a mano

El Centro Internacional para el Mejoramiento del Trigo y del Maíz de México (CIMMYT) anunció recientemente la creación de una nueva variedad de trigo que produce dieciocho toneladas por hectárea. Aunque existen variedades que producen hasta 12 toneladas por hectárea, el promedio de producción en el mundo es de 2.7 toneladas por hectárea. Los investigadores del CIMMYT duraron veinte años en perfeccionar esta variedad de trigo que

tiene un tallo grueso y corto y una capacidad tres veces mayor de producir granos.

El problema que entretentan los científicos es que este nuevo trigo requiere cantidades considerables de nutrientes: 25 kg de fertilizantes por tonelada de producto comparado con 400 kg por hectárea de otras variedades, razón por la cual, el Centro se

dedica a desarrollar tecnologías de sembrado menos exigentes. Adicionalmente, los investigadores buscan incorporar a esta novedosa variedad de trigo genes

resistentes a las enfermedades y esperan tener en unos cinco años resultados de producción de diversos lugares del mundo, según reportó la revista *Science*, en su volumen 280.

## Aspirina: otra ventaja más

**E**n experimentos recientes desarrollados en la Universidad de Vanderbilt, de Estados Unidos, se descubrió que la aspirina tiene efectos benéficos para el tratamiento del cáncer del colon (al menos en el tubo de ensayo). Los médicos ya habían observado durante años cómo las personas que toman aspirina u otros medicamentos anti-inflamatorios no esteroideos pueden disminuir en un 40-60% el riesgo de contraer cáncer del colon. Los científicos descubrieron que la aspirina ataca una enzima llamada COX-2, detectada en el 80% de los enfermos de cáncer del colon. Esta enzima parece tener la función de acercar los vasos sanguíneos hacia las células cancerosas llevándoles la sangre y el oxígeno necesarios para sobrevivir. La aspirina impide este proceso. Queda pendiente la experimentación en ratones de laboratorio y posteriormente en el hombre, según informó la revista *Business Week*, del pasado mes de junio.

## El litio y la muerte celular

**A**unque el litio se ha usado con éxito en los últimos cincuenta años para el tratamiento de la depresión maníaca, no se conoce exactamente su forma de acción. Un grupo de investigadores del Instituto Nacional de Salud Mental de los Estados Unidos, dirigido por De-Maw Chuang, descubrió que el litio protege las células neuronales de la muerte inducida por el glutamato, una de las numerosas sustancias denominadas neurotransmisores que transmiten mensajes en el cerebro, según reportó la revista *Science News*, en su edición número 11.

Mediante el uso de tejido neuronal de ratas, estos científicos estudiaron el efecto del glutamato sobre células sumergidas en litio durante veinticuatro horas y durante una semana. Los científicos encontraron que en el primer caso, las células morían a causa de una forma de suicidio, resultado de la excesiva excitación de este neurotransmisor. Sin embargo, se observó menor muerte celular en el caso de las células sumergidas durante una semana en litio.

La demora en dar protección es congruente con el hecho de que el litio se demora una semana o más, antes de tener efecto sobre la depresión o la manía.

Chuang y su grupo estudiaron la función de una proteína de la superficie celular llamada "NMDA", la cual se une al glutamato cuando éste excita una célula; aunque el número de receptores no varió entre las células expuestas al litio y las células control, los científicos encontraron una relación inversa entre la entrada de iones de calcio a la célula y la exposición al litio: las que habían permanecido más tiempo en contacto con el litio permitían la entrada de un menor número de iones. Chuang plantea que el exceso de iones de calcio está implicado en la muerte celular y que el tratamiento con litio obstruye el proceso de suicidio interno. Adicionalmente, se ha reportado evidencia que sugiere que las personas maníacas depresivas pierden células del cerebro. Si se concluye definitivamente que el litio protege las células del cerebro de la estimulación excesiva del glutamato, se podría pensar que el tratamiento con litio podría usarse para aliviar otro tipo de enfermedades degenerativas que se caracterizan por muerte celular

como la enfermedad de Alzheimer, el Parkinson o la enfermedad de Huntington.



**Adpostal**



*¡Llegamos a todo el mundo!*

CAMBIAMOS PARA SERVIRLE MEJOR A COLOMBIA Y AL MUNDO

ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS

VENTA DE PRODUCTOS POR CORREO  
SERVICIO DE CORREO NORMAL  
CORREO INTERNACIONAL  
CORREO PROMOCIONAL  
CORREO CERTIFICADO  
RESPUESTA PAGADA  
POST EXPRESS  
ENCOMIENDAS  
CORRA  
FAX

LE ATENDEMOS EN LOS TELEFONOS:  
243 88 51 - 341 03 04 - 341 55 34  
980015503, Fax: 2833345

## PSICOLOGÍA

### Toma de decisiones bajo presión: no es para todo el mundo

Ciertos oficios exigen una rápida toma de decisiones como sucede con los controladores aéreos, receptores de llamadas de emergencia, personal militar, corredores de bolsa, etc. Las decisiones que toman estas personas tienen consecuencias cruciales: salvar o perder vidas, o dinero en el menos grave de los casos.

Sin duda, cada oficio de estos requiere entrenamiento y experiencia para que las decisiones sean las mejores. Pero, ¿podrá tener éxito cualquier persona que se involucre? Según una serie de experimentos publicados en marzo pasado, la respuesta es: depende de si el candidato

dispone previamente de la habilidad psicológica general para la toma de decisiones bajo presión.

A esta conclusión llegaron los investigadores Susan Joslyn y Earl Hunt del Departamento de Psicología de la Universidad del Estado de Washington. Ellos reportaron en el *Journal of Experimental Psychology: Applied*, Vol IV-1 de 1998, los resultados de cinco experimentos en los cuales se demostró la existencia de una habilidad cognitiva general de toma de decisiones subyacente a diferentes clases de tareas.

Joslyn y Hunt entrenaron a 54 estudiantes universitarios en varias tareas bajo presión, simuladas por computador como control

de tráfico aéreo y llamadas de emergencia. Anteriormente, los sujetos se sometieron a un juego "abstracto" de toma de decisiones llamado "ADM" (*Abstract Decision Making task*). El éxito en el ADM, como lo habían hipotetizado los psicólogos, fue predictor del buen desempeño en las tareas "reales".

Si bien fueron controladas variables como memoria a corto plazo y habilidades motrices, los investigadores norteamericanos sostienen que deben efectuarse estudios con otras clases de tareas para terminar de confirmar la existencia de la habilidad para tomar decisiones contra el reloj.

## ESTADÍSTICA

### Al rescate de las diferencias "no significativas"

Una herramienta fundamental en la investigación científica y tecnológica es la estadística. Con base en pruebas como análisis de varianza, correlaciones y regresiones, se toman decisiones con respecto a hipótesis planteadas. Los análisis estadísticos de los resultados normalmente son la base para comprobar o descartar la validez de una nueva teoría o la eficacia de algún nuevo producto.

No obstante, la estadística es falible como cualquier instrumento, lo cual conduce a la posibilidad de llegar a conclusiones erradas. Aunque los estadísticos se han preocupado siempre por demostrar la potencia de las pruebas, no sucede lo mismo con los investigadores en todas las

disciplinas científicas y tecnológicas, quienes típicamente usan las mismas pruebas que les fueron enseñadas en la universidad.

Al respecto, Rand R. Wilcox de la Universidad de California del Sur, en Los Angeles, publicó un interesante artículo en *American Psychologist* de marzo de 1998, que llama la atención sobre esta situación. Él se preguntó ¿Cuántos descubrimientos se han perdido por ignorar los modernos métodos estadísticos? La respuesta es: por lo menos cientos.


El punto crítico aquí es el relacionado con las famosas "diferencias significativas o no significativas". Si dos o más grupos de datos no muestran diferencias significativas, según las pruebas estadísticas usa-

das, entonces se descartan las hipótesis planteadas. Pero, como lo demuestra Wilcox, pruebas desarrolladas antes de 1965 arrojan una conclusión y pruebas más recientes y potentes arrojan otra, con los mismos datos.

La lección es clara. Los investigadores deben actualizarse constantemente no sólo en los contenidos específicos de su área sino también en las novedades sobre estadística. La desactualización al respecto claramente implica pérdida de nuevos conocimientos. Quienes deseen conocer más detalles, pueden comunicarse con el autor vía e-mail: [rwilcox@wilcox.usc.edu](mailto:rwilcox@wilcox.usc.edu).



# Física de semiconductores en los cincuenta años del transistor



Luis Quiroga P.  
Profesor Titular,  
Departamento de Física,  
Universidad de los Andes,  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
e-mail: lquiroga@uniandes.edu.co

Ferney J. Rodríguez D.  
Profesor Asociado,  
Departamento de Física,  
Universidad de los Andes,  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
e-mail: frodrigu@uniandes.edu.co

*El transistor,  
ese dispositivo  
electrónico maravilloso,  
virtualmente invisible,  
ha cambiado nuestras  
vidas ... para siempre.*

**N**o ha habido, en la historia reciente de la ciencia y la tecnología, un invento que haya marcado tan extraordinariamente nuestra vida cotidiana como el del transistor. La historia de cincuenta años del transistor ha demostrado cómo una relación cooperativa entre la ciencia básica y la tecnología ha llevado no sólo a cambiar nuestro modo de vida sino a enseñarnos algunas propiedades sorprendentes de la materia forzada a bajas dimensiones.



**Figura 1.** Bardeen (izquierda), Shockley (centro) y Brattain (derecha), creadores del primer transistor en 1947 (recuadro superior).



hace más brillante, tenue, brillante, tenue... es decir, funciona como modulador. Piense en esto: una acción que para usted relativamente no requiere mucho esfuerzo como es la de rotar el botón de la posición baja a la posición alta, se convierte en una reacción

mucho más compleja para la luz (la sala completa se ilumina; esta es la función de un amplificador). Ambos actúan como un interruptor (encendido/apagado) y como un modulador/amplificador (alto/bajo). La diferencia importante es que la "mano" que opera el transistor es millones de veces más rápida. Y éste está unido a otra fuente eléctrica (una señal de radio en una antena, por ejemplo, una voz en un micrófono, los datos en un computador, o incluso otro transistor).

En los microcircuitos de hoy, que contienen millones de transistores "integrados" en un patrón o diseño particular, la salida amplificada de un transistor impulsa otros transistores que, a su vez, impulsan otros, y así sucesivamente. Se puede tomar un gran número de transistores interconectados en equipos llamados computertas lógicas para realizar una tarea tan simple como sumar uno y uno. Pero ordenados en un gran número, en un diseño apropiado, pueden enfrentarse a tareas complejas, trabajar más rápido y hacerlo en conjunto. Hace algunos años, unos mil transistores ocupaban docenas de tarjetas de circuitos impresos del tamaño de una carta postal, pero gracias a técnicas como la fotolitografía y el diseño asistido por computador, millones de transistores y otros componentes electrónicos pueden ser organizados de manera compacta en un circuito integrado más pequeño que un grano de arroz.

En esta escala de integración, un transistor de hoy en día sale prácticamente gratis (alrededor de una cienmilésima de centavo de dólar la unidad). Además, los transistores en circuitos integrados son extremadamente confiables. Si se le protege de choques eléctricos y otros factores tales como temperatura, un microcircuito puede funcionar probablemente por unos cien años.

En 1965 Gordon Moore, de la compañía Fairchild Semiconductor, predijo que el número de transistores que los diseñadores podrían acomodar en un chip se duplicaría cada 18 meses, un axioma que vendría a ser conocido como la ley de Moore. Aunque extraña en apariencia, esta ley ha resultado ser profética y ha mantenido su

## El transistor

Justo antes de la Navidad de 1947 un equipo de los Laboratorios Bell en Murray Hill, en New Jersey (Estados Unidos), creó el primer transistor. Ni los creadores (W. Brattain, J. Bardeen y W. Schockley) ni persona alguna de la época sabían en qué se convertiría este dispositivo. Cuando el invento se hizo público en 1948 recibió escasa atención.

El transistor fue el resultado del esfuerzo para encontrar un mejor amplificador que remplazara a los relés mecánicos. El tubo de vacío había amplificado música y voz durante la primera mitad del siglo XX, además había hecho posible la telefonía de larga distancia. Pero consumía mucha potencia, operaba a alta temperatura y se quemaba rápidamente. Los transistores, relativamente baratos, hicieron la amplificación sin generar calor y sin los requisitos de alta potencia de los tubos de vacío. Por este descubrimiento los tres físicos de los Laboratorios Bell ganaron el premio Nobel de Física en 1956. Así empezó la era de la microelectrónica.

El transistor tiene muchas aplicaciones, pero sólo dos funciones básicas: la de interruptor y la de modulador (ésta última con frecuencia se utiliza para lograr amplificación).

En el sentido más simple, el transistor funciona como un atenuador de la intensidad de la luz. Si en la sala de su casa oprime un botón la luz aumenta, si lo oprime de nuevo la luz se apaga. Esta es la función de un interruptor. Si Rota el botón hacia un lado y el otro, la luz se

**Ni los creadores del transistor ni persona alguna de la época sabían en qué se convertiría este invento.**

vigencia por décadas. La ley está basada en la disminución constante del tamaño del transistor. Un cabello humano tiene un ancho de casi 100.000 nanómetros (un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro). En 1970, los transistores eran de casi 12.000 nanómetros de ancho. Hacia 1980, estas partes se habían reducido a unos 3.500 nanómetros. Hoy, están cerca de los 300 nanómetros.

Hoy en día, un procesador moderno para un computador personal tiene del orden de 5.5 millones de transistores. La industria de los microprocesadores espera contar con mil millones de transistores en una unidad central de procesamiento (CPU) hacia el año 2011. En algo más

de una década, los chips de memoria, que son mucho más fáciles de hacer que las CPU, tendrán varios miles de millones de transistores, lo que permitirá que computadores del tamaño de una nevera disminuyan su tamaño hasta el de un PC o al de un computador portátil actual.

A pesar de las décadas de fulgurante éxito, la carrera para disminuir el tamaño de los transistores es cada vez más difícil y costosa. Así que la pregunta ahora es, si la ley de Moore dejará de ser válida, en la próxima década terminará la era del crecimiento exponencial.

## Semiconductores

Los transistores se hacen con semiconductores como el silicio y el arsenuro de galio. Estos materiales conducen la electricidad *moderadamente* bien pero no lo suficiente para ser llamados conductores, como los alambres de cobre; pero tampoco tan mal para ser llamados aislantes, como el vidrio. De allí su nombre de semiconductor.

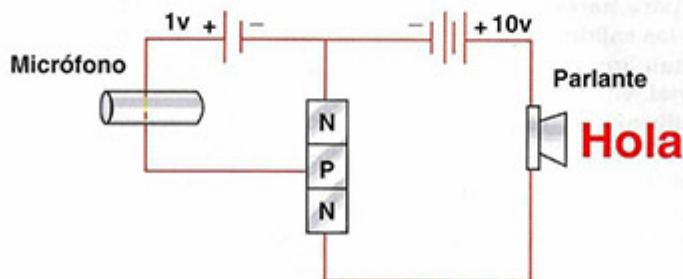


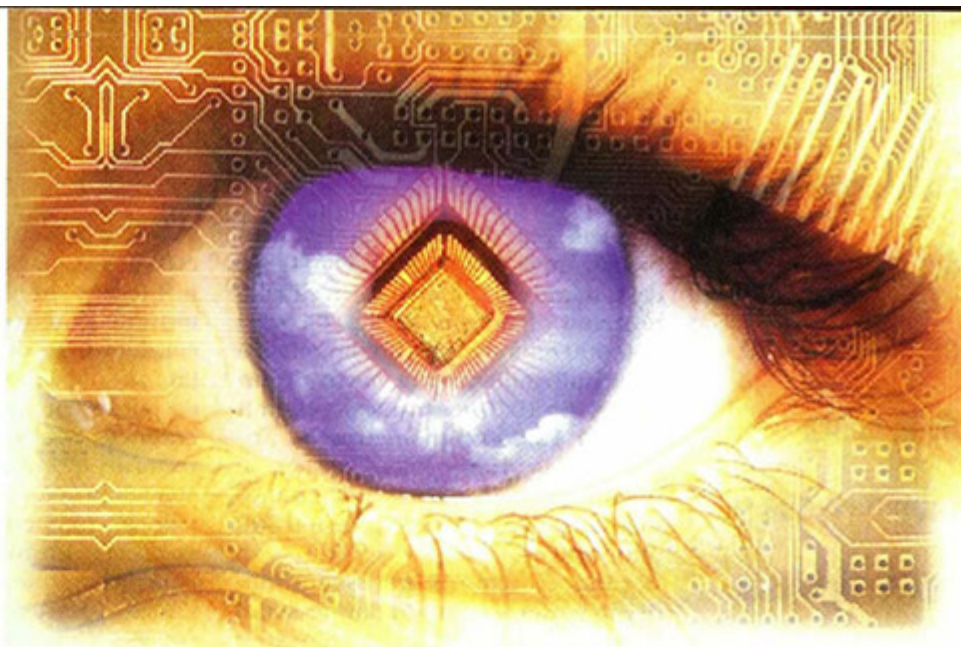
Figura 2. Circuito simple usando un transistor.

El transistor, tal como fue inventado, está constituido por un cristal semiconductor dopado *n*, luego *p*, luego *n*. Este componente recibe el término genérico de transistor bipolar. El semiconductor se dice *dopado n* cuando impurezas (átomos extraños) donantes de electrones se incorporan en su red atómica, enriqueciéndolo entonces de electrones. Y *dopado p* cuando impurezas aceptoras de electrones se introducen en el semiconductor, enriqueciéndolo en "falta de electrones", más comúnmente llamados huecos. Si se escoge adecuadamente el tipo y la concentración de dopantes, se pueden controlar las propiedades eléctricas del semiconductor en forma precisa. Como se conoce, las cargas opuestas se atraen, por lo que los electrones y los huecos tienden a recombinarse. Así, dos regiones *n* y *p* no pueden evidentemente cohabitar la una al lado de la otra si no se desarrolla en la interfase *n/p*, una barrera de potencial que retenga cada uno de los dos tipos de portadores en su región de origen. Esta barrera de potencial separa los dos tipos de portadores por una zona desértica. La estructura *p/n* lleva el nombre de juntura o unión y posee la propiedad de que cuando se aplica una diferencia de potencial en sus bordes, deja pasar la corriente en un sentido (juntura en directo) pero no en el otro (juntura en inverso).

Al colocar una pieza delgada de semiconductor de un tipo entre dos capas de otro tipo se tienen resultados sorprendentes: una pequeña corriente en la capa central es capaz de controlar el flujo de corriente entre las otras dos. Esa pequeña corriente en la capa del medio es la alimentación suministrada por una antena o por otro transistor. Incluso cuando la corriente de entrada es débil, como sucede con una señal de radio que ha viajado una gran distancia, el transistor puede controlar una corriente fuerte de otro circuito que pase a través de él. En efecto, la corriente a través del "lado de salida" del transistor imita el comportamiento de la corriente en el "lado de entrada". El resultado es una versión fuertemente amplificada de la débil señal de radio que llegó. La corriente de control cambia las propiedades conductoras del material y lleva a que un número relativamente grande de electrones pase entre las capas externas del semiconductor (llamadas emisor y colector); éste es el efecto transistor.

La "magia" que realiza un semiconductor en un transistor está en su habilidad para controlar la conductancia, es decir de poder actuar como un conductor cuando sea necesario o como un aislante cuando se necesite.

**La “magia”  
que realiza un  
semiconductor en  
un transistor está  
en su habilidad para  
controlar la  
conductancia,  
es decir de poder actuar  
como un conductor  
cuando sea necesario  
o como un aislante  
cuando se necesite.**



El primer transistor concebido por W. Shockley en 1945 correspondería a lo que hoy en día denominamos un transistor de efecto de campo, FET (*field effect transistor*). Shockley propuso que si un contacto metálico se ubicaba cerca de una superficie plana de un semiconductor debería aparecer un exceso de electrones cerca de esa superficie, por lo tanto, si el semiconductor no era muy grueso comparado con la capa de carga espacial, la conductancia paralela a su superficie debería aumentar significativamente. Sin embargo, los intentos de Brattain y Bardeen por hacerlo realidad fracasaron después de muchos intentos experimentales, pero no fue en vano. De los experimentos fallidos, se llegó a nuevos conceptos teóricos que condujeron al descubrimiento en 1947 del transistor de contacto de punto.

Si las posibilidades de un material están directamente relacionadas con sus propiedades físicas intrínsecas, la tecnología se apoya en otras cualidades esenciales como la facilidad de elaboración, la reproductibilidad y la confiabilidad de los componentes y de los circuitos. En la década de los cincuenta se encontró un mejor semiconductor que el galio para hacer los transistores: el silicio. Gracias a las calidades excepcionales de las tecnologías de fabricación optimizadas para este material. Varias propiedades del silicio lo hacen el indicado para fabricar transistores y chips. Una de tales propiedades es el valor de la brecha de energía prohibida. Si esta brecha es muy pequeña, un ligero aumento de temperatura llevaría a una gran cantidad de electrones a la banda de conducción, lo que interfiere con el control preciso de las propiedades eléctricas del dispositivo. El silicio tiene una brecha de energía de 1.2 eV (1 eV es la energía

acumulada por un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio) lo suficientemente grande para que el material mantenga las excelentes propiedades semiconductoras sobre una amplia gama de temperaturas alrededor de la temperatura ambiente. Además, el silicio es un semiconductor elemental abundante que puede ser formado en cristales casi perfectos a muy bajo costo.

Sin embargo, ciertos resultados son inaccesibles a este material. Por ejemplo, los tiempos de conmutación (es decir el tiempo entre prendido y apagado de un interruptor) del silicio no descienden del nanosegundo (la mil millonésima parte de un segundo). De otra parte, el silicio no se presta a la realización de componentes ópticos como los diodos electroluminiscentes, los láseres de semiconductor o los moduladores de luz. Estas dos cualidades esenciales para la electrónica y las comunicaciones del mañana son superadas por la creación de heteroestructuras que se construyen con un proceso basado en el crecimiento de estructuras cristalinas depositando capas atómicas una por una, logrando una nueva variedad de estructuras cristalinas artificiales que pueden ser desarrolladas y diseñadas a voluntad. Dentro de éstas se destacan los semiconductores III-V. Su nombre se debe a que resultan de la combinación de un elemento de la tercera columna de la tabla periódica (aluminio-Al, galio-Ga e indio-In) con otro de la quinta columna (fósforo-P, arsénico-As y antimonio-Sb). Recientemente, semiconductores II-VI (ZnSe, ZnS, etc.) y nitruros III-V (tal como el GaN) han mostrado sus excelentes atributos para la operación optoelectrónica en el ultravioleta cercano.

Las heteroestructuras son la materia prima para los nanocircuitos cuánticos. Mientras que su gran interés reside parcialmente en aplicaciones reales y potenciales a la microelectrónica, ellos son igualmente fascinantes desde el punto de vista de la física pura. Además de suministrar un laboratorio ideal para probar teorías moder-

nas de sistemas condensados, estos nuevos sistemas diseñados a voluntad han revelado fenómenos físicos totalmente nuevos. Entre ellos está el efecto Hall cuántico, un fenómeno cuántico macroscópico que es el resultado de la condensación de una colección de electrones en un estado fluido muy extraño. Todas estas estructuras abren numerosos campos de aplicación.

### El futuro: Computación Cuántica

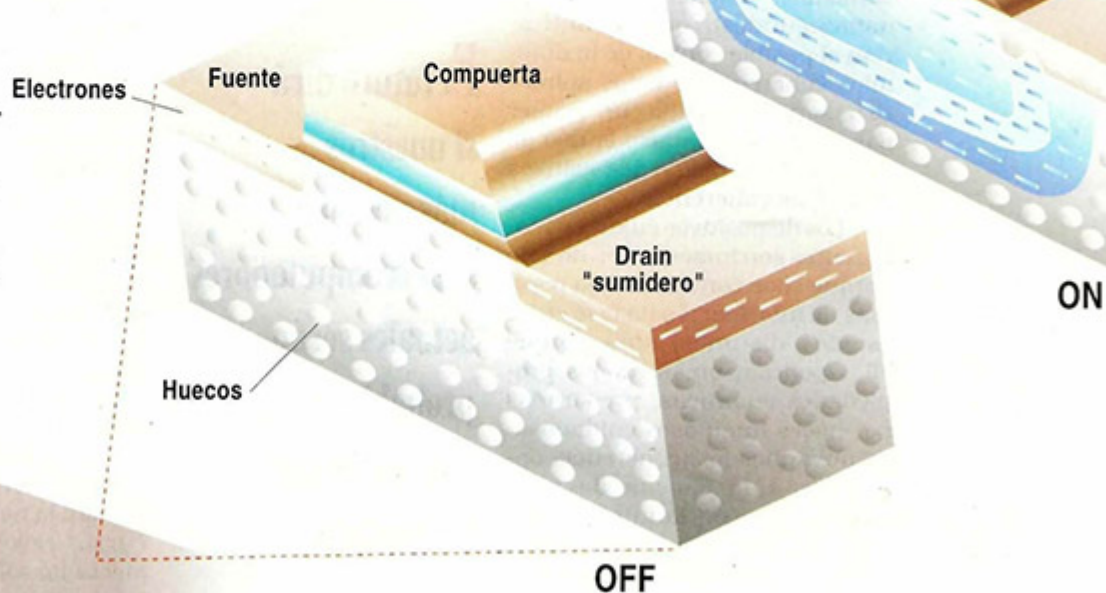
La física cuántica ha sido identificada con una teoría que sólo es importante para comprender el átomo y las partículas sub-atómicas, y se cree que poco o nada tiene que ver con nuestra vida diaria. Por el contrario, la teoría cuántica es una ciencia muy práctica. Incluso poco antes de la segunda guerra mundial, sus principios se aplicaron a comprender las propiedades eléctricas y térmicas de los metales y los semiconductores. En la postguerra, el desarrollo del transistor y el láser (dos de los dispositivos cuánticos mejor conocidos) revolucionaron la tecnología y las comunicaciones. El futuro parece guardar un sitio especial para las nuevas posibilidades que ofrece la tecnología cuántica.

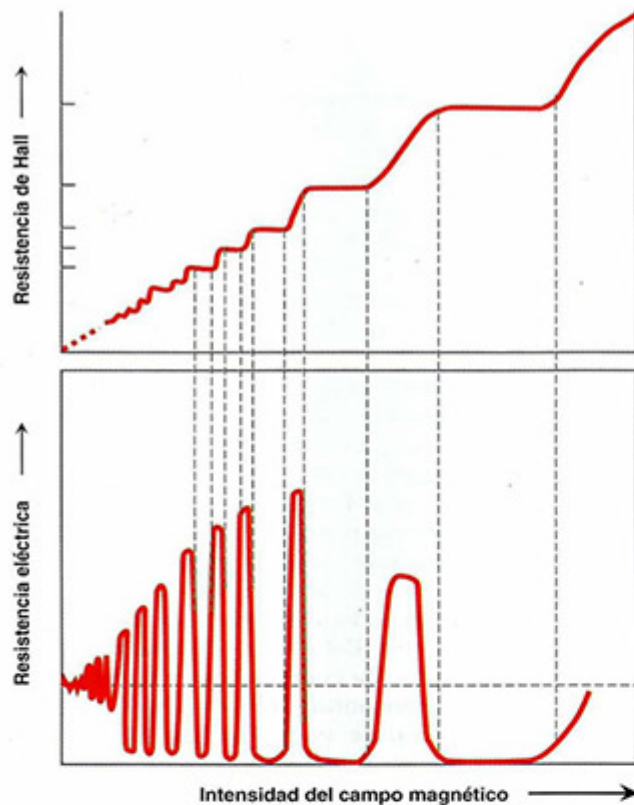
La nueva nanotecnología propone la construcción de máquinas de dimensiones moleculares con aplicaciones potenciales a la medicina, la computación y la fabricación de materiales nuevos y exóticos. Quizás, una de las más excitantes potencialidades sea la construcción del computador cuántico. Esta máquina sería capaz de realizar manipulaciones matemáticas que son imposibles, incluso en principio, en un computador actual convencional.

En efecto, un computador cuántico podría procesar información en muchas realidades paralelas simultáneamente, e integrarlas finalmente en una sola respuesta en el mundo real, lo que permitiría nada menos que la realización de todo tipo de nuevos algoritmos lógico-matemáticos. El futuro dirá si nuestros más potentes supercomputadores actuales serán, probablemente, más parecidos a un ábaco que a las realidades que estarían por venir.

Cualquier dispositivo electrónico digital básico emplea dos estados, los famosos 0 y 1 de la lógica binaria. Cuando el dispositivo se hace más y más pequeño, la naturaleza cuántica del sistema empieza a dominar. En mecánica cuántica asociamos una probabilidad de ocupación a cada estado. Además, estamos interesados en la diferencia de fase de las funciones de onda de estos dos estados cuando el sistema es excitado de un estado al otro. Esta propiedad cuántica adicional es conocida como coherencia. El problema con los semiconductores es que la coherencia cuántica no se mantiene por más de unos pocos picosegundos (un picosegundo es la milésima parte de un nanosegundo) y sólo cuando el sistema está más frío que la temperatura del aire líquido (196 grados centígrados

**Figura 4.** Transistor de efecto de campo. Este contiene una fuente, un drain o sumidero, una compuerta y un aislante. Al aplicar un voltaje en la entrada, los electrones se mueven cerca al aislante, estableciendo conexión entre el origen y el sumidero; "desplazando" el interruptor del transistor de "off" a "on".





**Figura 5.** El efecto Hall cuántico se manifiesta a través de mesetas en la resistencia de Hall de una muestra (arriba), que coinciden con la desaparición de la resistencia eléctrica de la misma (abajo). En las mesetas, la resistencia de Hall no cambia aunque varíe la intensidad del campo magnético.

bajo cero). Sin embargo, investigaciones recientes en heteroestructuras semiconductoras indican sobre la posibilidad de alcanzar tiempos de relajación del spin electrónico (propiedad cuántica intrínseca del electrón, especie de giro sobre sí mismo), suficientemente largos (del orden de nanosegundos), que garantizarían el posible control de la dinámica coherente de estos spins<sup>2</sup>. Este sería, sin duda, un primer paso importante hacia el uso de semiconductores en dispositivos cuánticos coherentes.

Los dispositivos cuánticos coherentes son importantes no sólo porque ellos contienen una pieza más de información (la fase entre estados distintos) sino porque ellos podrían preservar las propiedades cuánticas, preparadas por haces luminosos cuidadosamente aplicados (coherencia óptica) en una cadena de tales dispositivos, sin la interferencia de observaciones salvo en la preparación y al final del proceso. Por ejemplo, si cada dispositivo

**El futuro dirá  
si nuestros  
más potentes  
supercomputadores  
actuales serán,  
probablemente,  
más parecidos  
a un ábaco.**

elemental es una compuerta lógica, entonces la cadena de compuertas forma un computador cuántico. Importantes investigaciones en la teoría de la computación cuántica han demostrado que tal computador podría factorizar un número entero grande mucho más rápido que un computador tradicional.

La mecánica cuántica describe en la escala microscópica un mundo donde la lógica clásica no tiene cabida, donde las partículas se pueden encontrar simultáneamente en diversos lugares, existir al mismo tiempo bajo diferentes identidades. El aspecto desconcertante de la mecánica cuántica viene de su principio fundamental: la superposición de estados, que nos dice que si un sistema posee varios estados distintos posibles (ejemplo: un átomo con sus niveles de energía) puede encontrarse a la vez en todos estos estados, como suspendido en realidades diferentes. Se podría, por qué no, hacer una superposición de calculadoras hechas de millares de nanotransistores que constituyan bits de información y hacerlas funcionar como máquinas en paralelo. La potencia de cálculo de tales computadores sobrepasa, por lo menos en el papel, la de los computadores actuales más potentes. Actualmente, se despliegan intensos esfuerzos para comprender la arquitectura de tales máquinas potenciales y para controlar las interrelaciones de un gran número de nanotransistores. El mayor obstáculo en la realización de este sueño es sin duda la decoherencia; ella es tanto más eficaz en la medida en que el sistema considerado sea más grande y protege de esa forma dictatorial el carácter clásico del mundo macroscópico. Si pudiéramos controlar a voluntad la frontera cuántico-clásico, se abriría un campo de potencialidades vertiginosas.

Los nanotransistores o puntos cuánticos semiconductores han sido candidatizados como unos componentes ideales para la realización de un computador cuántico. El uso de puntos cuánticos como memorias que funcionan incluso a temperatura ambiente ha sido anunciado recientemente<sup>3</sup>, al igual que arquitecturas más complejas<sup>4,5</sup>. En particular, se ha planteado ya un prototipo de computación cuántica que emplea y controla la dinámica de los spins electrónicos en puntos cuánticos<sup>6</sup>.

Las extraordinarias propiedades electrónicas de los semiconductores forman la base de la última, y aún en curso, revolución tecnológica que afecta no sólo las potencialidades de la ciencia moderna sino prácticamen-

te todos los aspectos de nuestra vida diaria. Este desarrollo acelerado está basado en la habilidad para controlar las propiedades electrónicas y estructurales de los semiconductores. Quizás el rasgo más significativo de los últimos cincuenta años ha sido el desarrollo de una sociedad cuyo principal producto es la información. La fuerza motora de esta transformación reside en el avance incesante de la tecnología electrónica, particu-

larmente el transistor. El transistor, ese dispositivo electrónico maravilloso, virtualmente invisible, ha cambiado nuestras vidas ... para siempre.

Los autores de este trabajo forman parte del grupo de Física Teórica de la Materia Condensada de la Universidad de Los Andes, apoyado por COLCIENCIAS.

### Referencias:

1. Milburn, Gerard. Quantum Technology. Allen&Unwin Science; 1996.

2. Kikawa, J.M., Smorchkova, I.P., Samarth, N. and Awschalom, D.D. Room-Temperature Spin Memory in Two-Dimensional Electron Gases. *Science* 277: 1284; 1997.

3. Guo, L., Leobandung, E. and Chou, S.Y. A silicon single-electron transistor memory operating at room temperature. *Science* 275: 649; 1997.

4. Orlov, A.O., Amlani, I., Bernstein, G.H., Lent, C.S., and Snider, G.L. Realization of a functional cell for quantum-dot cellular automata. *Science* 277: 928; 1997.

5. Amlani, I., Orlov, A.O., Snider, G.L., Lent, C.S. and Bernstein, G.H. Demonstration of a six-dot quantum cellular automata system. *Journal of Applied Physics* 72: 2179; 1998.

6. Loss D. and DiVincenzo, D.P. Quantum computation with quantum dots. *Physical Review A* 57: 120; 1998.

# Innovación y Ciencia

**Un paso adelante en  
Ciencia y Tecnología**

**Suscríbase al mejor  
aliado de sus estudios e  
investigaciones**

**Todo lo que usted quería  
saber para estar  
adelante**

## Adpostal



*¡Llegamos a todo el mundo!*

**CAMBIAMOS PARA SERVIRLE MEJOR A  
COLOMBIA Y AL MUNDO**

**ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS**

**VENTA DE PRODUCTOS POR CORREO  
SERVICIO DE CORREO NORMAL  
CORREO INTERNACIONAL  
CORREO PROMOCIONAL  
CORREO CERTIFICADO  
RESPUESTA PAGADA  
POST EXPRESS  
ENCOMIENDAS  
CORRA  
FAX**

**LE ATENDEMOS EN LOS TELEFONOS:**

**243 88 51 - 341 03 04 - 341 55 34  
980015503, Fax: 2833345**



FUNDACION FES  
FUNDACION ANTONIO RESTREPO BARCO



# Explorando el conocimiento y la formación social para el progreso

Libros y revistas en las áreas de:

- Educación • Desarrollo Social
- Medio Ambiente • Cultura • Salud

**Solicite hoy  
mismo nuestro  
Catálogo de  
Publicaciones  
en las oficinas  
de FES en todo  
el país**



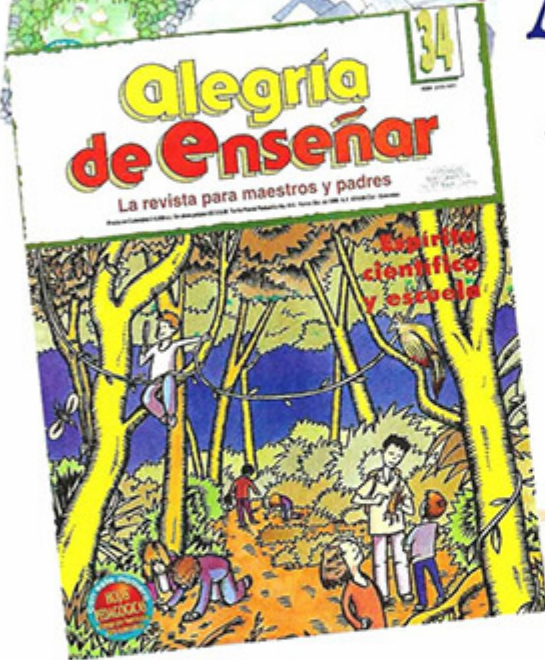
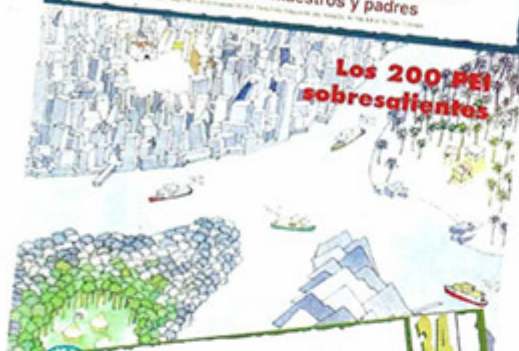
*El Largo y Sorprendente  
Viaje de las Pleyades*



*Autoevaluación y Fortalecimiento de  
Instituciones de Protección*



*Evaluación de Proyectos  
Sociales*



# Revista

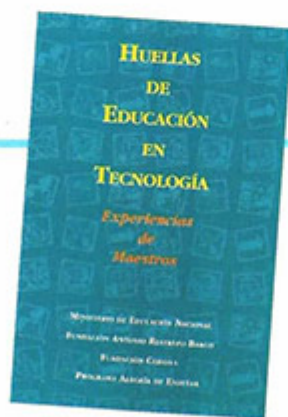
# Alegria de Enseñar

*El material de consulta preferido  
por maestros e investigadores  
colombianos*

## Suscríbese hoy mismo



La Reforma  
Ambiental en Colombia




Huellas de Educación en  
Tecnología



Serie Escuela y Modernidad  
en Colombia



La Cultura Fracturada



*Los océanos cubren  
el 70% de nuestro planeta  
y el hombre ha explorado  
científicamente menos del 1% de ellos.*

*Hoy, cuando la sobrepoblación  
de la Tierra se hace evidente,  
mirar hacia el mar es la alternativa más  
próxima. Los resultados obtenidos  
hasta ahora muestran además  
de un maravilloso espectáculo,  
respuestas sobre el pasado  
y posibilidades para el futuro del  
hombre como especie.*

# **El pasado y el futuro**



**Diana Edith Patiño**

Profesional especializado,  
División de cultura, ciencia y comunicaciones,  
Colciencias,  
Santa Fe de Bogotá, Colombia  
e-mail: dpatino@colciencias.gov.co

**E**mbarcaciones de todos los tamaños, buques majestuosos, todo tipo de cargas e innumerables historias han cruzado los mares y océanos del mundo. Pero, ¿cuánto se sabe en realidad de la riqueza y potencial que ellos representan? Científicos de las naciones llamadas "potencias" coinciden en que se desconoce casi todo. Es más, diversas organizaciones interesadas en plantear soluciones universales a los problemas del mundo convocan foros internacionales de reflexión sobre el tema.

La última década de nuestro siglo ha estado marcada por el gran debate sobre cómo integrar los océanos al desarrollo sostenible del planeta. La preocupación se centra en el constante incremento del uso intensivo de los océanos sin que se tomen medidas que impidan el deterioro de su balance ecológico. Es decisivo entonces proponer acciones concretas para evitar la amenaza de la rápida destrucción de sus recursos y formidable potencial de vida. El estudio es una de ellas.

### Los visitantes de las profundidades

El interés en el conocimiento de los océanos plantea uno de los grandes retos para los investigadores ¿cómo llegar a las insospechadas profundidades del piso marino bajo condiciones apropiadas de seguridad, y explorar así lugares nunca antes vistos? El sumergible norteamericano de buceo en profundidades Alvin

# e la humanidad es azul

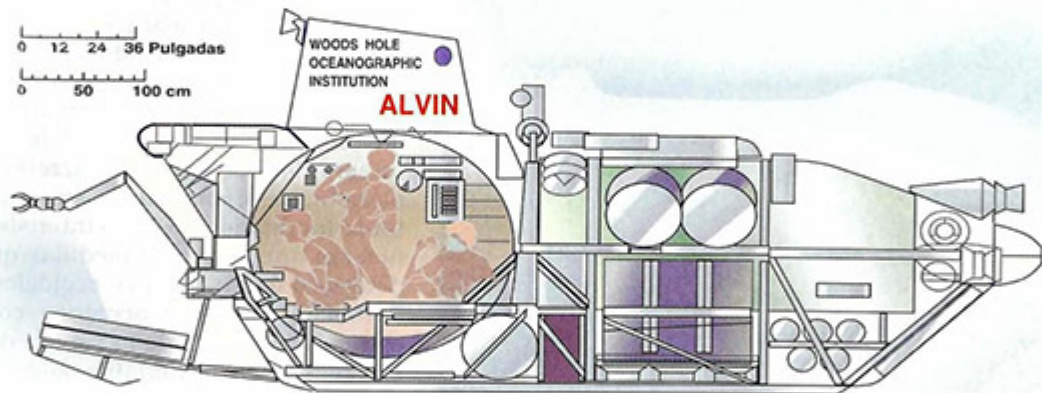
operado por el WHOI (*Woods Hole Oceanographic Institution*), en Massachusetts, hizo realidad este sueño, en 1965, luego del establecimiento años atrás de un programa nacional de vehículos sumergibles en Estados Unidos.

El WHOI es la organización más grande de investigación marina independiente en los Estados Unidos, con un presupuesto de operación anual aproximadamente de 86 millones de dólares y un equipo de mil personas integrado por científicos y estudiantes. Fue fundada en 1930 y lleva a cabo proyectos de investigación en el mundo en áreas de ingeniería y física oceánica, biología, química marina, geología y geofísica, entre otras.

El sumergible Alvin que tiene una longitud aproximada de siete metros es transportado

por el crucero Atlantis, el primer barco de investigación académica de los Estados Unidos, construido hace tres años para efectuar exploraciones submarinas. El Atlantis está equipado con herramientas de navegación de alta precisión, ayudas para la elaboración de mapas de la superficie submarina y sistemas de telecomunicaciones vía satélite, destinados a los investigadores que realizan operaciones en el sumergible y quienes llevan a cabo investigaciones oceanográficas de propósito general en el mundo entero.

En una operación corriente el Alvin transporta un piloto y dos científicos observadores en un espacio inferior a 1.5 m<sup>2</sup>, a profundidades que superan los 3.000 metros. Es fabricado con titanio, lo que le permite resistir las altas presiones del fondo marino. Cuenta con poten-



## El ALVIN es un vehículo diseñado para:

1. Operar a una profundidad que va desde la superficie hasta 4.500 metros, a una velocidad de 0 a 3.4 kilómetros por hora y puede permanecer sumergido aproximadamente 10 horas (72 horas en condiciones de emergencia).
2. Transportar a uno o dos observadores, además de instrumentos y herramientas.
3. Maniobrar en áreas con topografía altamente accidentada.
4. Realizar labores científicas o de ingeniería, incluye video y fotografía bajo el agua y en la superficie.
5. Usar herramientas para manipulación y cestas de almacenamiento para recolectar muestras.
6. Proveer una limitada cantidad de energía eléctrica e hidráulica para instrumentos y equipos especiales.

Sin embargo, debido a su baja velocidad y limitada potencia, el Alvin no es un vehículo efectivo para explorar áreas extensas, ni para la superficie terrestre.

Alvin ha demostrado mayor efectividad cuando las muestras *in situ* son complementadas con otras técnicas de investigación.

tes reflectores que quiebran la densa oscuridad e iluminan aproximadamente diez metros al frente del submarino, tres cámaras de video ubicadas en la parte superior frontal del vehículo, manipuladas por los tripulantes, registran de manera continua todo lo que encuentra a su paso; un brazo mecánico recolecta muestras de rocas y toda clase de organismos vivos, y una manguera aspira muestras de agua y organismos pequeños.

El Alvin llamó la atención internacional en 1977, por el descubrimiento en el océano Pacífico de la primera ventila hidrotermal -una especie de fumarola activa en el piso marino- y por la inspección del naufragio del Titanic en 1986, en el norte del océano Atlántico. El Alvin ha realizado más de 3.200 inmersiones y es considerado el vehículo de exploración subma-

rina más productivo y activo del mundo, de los seis existentes.

### Expedición submarina histórica

El 5 de julio del año pasado, el Atlantis partió con el Alvin de Ponta Delgada en las islas Azores, hacia el Atlántico Medio a una expedición científica en la que participaron investigadores de Estados Unidos, India, Gran Bretaña, Portugal, Panamá y Colombia, encabezada por Robert Vrijenhoek y Richard Lutz, científicos de la Universidad de Rutgers, en Estados Unidos. Luis Alberto Hurtado, estudiante de doctorado del Centro de Teoría y Genética Aplicada, de la Universidad de Rutgers, fue el único investigador colombiano a bordo de la expedición número 3131 del submarino Alvin.

### Volcanes de vida en el fondo del mar

Cordilleras submarinas recorren los océanos con variedad de montañas cuyas alturas oscilan entre los cien y los cuatro mil metros. Las cadenas montañosas corren paralelas unas a otras separadas por distancias que van desde cientos de metros hasta algunos kilómetros, dando lugar a valles oceánicos que albergan y se adornan con sorprendentes chimeneas de humo negro llamadas "fuentes hidrotermales".

En estos valles, la actividad volcánica es frecuente. Las fuentes hidrotermales se originan cuando el magma fundido en el interior de la Tierra sale y se combina con fuertes ebulliciones del agua filtrada hacia el interior del suelo oceánico. La temperatura promedio del agua circundante es de 2°C; el magma, con una temperatura aproximada de 1.200°C forma una columna angosta de uno a tres metros de altura, que al enfriarse en el medio origina una costra rocosa. Como resultado del sobrecalentamiento, el agua es expulsada con gran presión y forma una chimenea cónica producida por la precipitación de minerales transportados por el agua. El agua expulsada por la boca de la chimenea alcanza una temperatura máxima de 350°C, y es hasta ahora la más alta registrada en océano abierto.

Científicos pasajeros del Alvin encontraron la primera fuente hidrotermal en el océano Pacífico cerca de las Islas Galápagos en 1977, y desde entonces se han hallado más de veinte

## Características generales:

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Longitud:                    | 7.1 metros   |
| Estructura:                  | 2.6 metros   |
| Altura:                      | 3.7 metros   |
| Calado:                      | 2.3 metros   |
| Peso:                        | 35. 200 libras   |
| Operación en profundidad:    | 4.500 metros   |
| Peso de carga:               | 680 kg   |
| Energía:                     | 46.8 KWH máximo  |
| Velocidad:                   | 3.4 km/h a 2 nudos<br>0.8 km/h a 0.5 nudos en travesía |
| Rango máximo de travesía:    | 5 km sumergido a 14 metros/minuto                      |
| Duración normal de un viaje: | 6-10 horas   |
| Duración soporte de vida:    | 72 horas para 3 personas.<br>216 horas/hombre          |
| Complemento:                 | 1 piloto, 2 científicos observadores                   |

**El Alvin es considerado el vehículo de exploración submarina más productivo y activo del mundo.**

en los océanos Atlántico y Pacífico. Éstas albergan aproximadamente 375 especies de animales desconocidas hasta entonces, de las cuales el 93% son endémicas, es decir que sólo viven allí. Cientos de invertebrados abundan en las profundidades. Miles de camarones, mejillones, peces y almejas nadan vigorosamente por estas chimeneas y cubren un área de más de 10 m<sup>2</sup> alrededor de estas fuentes.

"El objetivo principal de esta expedición fue recolectar diferentes especies que viven en las fuentes hidrotermales para realizar estudios de genética de poblaciones y evolución de estos organismos. Su investigación permitirá interpretar cómo es el movimiento y formas de colonización de los diferentes organismos en las fuentes hidrotermales", expresó el científico colombiano, Luis A. Hurtado.

### ¿Qué hace a las fuentes hidrotermales tan interesantes para los biólogos?

Por las condiciones extremas que se presentan en estos sitios, no deja de maravillarse el hecho de que allí se manifieste la vida y en tal grado de diversidad y abundancia. "El primer factor que limita la vida es la ausencia de luz y la profundidad a la que se encuentran las fuentes que fueron visitadas está en un rango de 2.800 a 3.300 metros y si se tiene en cuenta que la luz penetra sólo hasta los primeros 300 metros, el ambiente es de oscuridad total. Por otra parte, las altas temperaturas del agua en la boca de las chimeneas al mezclarse con el agua fría de las profundidades, obliga a los organismos que allí se encuentran a hacer adaptaciones fisiológicas a los cambios abruptos", agregó Hurtado.

En cuanto a la composición del agua, ésta es una emisión continua de un fluido difuso, acompañado de humo negro. El fluido, además de estar extremadamente caliente, es anóxico (sin oxígeno), ácido (pH bajo, menor de 3), con salinidad variable (desde 1/10 hasta 2 veces la del mar), contiene gases y compuestos tóxicos como ácido sulfídrico, metano, dióxido de carbono, helio, hidrógeno y elementos traza como litio, manganeso, hierro, bario, cobre, zinc, cadmio, plomo y óxido de silicio, de acuerdo con informes del WHOI.

Por lo tanto, el que en condiciones tan adversas como las de las fuentes hidroterma-

les se presente tal diversidad de organismos vivos, plantea a los científicos preguntas interesantes acerca de las condiciones necesarias para que la vida se manifieste en nuestro planeta. Esto ha repercutido para que desde su descubrimiento, hace veinte años, estas fuentes hayan sido objeto de intensos estudios biológicos, físico-químicos y geológicos.

### Algunas respuestas sorprendentes

La luz solar soporta el crecimiento de las plantas vía fotosíntesis en la superficie terrestre, pero en la profundidad marina todo es oscuridad. Entonces, ¿cuál es el origen de la energía y qué organismos son la base de las comunidades biológicas que presentan las fuentes hidrotermales?. Las bacterias que habitan las profundidades marinas oxidan el hidrógeno sulfídrico (quimiobacterias) que viene desde el interior de la Tierra.

En un proceso conocido como quimiosíntesis convierten el dióxido de carbono en un carbono orgánico que los camarones y mejillones comen para sobrevivir.

Las quimiobacterias encontradas en las fuentes hidrotermales son microorganismos extremadamente simples, compuestos de material genético (ADN y ARN) y recubiertos por una cápsula de proteínas con adaptaciones para soportar temperaturas variables (termófilas) desde 2°C hasta 350°C en la boca de las chimeneas, sin que sus moléculas sufran un daño tal que afecte su función o su existencia.

**Los organismos  
que sobreviven  
en condiciones  
extremas pueden  
desarrollar  
moléculas únicas.**



En estas comunidades las bacterias juegan un papel importante. Científicos que han participado en el proyecto opinan que en ellas se encuentra la respuesta al origen de la vida. Las condiciones extremas de las fuentes hidrotermales se asemejan a las condiciones de la Tierra en la época en que se originó la vida. Se especula que a medida que se fué enfriando el planeta cambiaron las condiciones ambientales y hubo menor emisión de gases tóxicos, como ácido sulfídrico y dióxido de carbono. Esas primeras formas de vida, "arqueobacterias", se refugiaron en lugares que guardaron condiciones de la Tierra primitiva, como cráteres, géiseres y fuentes hidrotermales.

"En el Centro de Teoría y Genética Aplicada (CTAG) de la Universidad de Rutgers, se estudian los organismos recolectados durante cada expedición por medio de técnicas de biología molecular, como caracterización del ADN y de isoenzimas. De una manera general, los estudios consisten en extraer el ADN de los individuos de una especie y elegir un gen que muestre claramente el curso de la evolución y obtener la secuencia del mismo. Con la ayuda de programas computarizados que muestran las relaciones entre los organismos es posible comparar la similitud de las secuencias y construir árboles filogenéticos (genealogías)", explicó el científico Luis Hurtado.

Adicionalmente, el Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos utiliza las muestras recolectadas durante el crucero para realizar pruebas y establecer si los organismos de las fuentes hidrotermales elaboran sustancias o componentes activos que puedan ser empleados en el tratamiento contra los distintos tipos de cáncer conocidos en humanos, el sida y otras enfermedades. Estos estudios se basan en que los organismos que sobreviven en condiciones extremas pueden desarrollar moléculas únicas, que serían de gran utilidad para la industria farmacéutica.

El ecosistema de las fuentes hidrotermales es único en la Tierra, muy diferente a cualquier otro conocido. Este hecho ha llamado la atención de los científicos, especialmente sobre la probabilidad de vida en otros planetas con condiciones extremas, como es el caso de Marte y algunas lunas de Júpiter. La NASA ha seguido de cerca este tipo de proyectos marinos por su posible aplicación en la investigación de formas de vida en otros planetas del Sistema Solar.

En diciembre de 1998 la expedición de la Universidad de Rutgers se dirige a las fuentes hidrotermales ubicadas cerca de la Isla de Pascua en Chile, crucero que aportará nuevos datos a la investigación.

Sin embargo, aún quedan grandes interrogantes por despejar y muchas maravillas por descubrir. Mientras tanto el azul, azul marino y profundo seguirá seduciendo a la humanidad por su permanente misterio que no tiene límite, principio ni final.



**Bacterias termófilas**

**Chimeneas de humo negro, llamadas "fuentes hidrotermales" en las profundidades oceánicas.**

### Lecturas sugeridas

1. [www.marine.whoj.edu](http://www.marine.whoj.edu)
2. [www.sio.rssi.ru](http://www.sio.rssi.ru)
3. <http://acoustics.whoj.edu/>
4. [www.whoj.edu/media/jointsubdivesrelease.html](http://www.whoj.edu/media/jointsubdivesrelease.html)
5. [www.ghgcorp.com/hollaway/flood.html](http://www.ghgcorp.com/hollaway/flood.html)
6. [www.expo98.pt](http://www.expo98.pt)



# La riqueza de la fauna anfibia de los Andes colombianos

**John D. Lynch**  
Profesor Asociado,  
Instituto de Ciencias Naturales,  
Universidad Nacional de Colombia.  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
e-mail: [jlynch@ciencias.ciencias.unal.edu.co](mailto:jlynch@ciencias.ciencias.unal.edu.co)

**H**ace más de dos décadas, Cochran & Goin<sup>1</sup> publicaron el libro *Frogs of Colombia* en el que registraron 212 especies y subespecies de ranas y sapos para el país. Sin embargo, la información recolectada ha aumentado significativamente en los últimos años. Hasta ahora, han sido reconocidas 578 especies de estos organismos en Colombia<sup>2</sup>. Este incremento en su conocimiento se ha producido gra-



cias a los estudios realizados acerca de la fauna andina, especialmente la de los bosques de niebla. En su libro, Cochran & Goin<sup>1</sup> no contemplaron la importancia de dos familias de ranas del grupo de las ranas de cristal: la familia *Centrolenidae* (8 especies en 1970, 66 en 1998) y las ranas de lluvia de la familia *Eleutherodactylini* (37 especies en 1970, 203 en 1998). Estos dos grupos son muy diversos en los bosques nublados y los estudios realizados allí recientemente elevaron a Colombia de una posición modesta dentro de la fauna neotropical a la del país más rico del mundo en especies de ranas y sapos (tabla 1). Los anfibios incluyen tres grupos de animales: ranas o sapos, las salamandras (hay 17 especies conocidas para Colombia), y las caecillas,



anfibios parecidos a lombrices o culebras, de las cuales hay 28 especies conocidas.

Con excepción de los desiertos biológicos originados por actividades antropogénicas intensivas, hay muy pocos sitios que se pueden visitar dentro de los límites geográficos del país sin que exista la posibilidad de encontrar diferentes especies. Estos lugares son elevaciones por encima de 4200 metros sobre el nivel del mar, en las cuales los vientos periglaciales producen un ambiente tan seco que las ranas no pueden sobrevivir<sup>3,4</sup>; en la mayoría de los manglares, donde las concentraciones de sal también crean un ambiente hostil para estos organismos (en estos lugares

ocasionalmente se encuentran ranas visitantes pero no residentes, por lo menos en Colombia); en la isla de Malpelo en el Pacífico; y por último, las islas colombianas del Caribe, pues las ranas que habitan allí son especies introducidas por humanos. Sin embargo, cualquier otra área del país es hogar para unas pocas o muchas especies de ranas y sapos<sup>5</sup>.

Pero, ¿cuál es su importancia? Las ranas y sapos no sólo ubican a Colombia en el primer lugar de una lista privilegiada de países con megadiversidad, sino que éstas permiten un acercamiento para entender su evolución. Con cada año que pasa, hay menos preguntas básicas acerca de los inventarios y más preguntas emergentes acerca de la biogeografía, ecología, evolución y filogenia de esta fauna.

### Características biológicas

La mayoría de las ranas son animales pequeños. Pocas especies sobrepasan los 50mm de longitud rostro-cloaca como adultos. Las ranas y los sapos son carnívoros en la etapa adulta, su alimentación consiste de insectos y otros artrópodos; algunas especies comen peces, otras ranas, ratones, culebras, lagartijas y ocasionalmente pájaros. Los renacuajos de algunas especies no necesitan buscar su comida en el medio externo porque el huevo contiene suficiente yema para proveer la energía necesaria para completar el desarrollo; otros son vegetarianos y algunos carnívoros, incluso se comen a

Tabla 1.

## Distribución y diversidad de ranas en el mundo

Las ranas se encuentran en todos los continentes excepto en la Antártida y en algunos lugares como las Antillas, la Insulindia y las islas oceánicas. Hoy en día, conocemos aproximadamente 4300 especies sobre el planeta, distribuidas en 27 familias, de las cuales América del Sur cuenta con un alto porcentaje de diversidad (aproximadamente el 35%). Colombia es el país más rico en el mundo con 578 especies registradas. Estas especies pertenecen a nueve familias principales. Colombia alberga varios grupos (género *Atelopus*, *Bufo*, *Centrolenidae*, *Dendrobatidae*; y el género *Eleutherodactylus*, *Leptodactylidae*).

|                          | MUNDIAL     |         |          | COLOMBIA    |         |          |
|--------------------------|-------------|---------|----------|-------------|---------|----------|
|                          | subfamilias | géneros | especies | subfamilias | géneros | especies |
| <i>Bufo</i>              | -           | 33      | 380      | -           | 6       | 62       |
| <i>Centrolenidae</i> *   | -           | 3       | 120      | -           | 3       | 66       |
| <i>Dendrobatidae</i> *   | -           | 6       | 175      | -           | 5       | 55       |
| <i>Hyla</i>              | 4           | 38      | 750      | 3           | 14      | 130      |
| <i>Leptodactylidae</i> * | 4           | 49      | 900      | 3           | 16      | 240      |
| <i>Microhylidae</i>      | 9           | 65      | 315      | 1           | 9       | 14       |
| <i>Pipa</i>              | -           | 5       | 30       | -           | 1       | 4        |
| <i>Pseudis</i> *         | -           | 2       | 4        | -           | 1       | 1        |
| <i>Rana</i>              | 3           | 46      | 700      | 1           | 1       | 2        |

\* Endémica del Neotrópico

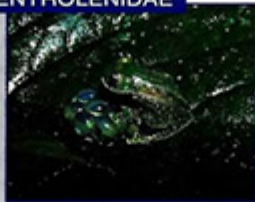
otros renacuajos. Las ranas son peculiares dentro de los vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos) porque su columna vertebral es muy corta (usualmente sólo tiene nueve vertebras) y parecen carecer de cola, pues tienen tres secciones en el miembro posterior (entre la cadera y el pie) y la segunda sección de los miembros contiene solamente un hueso y no dos<sup>6</sup>.

Aunque el lenguaje popular use dos palabras (rana y sapo) para estos animales, aún no existe una explicación científica para tal distinción. Técnicamente los sapos son miembros de la familia Bufonidae y las ranas son miembros de la familia Ranidae. Las propuestas para agrupar aproximadamente unas veinte familias dentro de estas dos clasificaciones son débiles o erróneas. Tanto las distinciones vulgares como el conocimiento son invalidados cuando se empieza a discutir acerca de los ciclos de vida de ranas y sapos. Mientras que casi todas las especies de Europa y América del Norte depositan sus posturas dentro del agua y tienen renacuajos acuáticos, que se transforman en adultos por lo menos semiterrestres, alrededor de un 40% de las especies de ranas o sapos conocidas en Colombia no poseen siquiera una etapa de renacuajo, por lo que no puede aplicárseles tal descripción.

En Colombia se encuentran trece grupos de ranas (familias o subfamilias). Algunos son muy pobres en cuanto al número de especies mientras otros son de gran riqueza. Los grupos *Ceratophryinae*, *Pipidae* y *Pseudidae* son grupos pequeños que no muestran diversidad en ninguna parte del mundo, mientras que los *Microhylidae* y *Ranidae* son grupos muy diversos en otros lugares, pero con pocas especies colombianas. Estos grupos además tienen en común que habitan en selvas y tierras bajas (tabla 2).

Los modos de vida representan otro aspecto de la diversidad. Dentro de esta inmensa variedad hay especies que pasan más de la mitad del año enterradas esperando el invierno; una de éstas, *Ceratophrys calcarata* tiene una apariencia bastante peculiar y es llamada "boca con rana anexa".

FAMILIA CENTROLENIDAE



FAMILIA BUFONIDAE



FAMILIA DENDROBATIDAE



FAMILIA HYLIDAE



FAMILIA LEPTODACTYLIDAE



FAMILIA MICROHYLIDAE



FAMILIA PIPIDAE



FAMILIA PSEUDIDAE



FAMILIA RANIDAE



# Colombia

## es el país con más especies de ranas y sapos en el mundo.

Otras como las hembras del género endémico *Cryptobatrachus* transportan sus posturas (huevos) pegadas al dorso; dado que éstas tienen un desarrollo directo, las hembras no pueden apartarse de los alrededores de las cascadas. Los renacuajos de sapos del género *Atelopus* por su parte, viven en quebradas andinas y tienen una ventosa ventral probablemente como una adaptación contra la fuerza del agua en las quebradas. Las especies de *Pipa* son acuáticas y carecen de la capacidad para saltar. En la época de apareamiento, las ranas y sapos emiten chirridos, gruñidos, silbidos o trinos para atraer a su pareja.

A pesar de la riqueza del país, la mayoría de los colombianos conoce solamente el sapo co-

tas especies están restringidas a Colombia. Las ranas de la Amazonia tienen distribuciones muy amplias y son conocidas en Brasil, Ecuador, y Perú. Las de Chocó también se encuentran en Ecuador y Panamá. Se ha dicho que estos bosques de las tierras bajas tienen una diversidad alfa alta (en un sitio se encuentran muchas especies) pero una diversidad beta baja (se encuentran la misma lista de especies en otros sitios cercanos o lejanos) (tabla 2). En contraposición, en los Andes, la diversidad alfa es usualmente baja y la beta es muy alta. Las ranas que se encuentran en los alrededores de Medellín son casi todas distintas de las ranas que se encuentran cerca a Santa Fe de Bogotá o de Popayán. El acertijo andino es más complejo porque un cambio de unos pocos cientos de metros de altura puede resultar en el cambio de cerca del 75 % de las especies en la lista de la fauna.

Lo que es emergente es un patrón de distribuciones establecido tanto al interior de las especies como entre ellas, desplegado en forma de cintas situadas sobre las faldas de los Andes. Hasta el momento se ha detectado que los parientes más cercanos son alopátricos (no viven juntos) y usualmente se encuentran en el mismo piso altitudinal<sup>11</sup>. El reto entonces es obtener suficientes cladogramas (hipótesis de parentescos) para poder detectar patrones comunes que involucren dispersión o desplazamiento vertical<sup>12</sup>, lo que da una idea de las múltiples posibilidades que esto puede generar para un trabajo de investigación.

Otro aspecto que se debe considerar para explicar este fenómeno es la actividad orogénica, producto de los cambios en el interior de la Tierra, que pudo haber levantado o bajado bloques de terreno hasta al momento ligados en cadenas andinas. Por ello, Lundberg y Marshall<sup>13</sup> plantean la hipótesis de que como al oeste Colombia está muy cerca de una fosa tectónica, la orogenia probablemente pudo haber causado movimientos horizontales de elementos masivos. Por otra parte, los ciclos climáticos relativamente recientes del Pleistoceno debieron tener efectos dramáticos en la continuidad geográfica de los pisos del hábitat. Todos estos cambios reales o imaginarios tendrían el efecto de disrupción de la homogeneidad del *pool* genético, al modificar las ecuaciones de la competencia en las comunidades ecológicas, y forzar otros grandes cambios en las adaptaciones de los seres de estos lugares. Ésta es la materia prima de evolución y especiación.

Si examinamos los grupos grandes o medianos en términos de su diversidad en tierras bajas y en tierras altas, encontramos que los centrolénidos y los eleutherodactilinos tienen diversidad baja en las tierras bajas y diversidad alta en las

Tabla 2. Número de especies por grupo.

| Grupos que habitan en selvas y tierras bajas |          | Grupos que habitan en tierras bajas y en la zona andina |          |
|--|----------|---|----------|
| Nombre                                       | Especies | Nombre  | Especies |
| Ceratophryinae                               | 2        | Bufonidae   | 62       |
| Leptodactylinae                              | 35       | Centrolenidae   | 66       |
| Microhylidae                                 | 14       | Dendrobatidae   | 55       |
| Phyllomedusinae                              | 16       | Eleutherodactylini                                      | 203      |
| Pipidae                                      | 4        | Hemiphractinae  | 27       |
| Pseudidae                                    | 1        | Hyllinae  | 87       |
| Ranidae                                      | 3        |   |          |

mún, *Bufo marinus* porque vive en pueblos y generalmente se encuentra lejos de los bosques, unas pocas especies de ranas arborícolas de la familia Hylidae (*Hyla crepitans*, *Hyla labialis*) porque habitan en los jardines, pero muy pocas personas han tenido experiencias directas con las ranas venenosas (Dendrobatidae).

En Colombia, las selvas aportan el 40% de la diversidad de ranas y sapos, lo que hace posible encontrar unas 80 ó 90 especies en una determinada área de la selva amazónica<sup>7,8</sup> o chocoana<sup>9,10</sup>, sin embargo, sólo algunas de es-

Tabla 3. Distribución geográfica de algunas especies de ranas en Colombia.

| Especies de ranas endémicas en Colombia |                 |                                       |
|---|-----------------|---------------------------------------|
| Familia                                 | No. de especies | Distribución geográfica               |
| Bufonidae                               | 32 especies     | Todas andinas                         |
| Centrolenidae                           | 38 especies     | La mayoría andinas, algunas chocoanas |
| Dendrobatidae                           | 31 especies     | Chocoanas y andinas                   |
| Hylidae                                 | 25 especies     | Todas andinas                         |
| Leptodactylidae                         | 113 especies    | La mayoría andinas, algunas chocoanas |
| Microhylidae                            | 1 especie       | Chocoana                              |



**Dendrobates**  
*histrionicus*.

tierras altas, mientras los hílidos se comportan al revés. Este caso puede explorarse al examinar la diversidad de los modos reproductivos en estos grupos. Los centrolénidos requieren quebradas para su reproducción, no charcos, y ponen sus huevos sobre hojas. Los charcos son escasos sobre los flancos de los Andes donde estas ranas son muy abundantes. Por otra parte, las ranas del género *Eleutherodactylus* no dependen de charcos o quebradas y su diversificación en los Andes nortños es incomparable. Ellos colocan sus huevos dentro de la hojarasca o en bromeliaceas, en este grupo no existe un rena-

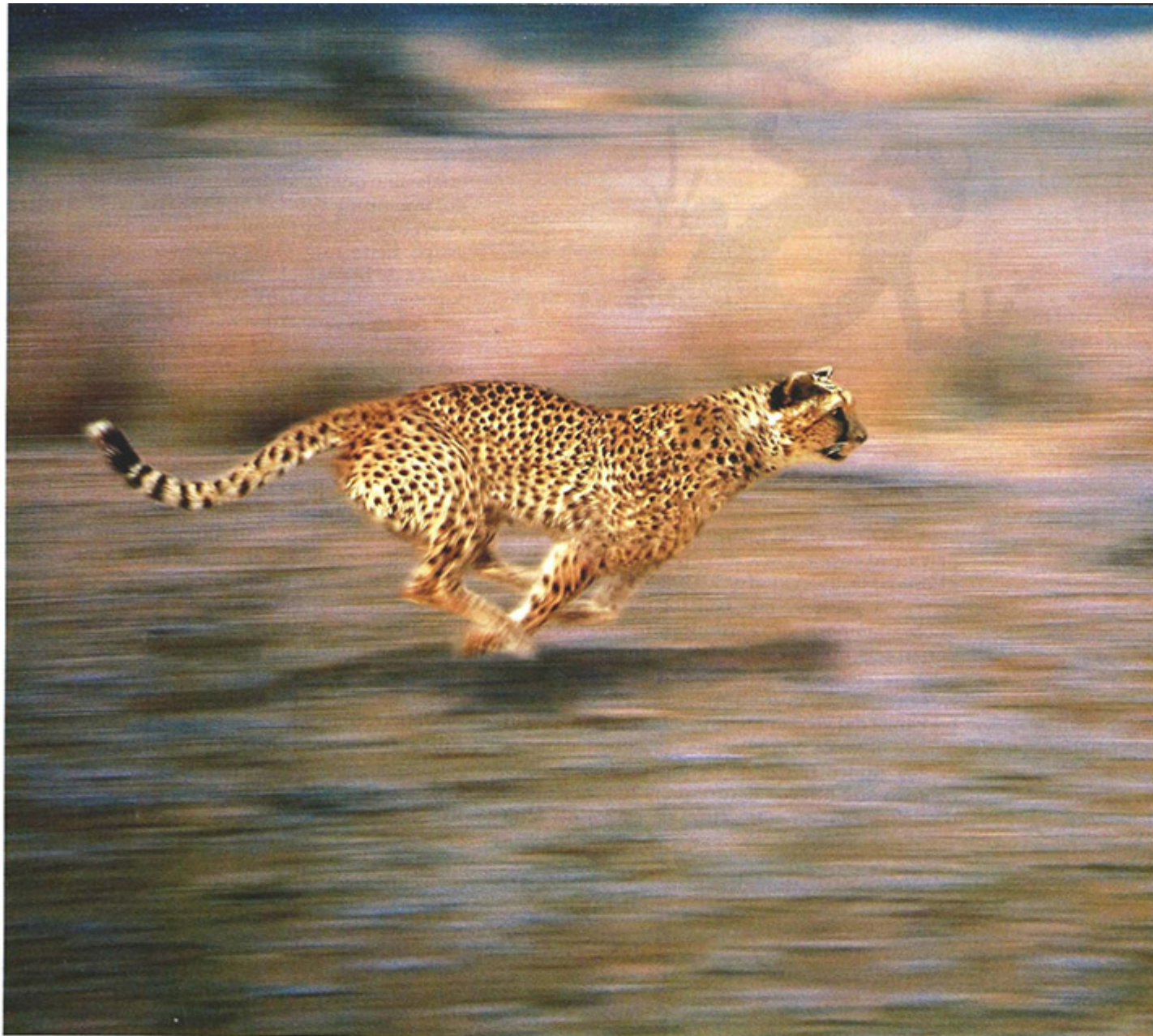
cuajo sino que, después de un tiempo determinado, una ranita sale del huevo y vive en la hojarasca en busca de artrópodos muy pequeños. Cada grupo tiene una biología reproductiva que requiere de humedad relativa alta y uniforme. Los sapos adaptados a las quebradas (género *Atelopus*) son notables por su diversidad en los Andes. Pero no todos los grupos de ranas o sapos habitan en las montañas, probablemente algunos no lo hacen porque no son capaces de adaptarse al clima frío, y otros porque requieren charcos y no quebradas para reproducirse. Los hílidos de América Central, en cambio, incluyen muchas especies adaptadas a reproducirse en quebradas<sup>14</sup>, mientras que este hábito es escaso en América del Sur. Mientras no se tengan hipótesis filogenéticas para estas especies, el patrón de distribuciones quedará sumido en el misterio.

Por último, este artículo quiere hacer un llamado acerca de la importancia de conocer este recurso natural para protegerlo, pues desafortunadamente las especies endémicas (tabla 3) están en peligro de extinción no sólo por la destrucción de los bosques sino porque son víctimas de los traficantes de fauna exótica.



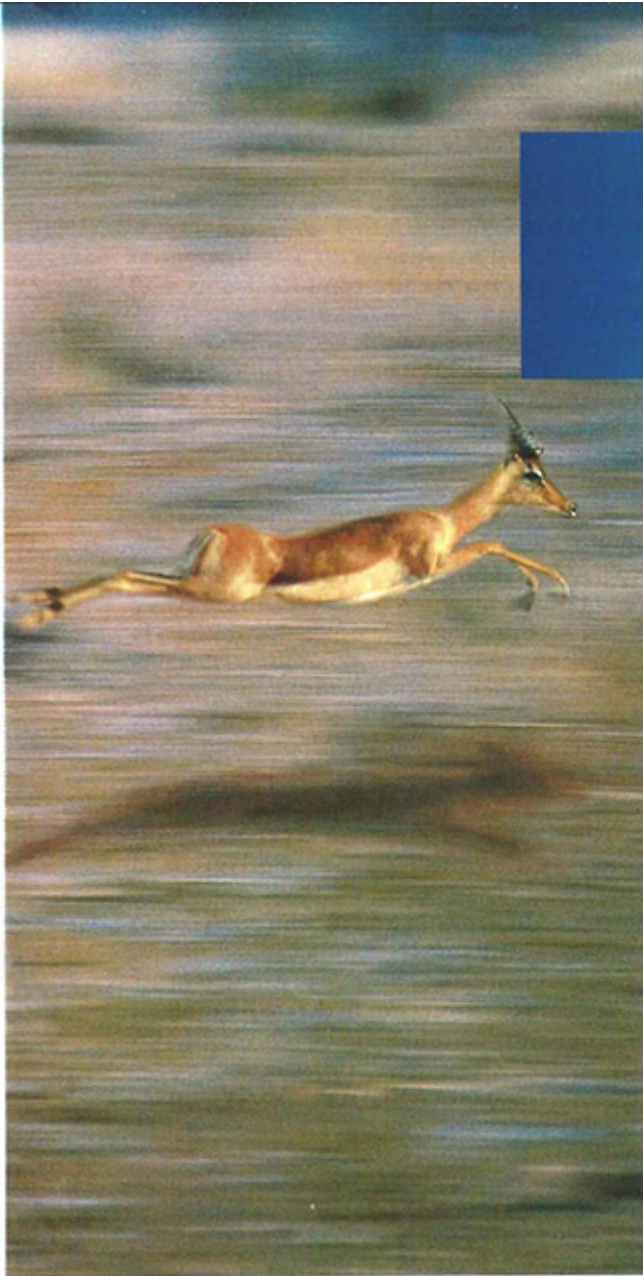
## Referencias

1. Cochran, D. M. & Goin C.J. *Frogs of Colombia*. United States National Museum, Bulletin (288): xii + 1-654, 1970.
2. Ruiz-Carranza, P. M., Ardila-Robayo, M.C. & Lynch, J.D. Lista actualizada de la fauna Amphibia de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 20 (77): 365-415, 1996.
3. Lynch, J.D. A new species of high-altitude frog (*Eleutherodactylus*: *Leptodactylidae*) from the Cordillera Oriental of Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 19 (72): 195-203, 1994.
4. Lynch, J. D., Ruiz-Carranza, P. M. & Ardila-Robayo, M.C. Three new species of *Eleutherodactylus* (*Amphibia*: *Leptodactylidae*) from high elevations of the Cordillera Central of Colombia. *Caldasia* 18: 329-342, 1996.
5. Rengifo, J. M. *Ranas y Sapos de Colombia*. Editorial Colina, Medellín. 160 pp., 1997.
6. Duellman, W. E. & Trueb, L. *Biology of Amphibians*. McGraw Hill Book Co., New York. xvii + 1-670, 1986.
7. Duellman, W. E. The biology of an equatorial herpetofauna in Amazonian Ecuador. *Museum of Natural History, University of Kansas, Miscellaneous Publication* (65): 1-352, 1978.
8. Duellman, W. E. & Thomas, R. Anuran amphibians from a tropical dry forest in southeastern Peru and comparisons of the anurans among sites in the upper Amazon Basin. *Occasional Papers of the Natural History Museum, University of Kansas* (180): 1-34, 1996.
9. Lynch, J. D. The amphibians of the lowland tropical forests. In Duellman, W. E. (Ed.), *The South American Herpetofauna: Its Origin, Evolution, and Dispersal*. *Monograph of the Museum of Natural History, University of Kansas* 7: vii + 1-485, pp. 189-215, 1979.
10. Ruiz-C., P. M., Hernández-C, J.I. & Ardila-R, M.C. La herpetofauna de la provincia biogeográfica del Chocó. Pp. 256-269 En Leyva, P. (Ed.), *Colombia Pacífico*. Fondo FEN, Santa Fe de Bogotá, 872 pp, 1993.
11. Lynch, J. D. New species of *Eleutherodactylus* from the Cordillera Occidental of western Colombia with a synopsis of the distributions of species in western Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 22 (82): 117-148, 1998.
12. Lynch, J. D., Ruiz-Carranza, P. M. & Ardila-Robayo, M.C. Biogeographic patterns of Colombian frogs and toads. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 21 (80): 237-248, 1997.
13. Lundberg, J. & Marshall, L. A History of tropical South American rivers: 90 MA to recent. *International Symposium on phylogeny and classification of neotropical fishes*. 9th Annual Meeting of the neotropical ichthyological Association, Rio Grande do Sur, Brasil, July, 1997.
14. Duellman, W. E. The hylid frogs of Middle America. *Monograph of the Museum of Natural History, University of Kansas* 1: xi + 1-753, 1970.



**Francisco J. Ayala**  
Departamento de Ecología  
y Biología Evolutiva,  
Universidad de California, Irvine, Estados Unidos.  
e-mail: [fjayala@uci.edu](mailto:fjayala@uci.edu)

**R**ecuerdo vividamente el día en el año de 1971 en que fue anunciado en Nueva York que el Museo Metropolitano de Arte había adquirido en subasta, en la sede de Christie's en Londres, la pintura Juan de Pareja, de Diego Velázquez. El Museo Metropolitano había pagado la asombrosa suma de 5'544.000 dólares, más de lo que nunca había sido pagado por una pintura, sin importar cuan ilustre hubiese sido el artista o distinguido el trabajo. Thomas Hoving, el director del Metropolitano en ese momento, recientemente se ha referido al Juan de Pareja como "la pintura más importante en la historia mundial". Esto es una exageración, pero no hay duda de que esta pintura es uno de los más finos retratos elaborados por el gran maestro español. En el verano de 1649, Velázquez había traído consigo desde Madrid a Roma a su sirviente moro y lo pintó mientras se preparaba para retratar al Papa Inocencio X. El Juan de



# Evolución, religión y los límites de la ciencia

Pareja es característico de Velázquez en el trazo largo pero firme, en la claridad de su ejecución y en la gama de colores. El cuerpo es desarrollado en cafés y texturas en negro y rojo brillante y dramáticamente separado de la cara por un ancho cuello de camisa "blanco" que se extiende desde el cuello hasta los hombros. Como en otros de los retratos de Velázquez de ese periodo, la forma está creada por el color. Se dice que Velázquez hizo hincapié en enviar a Pareja a visitar a sus amigos llevando el retrato para impresionarlos con su vívido parecido. En la primavera de 1650, la pintura fue exhibida con gran aclamación de la crítica en el Panteón de Roma y este éxito pudo haber sido la razón de la elección de Velázquez para la Academia de Roma más tarde, en ese mismo año.

En el distante norte de la India, pocos años después, un desconocido artesano musulmán forjó la Daga de Aurengzeb, uno de los más exquisitos tesoros en la gran colección de las artes

decorativas hindúes, perteneciente al Museo de Arte del Condado de Los Angeles. La empuñadura, que tiene la forma del cuello y la cabeza de un caballo, está manufacturada en jade verde realzado en naranja oscuro. La hoja, hecha en acero de Damasco, está formada en el estilo curvilíneo "khanjar" y exhibe ornamentos florales y una inscripción incrustada en oro con la fecha de 1660-1661. El Taj Mahal acababa de ser construido en Agra por el emperador Mogol Shah Jahan como un mausoleo para honrar a su fallecida esposa, Mumtaz Mahal. La Daga de Aurengzeb fue diseñada como un arma, pero también como un objeto decorativo; su autor fue un refinado artista, no simplemente un artesano.

Sería ridículo sugerir que la Daga de Aurengzeb fue un producto del azar y no del diseño. Sería igualmente ridículo sugerir que Velázquez realizó el Juan de Pareja sin ningún propósito o plan preconcebido.



Juan de Pareja de Diego Velázquez

## Copérnico y Darwin

La publicación en 1859 de *El Origen de las Especies* por Charles Darwin introdujo una nueva era en la historia intelectual de la humanidad. A Darwin se le ha dado merecidamente el crédito por la teoría biológica de la evolución. Él acumuló evidencia demostrando que los organismos evolucionan y descubrió el proceso, la selección natural, por medio de la cual lo hacen. Pero la importancia de Darwin es que éste completó la revolución copernicana iniciada tres siglos antes y con ello cambió radicalmente nuestra concepción del universo y el lugar de la humanidad en él.

Darwin completó la revolución copernicana al extrapolar a la biología la noción de la naturaleza como un sistema ordenado de materia en movimiento. Las adaptaciones y diversidad de los organismos, el origen de formas nuevas y exquisitamente organizadas, incluso el origen de la humanidad misma podían ser explicados ahora por un proceso ordenado de cambios gobernados por leyes naturales.

Los descubrimientos de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton en los siglos dieciséis y diecisiete habían introducido gradualmente la noción de que el universo y sus funciones podían ser explicados por la razón humana. Se mostró que la Tierra no es el centro del universo, sino un pequeño planeta que gira en torno a una estrella promedio; que el universo es inmenso en espacio y tiempo; y que los movimientos de los planetas alrededor del Sol pueden ser explicados por las mismas leyes simples que dan cuenta del movimiento de los objetos físicos en nuestro planeta.

Estos y otros descubrimientos expandieron enormemente el conocimiento humano, pero la revolución intelectual que estos científicos originaron fue más fundamental: un compromiso con el postulado de que el universo obedece leyes inmanentes que dan cuenta de los fenómenos naturales. El funcionamiento del universo fue sometido al dominio de la ciencia: la explicación a través de leyes naturales. Los fenómenos físicos podrían ser explicados siempre y cuando las causas fueran conocidas adecuadamente.

El origen de los organismos y sus maravillosas adaptaciones fue, sin embargo, o bien dejado sin explicación, o bien atribuido al diseño de un Creador omnisciente. Dios había creado las aves y las abejas, los peces y los corales, los árboles en la selva y, por encima de todo, al hombre. Dios nos había dado ojos de manera que pudiéramos ver, y había proveído a los peces con branquias para respirar en el agua. Filósofos y teólogos argumentaban que el diseño funcional de los organismos manifestaba la existencia de un Creador omnisciente. Donde quiera que haya diseño, hay un diseñador; la existencia de un reloj revela la existencia de un relojero.

El teólogo inglés William Paley en su *Teología Natural* (1802) elaboró el argumento-del-diseño como una demostración eficaz de la existencia del Creador. El diseño funcional del ojo humano, argüía Paley, provee evidencia conclusiva de un Creador omnisciente. Sería absurdo suponer —escribió— que el ojo humano por puro azar “hubiera consistido, primero, en una serie de lentes transparentes... segundo, en una tela negra o membrana, extendida detrás de esas lentes para recibir la imagen formada por haces de luz transmitida a través de ellas y puesta a la distancia geométrica precisa, y sólo en ésta, en la que una imagen clara podría ser formada... en tercer lugar, en un largo nervio que comunica esa membrana y el cerebro”. *Los Tratados Bridgewater*, publicados entre 1833 y 1840, fueron escritos por eminentes científicos y filósofos para establecer “el poder, la sabiduría y la bondad de Dios como algo manifiesto en la Creación”. La estructura y los mecanismos de la mano del hombre, por ejemplo, eran citados como evidencia incontrovertible de que la mano había sido diseñada por el mismo Poder omnisciente que había creado el mundo.

Los avances de las ciencias físicas habían llevado así la percepción del universo a una situación esquizofrénica, que persistió hasta mediados del siglo diecinueve. Las explicaciones científicas, derivadas de las leyes naturales, dominaban el mundo de la materia no viviente, tanto en la tierra como en los cielos. Las explicaciones sobrenaturales, dependientes de las insondables obras del Creador, explicaban el origen y la configuración de las criaturas vivas, las realidades más diversificadas,

**D**onde quiera  
que haya diseño,  
hay un diseñador;  
la existencia de  
un reloj revela  
la existencia  
de un relojero.

---

complejas e interesantes del mundo. Fue el genio de Darwin el que resolvió esta esquizofrenia intelectual.

### **El descubrimiento de Darwin: Diseño sin diseñador**

El enigma resuelto por Darwin difícilmente puede ser sobrestimado. Es fácil percibir la fuerza del argumento del diseño para demostrar el papel del Creador. Donde quiera que hay función o diseño buscamos a su autor. Una navaja está hecha para cortar y un reloj está hecho para decirnos la hora; sus diseños funcionales han sido ideados por un fabricante de navajas y por un relojero. El exquisito diseño del Juan de Pareja o de la Daga de

Aurengzeb proclama que estas obras fueron creadas por artistas de talla, siguiendo propósitos preconcebidos. Similarmente, las estructuras, los órganos y las conductas de los seres vivientes están dirigidas a servir ciertas funciones. El diseño funcional de los organismos y sus características parecerían, por tanto, postular la existencia de un diseñador. El gran éxito de Darwin fue mostrar que la organización direccional de los seres vivos podía ser explicada como el resultado de un proceso natural, la selección natural, sin necesidad de recurrir a un Creador u otro agente externo. El origen y la adaptación de los organismos en su profusión y prodigiosas variaciones fueron así incorporados al dominio de la ciencia.

Darwin aceptó que los organismos están "diseñados" para servir ciertos propósitos; es decir, están organizados funcionalmente. Los organismos están adaptados a ciertas formas de vida y sus partes están adaptadas para ejecutar ciertas funciones. Los peces están adaptados para vivir en el agua, los riñones están diseñados para regular la composición de la sangre, la mano humana está hecha para asir. Pero Darwin avanzó esta percepción al proveer una explicación natural del diseño, y con ello, incorporó los aspectos aparentemente dotados de propósito de los seres vivos al dominio de la ciencia.

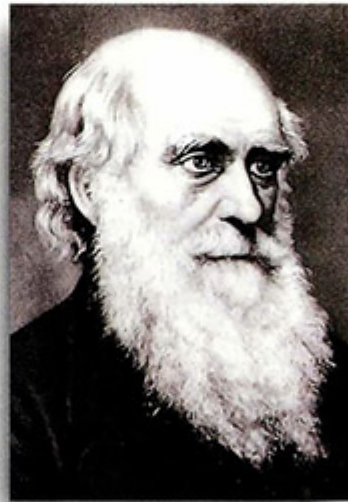
El éxito revolucionario de Darwin consiste en haber extendido la revolución copernicana al mun-

do de los seres vivientes. El origen y la naturaleza adaptativa de los organismos podían ser ahora explicados como los fenómenos del mundo inanimado, como el resultado de leyes naturales manifiestas en procesos naturales. La teoría de Darwin encontró oposición en algunos círculos religiosos, no tanto porque Darwin proponía el origen evolutivo de las seres vivos (esto había sido propuesto antes y había sido aceptado incluso por teólogos cristianos), sino porque el mecanismo causal propuesto por Darwin, la selección natural, excluía a Dios como explicación del diseño de los organismos. La oposición de la Iglesia Católica Romana a Galileo en el siglo diecisiete había sido similarmente motivada no tanto por la aparente contradicción entre la teoría heliocéntrica y la interpretación literal de la Biblia, sino más bien por su intento de entender el funcionamiento del universo, la "mente de Dios". A partir de ese momento histórico, la configuración del universo no fue más percibida como un producto del diseño divino, sino simplemente como un resultado de procesos naturales, ciegos e immanentes.

Hay, sin embargo, muchos teólogos, filósofos y científicos que no vieron contradicción entonces y tampoco la ven ahora entre la evolución de las especies y la fe cristiana. Entre los protestantes contemporáneos de Darwin, algunos vieron la evolución como el "método de la inteligencia divina", en palabras del teólogo del siglo diecinueve A. H. Strong. Otros, como el norteamericano contemporáneo de Darwin, Henry Ward Beecher (1818-1887), hicieron de la evolución la piedra angular de su teología. Estas dos tradiciones han persistido hasta el presente.

Argumentos a favor y en contra de la teoría de Darwin fueron también propuestos por teólogos católicos. Gradualmente, ya en el siglo XX, la evolución por selección natural vino a ser aceptada por la mayoría ilustrada de los escritores cristianos. Pio XII aceptó en su encíclica *Humani Generis* (1950) que la evolu-

ción biológica era compatible con la fe cristiana, si bien argumentó que la intervención de Dios era necesaria para la creación del alma humana. En 1981, el Papa Juan Pablo II se dirigió así a la Academia Pontificia de Ciencias: "La Biblia misma nos habla del origen del universo y su creación, no para ofrecernos un tratado científico sino para establecer la relación correcta del hombre con



■ Charles Darwin.

Dios y con el universo. Las escrituras sagradas simplemente quieren declarar que el mundo fue creado por Dios, y para enseñar esta verdad se expresan en los términos de la cosmología en uso en el tiempo del escritor... cualquier otra enseñanza sobre el origen y la creación del universo es ajena a las intenciones de la Biblia, la cual no trata de enseñarnos cómo fueron hechos los cielos, sino cómo ir al cielo". El razonamiento del Papa es que es un desatino tomar la Biblia como un libro elemental de astronomía, geología y biología. El argumento va claramente en contra del literalismo Bíblico de los fundamentalistas y comparte con la mayoría de los teólogos católicos y protestantes una visión de la fe cristiana que no es incompatible con la evolución y, en términos más generales, con la ciencia. Más recientemente (en octubre de 1996), el Papa Juan Pablo II ha declarado que "la teoría de la evolución es más que una hipótesis. Es... generalmente aceptada por los científicos, como consecuencia de una serie de descubrimientos en campos muy diversos del conocimiento".

### Selección natural y evolución

El argumento central de la teoría de la selección natural es resumido por Darwin en *El Origen de las Especies* como sigue:

"Dado que se producen más individuos de los que posiblemente pueden sobrevivir, debe haber en cada caso una lucha por la existencia, bien de



un individuo con otro de la misma especie, o con los individuos de especies distintas, o con las condiciones físicas de la vida. (...) ¿Puede, entonces, considerarse improbable, viendo que han ocurrido variaciones indudablemente útiles para el hombre, que otras variaciones útiles en alguna forma para cada ser en la grande y compleja batalla por la vida, habrán ocurrido a veces en el curso de miles de generaciones? Si tales ocurren de hecho, ¿podemos dudar (recordando que nacen más individuos de los que pueden sobrevivir) que los individuos que tienen alguna ventaja sobre los otros, como quiera que sea de tenue, tendrían mejor oportunidad de sobrevivir y de procrear su naturaleza? Por otra parte, podemos estar seguros de que cualquier variación perjudicial, por pequeña que sea, será rígidamente destruida. Esta preservación de las variaciones favorables y rechazo de las variaciones perjudiciales es lo que llamo Selección Natural."

El argumento de Darwin se dirige a explicar el carácter adaptativo de los organismos. Darwin sostiene que las variaciones adaptativas ("variaciones útiles en alguna forma para cada ser") ocasionalmente aparecen y que éstas son propensas a aumentar las posibilidades reproductivas de sus portadores. Las variaciones favorables serán preservadas a lo largo de las generaciones y las perjudiciales serán eliminadas. En un lugar, Darwin agrega: "No puedo ver límite alguno a este poder (la selección natural) de adaptar lenta y hermosamente cada forma a las más complejas relaciones de la vida".

La selección natural fue propuesta por Darwin para dar cuenta de la organización adaptativa, o "diseño", de los seres vivos; es un proceso que promueve o mantiene la adaptación. El cambio evolutivo a través del tiempo y la diversificación evolutiva (multiplicación de especies) no son directamente promovidas por la selección natural (por ello, el así llamado "estancamiento evolutivo", los numerosos ejemplos de organismos con una morfología que ha cambiado poco, si ha cambiado, en millones de años, como lo han señalado los proponentes de la teoría del equilibrio puntuado). Pero el cambio y la diversificación frecuentemente sobrevienen como subproductos de la selección natural que está simplemente favoreciendo la adaptación.

La formulación moderna del principio de selección natural se hace en términos genéticos y estadísticos, como "reproducción diferencial". La selección natural implica que unos genes y combinaciones genéticas son transmitidos a las siguientes generaciones de promedio más frecuentemente que los alternativos. Las unidades genéticas favorecidas se harán pues, más comunes en cada generación subsiguiente y sus alternativas menos

comunes. La selección natural es simplemente una tendencia estadística en la tasa relativa de reproducción de unidades genéticas alternativas.

La selección natural es capaz de generar novedades al incrementar la probabilidad de combinaciones genéticas que de lo contrario serían extremadamente improbables. La selección natural es así, en cierta forma, creativa. Produce combinaciones genéticas adaptativas que de lo contrario no habrían existido.

El papel creativo de la selección natural no debe ser entendido en el sentido de la creación "absoluta" que la teología cristiana tradicional predica del acto Divino por el cual el universo fue traído al ser *ex nihilo*. La selección natural podría más bien ser comparada con un pintor que crea una pintura mezclando y distribuyendo pigmentos sobre el lienzo. El lienzo y los pigmentos no son creados por el artista pero la pintura sí. Es concebible que una combinación aleatoria de los pigmentos pudiera resultar en el todo ordenado que es el producto final del arte. Pero la probabilidad de que el Juan de Pareja de Velázquez resulte de una combinación aleatoria de pigmentos es infinitamente pequeña. De la misma forma, la combinación de unidades genéticas responsables de la formación del ojo humano nunca habría llegado a existir por un proceso aleatorio, como la mutación. Ni siquiera si tenemos en cuenta los tres o cuatro mil millones de años durante los cuales la vida ha existido en la Tierra. La complicada anatomía del ojo como el exacto funcionamiento del riñón, son el resultado de un proceso no-aleatorio, la selección natural.

### Azar y necesidad

El proceso de la selección natural explica la diversidad y la evolución de los organismos como una consecuencia de su adaptación a las variadas y siempre cambiantes condiciones de vida. Los registros fósiles muestran que la vida ha evolucionado en una forma fortuita. Las radiaciones, expansiones, relevos de una forma por otra, giros ocasionales pero irregulares y las siempre presentes extinciones son mejor explicadas por la selección natural, sujeta al capricho de la mutación genética y al reto ambiental. La explicación científica de estos eventos no necesita recurrir a un plan preordenado por un diseñador omnisciente y todo poderoso, o ser el resultado de alguna fuerza immanente, que dirige el proceso hacia resultados definitivos. La evolución biológica se diferencia de una pintura o de un artefacto en que es un proceso

natural no el resultado de un diseño preconcebido por un artista o un artesano.

La selección natural da cuenta del "diseño" de los organismos, porque las variaciones adaptativas son precisamente aquéllas que tienden a incrementar la probabilidad de supervivencia y reproducción de sus portadores, a costa de

variaciones maladaptativas, o menos adaptativas. Los argumentos de Paley, contra la increíble improbabilidad de la explicación por azar del origen de los organismos, son razonables en su contexto. Pero Paley, como otros autores antes de Darwin, no fue capaz de discernir que hay un proceso natural (la selección natural) que no es aleatorio, sino más bien orientado (hacia la adaptación) y capaz por ello de generar orden o "crear". Las características que los organismos adquieren en su historia

evolutiva no son fortuitas, sino determinadas por su utilidad para los organismos en que existen.

El azar es, no obstante, una parte integral del proceso evolutivo. Las mutaciones, que producen las variaciones hereditarias disponibles para la selección natural, aparecen al azar, independientemente de si son benéficas o no para sus portadores. Pero este proceso aleatorio (así como otros que vienen a actuar en el gran teatro de la vida) es contrarrestado por la selección natural, la cual preserva lo que es útil y elimina lo perjudicial. Sin mutación, la evolución no podría ocurrir porque no habría variaciones que pudieran ser diferencialmente transmitidas de una generación a otra. Pero sin selección natural, el proceso de mutación produciría desorganización y extinción, porque la mayoría de las mutaciones son desventajosas. Mutación y selección han llevado conjuntamente al maravilloso proceso que empezando desde organismos microscópicos ha resultado en las orquídeas, las aves y los seres humanos.

La teoría de la evolución manifiesta el azar y la necesidad conjuntamente imbricados en la sustancia de la vida; casualidad y determinismo se entrelazan en un proceso natural que ha producido las más complejas, diversas y hermosas entidades en el universo: los organismos que pueblan la tierra, incluyendo a los seres humanos que piensan y aman, dotados de libre albedrío y poderes creativos, y capaces de analizar el proceso de evolución mismo que los trajo a la existencia. Este es el descubrimiento fundamental de Darwin, que hay un proceso que es creativo aunque no es consciente. Esta es la revolución conceptual que Darwin completó: que todo en la naturaleza, incluyendo el origen de los organismos, puede ser

**La selección  
natural es así,  
en cierta forma,  
creativa.**

---

---

## La creación u origen del universo envuelve una transición de la nada al ser.

explicado como el resultado de procesos naturales gobernados por leyes naturales. Esto no es nada menos que una visión fundamental que ha cambiado para siempre la forma en que la humanidad se concibe a sí misma y a su lugar en el universo.

El postulado de Paley, de que el diseño de los seres vivos revela la existencia de un Diseñador, fue revelado como erróneo por el descubrimiento de Darwin del proceso de selección natural, justo como la explicación pre-copernicana del movimiento de los cuerpos celestes (y el argumento de la existencia de Dios basado en el motor inmóvil) fue mostrada como errónea por los descubrimientos de Copérnico, Galileo y Newton. No hay más razón para considerar anticristiana a la teoría de Darwin de la evolución y la explicación del diseño, que para considerar anticristianas las leyes de Newton del movimiento físico. Quienes están interesados en ello deben, pues, buscar evidencia de la acción divina en el universo de manera distinta de la de Paley, que no sea simplemente un subterfugio para llenar vacíos en la explicación científica del universo.

Las revoluciones copernicana y darwiniana conjuntamente han convertido a todos los objetos naturales y procesos en materias de investigación científica. ¿Hay alguna cuestión importante que quede fuera de la posibilidad de explicar científicamente los fenómenos naturales? Yo creo que la hay, a saber, el origen del universo. La creación u origen del universo envuelve una transición de la nada al ser. Pero una transición puede ser investigada científicamente solamente si se tiene algún conocimiento acerca de los estados o entidades en ambos lados de la frontera. Sin embargo, la nada, no es materia de comprensión o investigación científica. Por lo tanto, en lo que concierne a la ciencia, el origen del universo será para siempre un misterio.

### Ciencia, Arte y Religión

La ciencia es una forma maravillosamente poderosa de conocer. La ciencia busca explicaciones del mundo natural por medio de la formulación de hipótesis, que están sujetas a la posibilidad de falsación o corroboración empírica. Una hipótesis científica es probada cerciorándose si las predicciones acerca del mundo de la experiencia, derivadas como consecuencias lógicas de la hipótesis, concuerdan o no con lo que es hecho observado.

La ciencia como un modo de investigación de la naturaleza del universo ha tenido gran éxito y producido grandes resultados. Este éxito se

manifiesta en la proliferación de departamentos académicos de ciencia en las universidades y otras instituciones de investigación, los enormes presupuestos que el cuerpo político y el sector privado están dispuestos a comprometer en la investigación científica, y en el impacto económico de la ciencia a través de la tecnología que de ella emana. La Oficina de Administración y Presupuesto (OMB) del gobierno de los Estados Unidos ha estimado que el cincuenta por ciento de todo el crecimiento económico en los Estados Unidos desde la segunda guerra mundial puede ser atribuido directamente al conocimiento científico y a los avances técnicos. La tecnología derivada del conocimiento científico penetra completamente la vida moderna: los rascacielos de nuestras ciudades, las autopistas y grandes puentes, los cohetes que llevan al hombre a la luna, los teléfonos que nos brindan comunicación instantánea a través de los continentes, las computadoras que realizan complejos cálculos en millonésimas de segundo, las vacunas y medicamentos que mantienen las bacterias a raya, las terapias genéticas que reemplazan el ADN en células defectuosas. Todos estos avances destacados atestiguan la validez del conocimiento científico del cual se originan.

El conocimiento científico es destacable también por la forma en que emerge a través del consenso y acuerdo entre los científicos y por la forma en que nuevos conocimientos dependen de los logros pasados, sin tener que empezar nuevamente en cada generación o con cada nuevo científico. Ciertamente, se dan desacuerdos entre los científicos en muchas materias; pero se trata de asuntos aún no establecidos y



El Guernica de Pablo Picasso.

los puntos de desacuerdo generalmente no ponen en cuestión los conocimientos previos. Los científicos modernos no ponen en tela de juicio que los átomos existan, o que haya un universo con millones de estrellas, o que la herencia esté encapsulada en el ADN.

La ciencia es una forma existosa de conocer, pero no es la única forma. El conocimiento también se deriva de otras fuentes, tales como el sentido común, la experiencia artística y religiosa y la reflexión filosófica. En *El Mito de Sísifo*, el gran escritor francés Albert Camus afirmó que aprendemos más sobre nosotros mismos y el significado del universo a través de una contemplación vespertina del cielo estrellado perfumada por el aroma de la hierba, que a través de las aproximaciones reduccionistas de la ciencia. La validez del conocimiento adquirido por modos no científicos de investigación puede ser simplemente establecida señalando que la ciencia (en el sentido moderno de leyes y teorías empíricamente probadas) se remonta al siglo dieciséis, pero la humanidad por siglos había construido ciudades y carreteras, creado instituciones políticas y sofisticados códigos legales, desarrollado profundas filosofías y sistemas de valores y creado obras magníficas de arte, así como música y literatura. De todas estas maneras aprendemos sobre nosotros mismos y sobre el mundo en el que vivimos y nos beneficiamos de los productos de este conocimiento no-científico. Las plantas que cosechamos y los animales que domesticamos, emergieron milenios antes de que la ciencia apareciera, de prácticas inventadas por campesinos en el medio oriente, las sierras andinas y los altiplanos mayas.

No es mi intención en la sección final de este ensayo extenderme sobre los extraordinarios frutos de los modos no-científicos del conocimiento. Pero he propuesto anteriormente una visión de la realidad en la que nada en el mundo de la naturaleza escapa al conocimiento científico y he arguido que debemos esta universalidad a la revolución de Darwin. Ahora quiero simplemente añadir algo que es obvio, pero a veces es

oscurecido por la arrogancia de algunos científicos. Exitosa como es, y universalmente envolvente como lo es su materia, la visión científica del mundo será siempre incompleta. Cuestiones sobre el valor y el significado de las cosas y de las personas están fuera del alcance de la ciencia. Incluso cuando conseguimos una comprensión científica satisfactoria de un objeto o un proceso natural, quedan fuera de tal comprensión ciertas cuestiones que pueden considerarse de igual o mayor importancia. El conocimiento científico puede enriquecer las percepciones estéticas y morales e iluminar el significado de la vida y el universo, pero son éstas cuestiones las que están fuera del alcance de la ciencia.

El 28 de abril de 1937, en los albores de la Guerra Civil Española, los aviones nazis bombardearon el pequeño poblado vasco de Guernica, la primera vez que una población civil había sido deliberadamente destruida desde el aire. El pintor español Pablo Picasso había sido recientemente comisionado por el gobierno de la República de España para pintar una gran composición para el pabellón español en la Exposición Mundial de París de 1937. En un frenesí de energía, el enfurecido Picasso esbozó en dos días, y completó en diez más, el bosquejo de su famoso Guernica, una inmensa pintura de 7.70 por 3.50 metros. Supongamos que ahora describiera las imágenes presentadas en el cuadro, sus tamaños y posiciones, así como los pigmentos usados y la materia del lienzo. Esta descripción sería interesante, pero difícilmente sería satisfactoria para entender el cuadro, si hubiera omitido completamente el análisis estético y consideraciones sobre su significado: el dramático mensaje de la inhumanidad del hombre con el hombre, expresado en la alargada figura de la madre arrastrando a su hijo muerto, en las caras desgarradas, en el caballo herido, o en la imagen satánica del toro.

Dejemos que el Guernica sirva de metáfora del punto final en el que quiero insistir. El conocimiento científico, al igual que la descripción del tamaño, los materiales y la geometría del Guernica, es satisfactorio y útil. Pero una vez que la ciencia ha dicho lo suyo, quedan aún dimensiones de la realidad que son de tanto o más interés, cuestiones sobre los valores y el significado de la realidad, que están por siempre más allá del alcance de la ciencia.

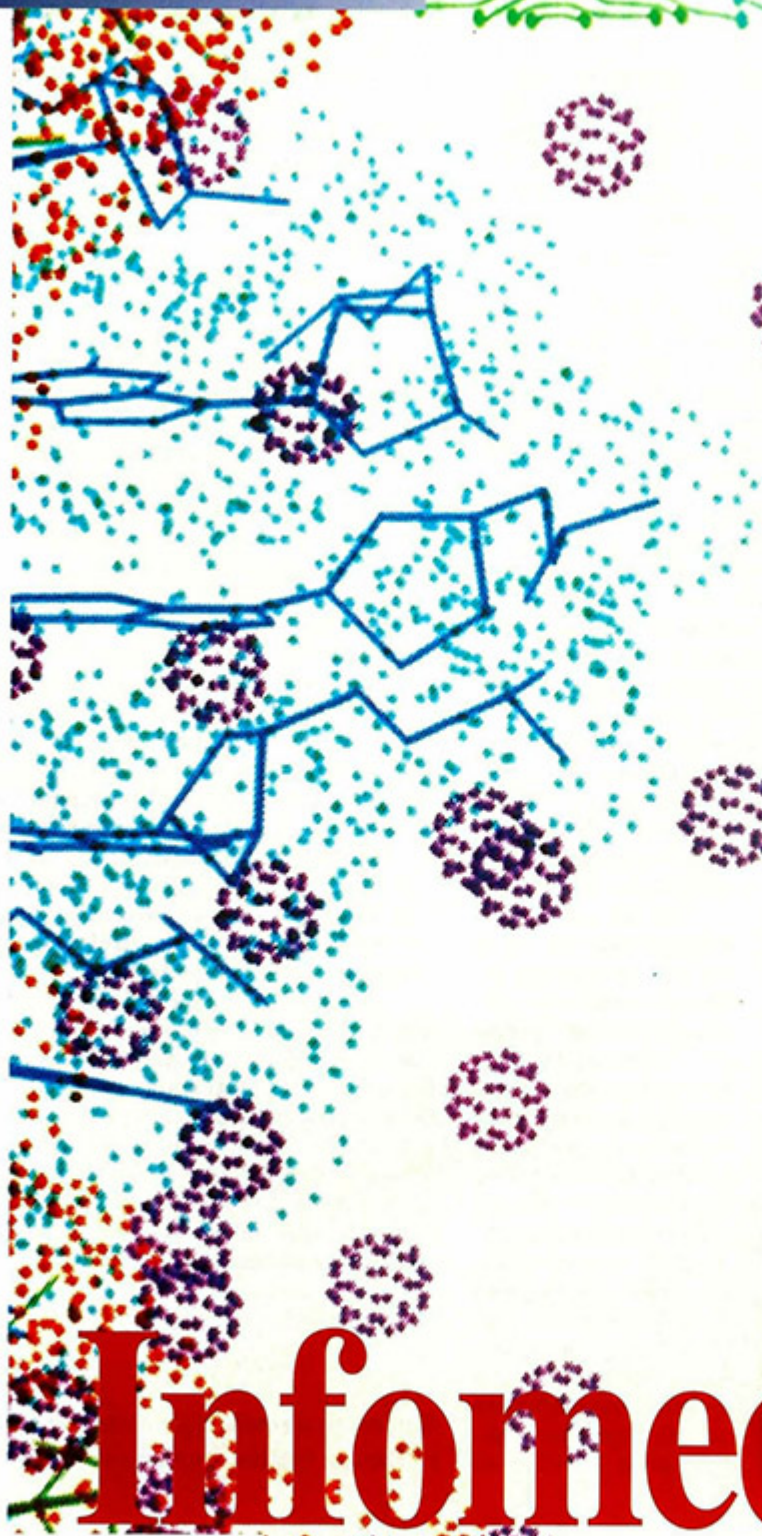


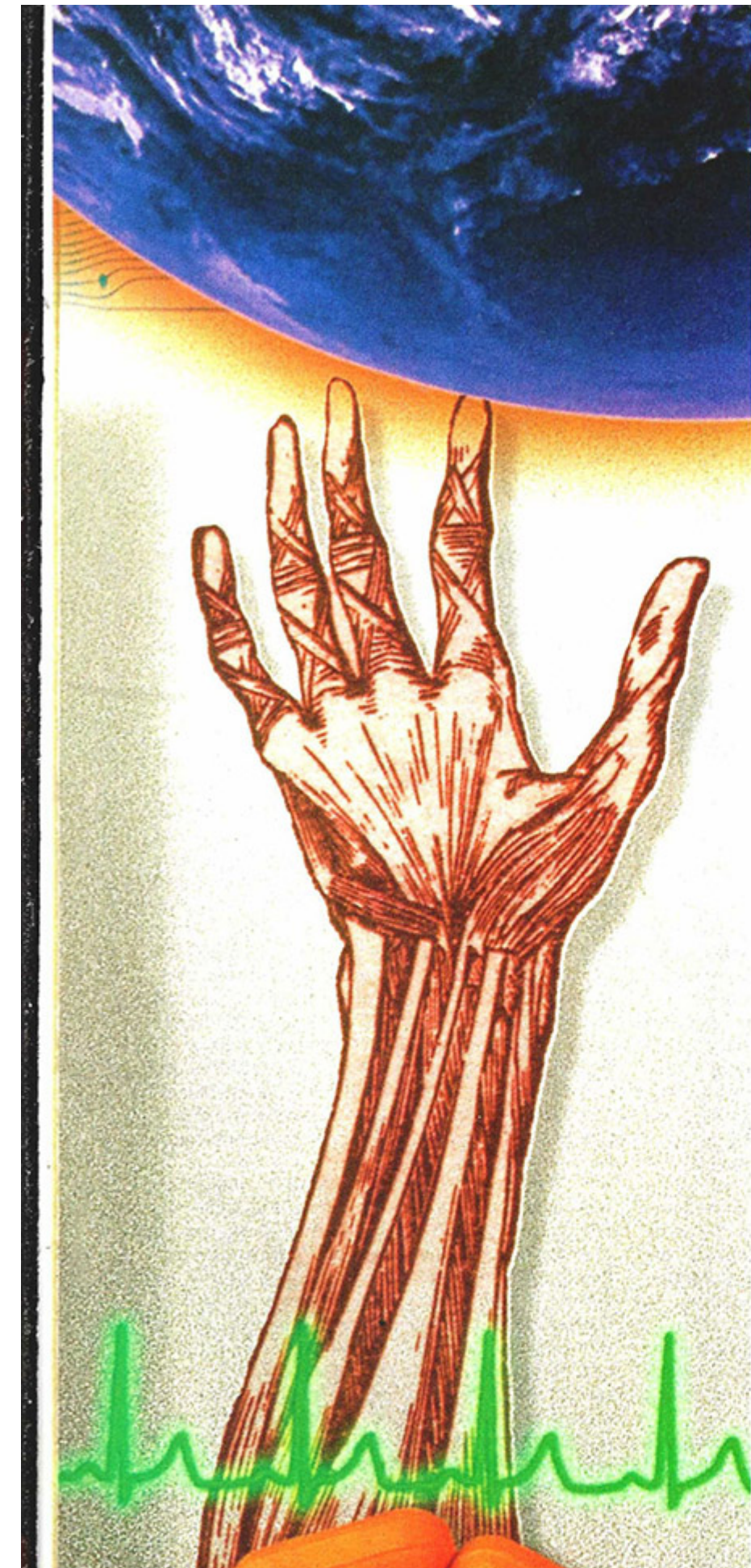
(Este artículo fue escrito originalmente en inglés para Innovación y Ciencia por Francisco J. Ayala y traducido por William Duica.)



**El nuevo paradigma**

**Infomedicina**





**José Félix Patiño, MD, FACS (Hon)**  
Jefe Honorario, Departamento de Cirugía,  
Fundación Santa Fe de Bogotá.  
Director Ejecutivo, Recursos Educativos,  
Federación Panamericana de Asociaciones  
de Facultades (Escuelas) de Medicina.  
Presidente, Academia Nacional de Medicina  
de Colombia.  
Santa Fe de Bogotá, Colombia.  
e-mail: [jpatino@fepafem-bogota.org](mailto:jpatino@fepafem-bogota.org)

### Medicina: el arte y la ciencia

**L**o más sobresaliente de la evolución histórica de la medicina en el siglo XX es su vertiginoso avance para convertirse en una nueva ciencia.

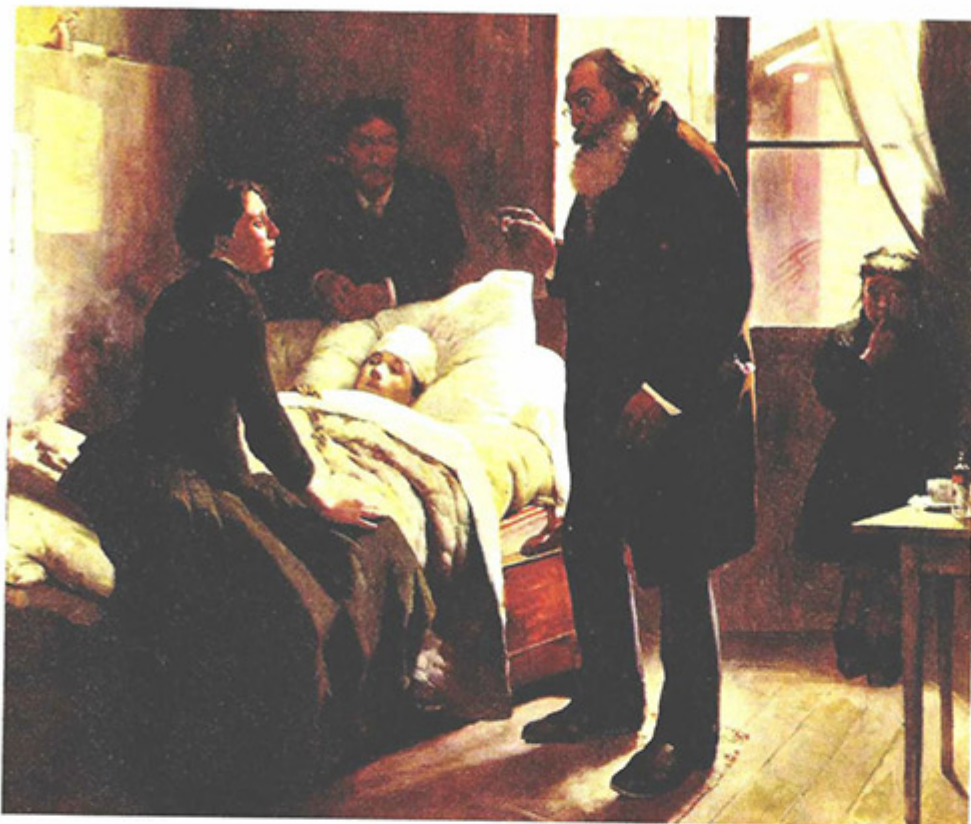
La medicina de finales del siglo XX es una verdadera ciencia, *La más joven de las ciencias*, como titula Lewis Thomas en su conocido libro<sup>1</sup>, o, en palabras de René Dubos, "...la más rica expresión de la ciencia, por cuanto se refiere a todos los diversos aspectos de la humanidad del hombre".

¿Qué se entiende por ciencia? La siguiente es la definición que aparece en el Diccionario de la Real Academia Española en la edición de 1992:

**CIENCIA:** (del lat. *scientia*). Conocimiento cierto de las cosas por sus principios y causas. Cuerpo de doctrina metódicamente formado y ordenado, que constituye un ramo particular del saber humano. Saber o erudición. Habilidad, maestría, conjunto de conocimientos...

En esta definición va implícito el concepto del conocimiento, el saber y la erudición, con apoyo en la comprobación por el método de la experimentación, la observación metódica y la investigación<sup>2</sup>.

¿Y qué se entiende por arte? Dice el Diccionario de la Real Academia: **ARTE:** (del lat. *ars*,



**Figura 1.** "El niño enfermo", cuadro por Arturo Michelena, pintor venezolano nacido en Valencia el 16 de junio de 1863 y muerto en Caracas el 29 de julio de 1898. El óleo se encuentra en el Museo de Bellas Artes de Caracas. Fue expuesto en París en el Salón de 1887, y le valió a Michelena la distinción fuera de concurso de la sociedad de Artistas Franceses. Tomado de: Calzadilla J. Michelena. Caracas: Ernesto Armitano editor, 1973.

artis). Virtud, disposición y habilidad para hacer alguna cosa... Conjunto de preceptos y reglas necesarios para hacer bien alguna cosa...

Hipócrates se refirió a la medicina como un arte. Hoy la naturaleza de la medicina como ciencia no da lugar a controversia, porque universalmente se acepta este concepto como algo esencial y primario en ella. Sin embargo, algunos como Scheiber describen la medicina como el "arte de derivar conclusiones útiles a partir de evidencia inadecuada"<sup>3</sup>. El arte de la medicina comprende las cualidades humanas que determinan la efectividad de la ciencia médica, y nadie niega que la dedicación y la compasión, las cualidades primarias del médico, no pueden fundamentarse exclusivamente en ciencia; se puede argumentar, convincentemente, que los logros de la ciencia llegan a ser útiles para el ser humano sólo cuando se aplican en forma efectiva, lo cual exige las cualidades que conocemos como el arte de la medicina.

Del médico compasivo y bondadoso, de profunda sensibilidad social, de aquella figura de finales del siglo XIX que Arturo Michelena capturó en un cuadro inmortal (figura 1), en el curso

de un siglo pasamos al médico científico y dependiente de la tecnología de la actualidad.

El médico del cuadro de Michelena poseía escaso conocimiento sobre los mecanismos de la enfermedad, su juicio clínico era fundamentalmente intuitivo o basado en experiencias anecdóticas, actuaba con una enorme dosis de sentido común y se guiaba mucho por la "experiencia" de los maestros. Su papel era fundamentalmente el de aliviar, consolar y dar soporte emocional, por cuanto carecía de instrumentos terapéuticos que pudieran curar una enfermedad, cualquier enfermedad. Ejercía "el arte de la medicina" como una tarea humanitaria.

El médico científico y dependiente de la tecnología de finales del siglo XX guarda la

misma vocación humanitaria de servicio, aunque acosado por el tiempo no le es posible mantener esa íntima relación personal con el paciente que tuvo el médico de antaño. Pero su conocimiento de los mecanismos de la enfermedad es profundo, tanto en el nivel macroscópico como microscópico y, ahora, molecular. En efecto, su medicina es la medicina científica, la medicina molecular, la que hace a un lado el instinto y la experiencia anecdótica para aceptar solamente la evidencia originada en investigación sistematizada y en ensayos clínicos prospectivos y controlados. Es la medicina basada en la evidencia, la que permite un razonamiento médico exacto, la que puede determinar pronóstico con base en alta probabilidad estadística.

La bioquímica celular y ahora la biología en sus niveles moleculares y submoleculares, han surgido como un nuevo y sobrecogedor campo que gobierna la ciencia médica. Phillip Applewhite de la Universidad de Yale, en Estados Unidos, se refiere a "los dioses moleculares", al señalar como la biología molecular significa algo que va más allá de la simple estructura o la función orgánica, para determinar hasta el mismo comportamiento del ser humano: "nuestro comportamiento es controlado por moléculas, y por nada más... estas moléculas actúan como dioses, por así decir, gobernándonos aún más de lo que podemos imaginar... nuestro comportamiento se debe más a los eventos moleculares que ocurren

en nuestro interior que a los eventos que tienen lugar en nuestro alrededor"<sup>4</sup>.

La confluencia de la química y la biofísica en la biología molecular marcan la aparición de la nueva biología, lo cual establece, como lo dice E. Otero Ruiz<sup>5</sup>, que estamos avanzando a pasos agigantados hacia una revolución intermolecular y muy posiblemente interatómica de los fenómenos biológicos.

### El octavo día de la creación

El año 1953 marca un hito en la historia de las ciencias de la vida. En el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge, en Inglaterra, el norteamericano James D. Watson y el británico Francis Crick logran dilucidar la estructura molecular del ADN (figura 2). El trascendental descubrimiento les valdría, junto con Maurice Wilkins, el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1962.

El descubrimiento de la estructura del ADN dio origen a un explosivo avance de la biología y al nacimiento de una nueva biología, la **biología molecular**, lo cual vino a representar toda una novel y profunda comprensión de las bases de la vida misma y de los mecanismos íntimos de la enfermedad.

No menos que prodigioso puede denominarse el desarrollo de la biotecnología a partir del descubrimiento de Watson y Crick, el cual ha sido justamente denominado "El octavo día de la creación" por Horace Freeland Judson<sup>6</sup> en su



Figura 2. James D. Watson y Francis Crick al lado del modelo de la doble hélice del ADN.

libro sobre los gestores de la revolución biológica de la segunda mitad del siglo XX.

Nos aproximamos a la sobrecogedora posibilidad, con profundas implicaciones éticas y legales, de que la manipulación del genoma permita la modificación, y el desarrollo genético de la raza humana. M. Gómez Vila se refiere a la nueva genética ante el derecho en su monografía *Biojurídica*<sup>7</sup>.

### Biomedicina, ciencia biomédica

La nueva biología, la "biología molecular", significó un nuevo y voluminoso cuerpo de conocimientos, pero, ante todo, una nueva concepción de la ciencia médica: la **biomedicina**, la ciencia biomédica. Hasta entonces las ciencias de la vida se habían ocupado de los fenómenos orgánicos que podríamos llamar macroscópicos. Ahora se ingresa al interior de la célula para considerar los mecanismos fundamentales de las reacciones vitales, los mecanismos moleculares de la vida y la enfermedad.

Conceptualmente, con ello nació la medicina molecular y se estructuró un nuevo paradigma sobre el triunfo de las ciencias biológicas, que reinó durante la segunda mitad del siglo XX: la **biomedicina**.

La biomedicina es distintiva del mundo occidental; es la medicina que excluye toda alternativa terapéutica que no tenga comprobación científica, "es la medicina de los creadores de conocimientos (investigadores, autores de libros y profesores) y de las instituciones sanitarias de alta tecnología, los hospitales académicos que dominan la asistencia y la enseñanza. Ellos representan, hoy, el paradigma de la profesión médica"<sup>8</sup>.

Tal proceso, el de la transición del **arte de la medicina** a la **ciencia médica** y luego de la **ciencia biomédica**, a la **biomedicina**, significó una verdadera revolución científica.

### La medicina social: sociomedicina

Según Sigerist<sup>9</sup>, la medicina debe ser vista como una respuesta y un reflejo de la necesidad social, o sea que siempre tiene una implicación de servicio. Considerada generalmente como ciencia natural o biológica, también posee importantes componentes de ciencia social, porque su objetivo es social. Al efectuar un tratamiento, el médico utiliza instrumentos y métodos derivados de las ciencias exactas y naturales, pero siempre orientado hacia un propósito social.

El propósito de la medicina se define en el marco de una permanente actitud de servir y ayudar. Fundamentada en un conocimiento ínti-

**La segunda  
revolución  
médica: de la  
biomedicina a la  
infomedicina,  
es ya una  
realidad.**

mo de la naturaleza de la vida y la enfermedad, la medicina provee los instrumentos intelectuales y materiales necesarios para atender al individuo o a la sociedad enfermos. Esto, evidentemente, es un propósito social<sup>10</sup>.

De lo anterior nació el concepto de la **sociomedicina**, que se tradujo en amplios programas de medicina comunitaria y familiar, y que al lado de la biomedicina gobernaron la conceptualización de la práctica y la enseñanza de la profesión en buena parte de la segunda mitad del siglo XX.

### De la biomedicina a la infomedicina

En 1987, en pleno apogeo de la ciencia biomédica, Laurence Foss y Kenneth Rothenberg<sup>11</sup> publican el libro *La segunda revolución médica: de la biomedicina a la infomedicina*. Los autores proponen la nueva transición con base en una consideración cibernética de la persona humana más allá del dualismo de cuerpo y mente de René Descartes, como un sistema

biopsicosocial organizado, y la aplicación de la teoría de los sistemas y su visión de los niveles de organización, o sea de complejidad, que determinan no sólo la estructura y función del cuerpo humano sino también su estado de bienestar o de enfermedad.

El paso de la concepción biomédica a una concepción infomédica significa un cambio paradigmático, en el sentido kuhniano<sup>12</sup>, una variación de una estrategia de ingeniería biológica a una estrategia claramente cibernética, de un modelo de ingeniería celular a un modelo de comunicaciones, a un modelo informático.

La informática, o sea la ciencia y la tecnología del manejo de la información, con su avance acelerado representa para la ciencia biomédica un nuevo y esplendoroso panorama, que lleva a reconocer

que *La segunda revolución médica: de la biomedicina a la infomedicina*, planteada por Foss y Rothenberg con un significado cibernético biológico-social, es ya una realidad. Para estos autores la información es entendida en su sentido etimológico, como un agente activo, como algo que "informa" al mundo material. Informar significa formar y conformar: los mensajes emanados de un nivel de organización son habilitados para reformar y para ser reformados por mensajes provenientes de otro nivel de organización.

El vocablo **infomedicina** adquiere un significado mayor al considerar la perpetuación de la vida y la evolución de las especies en términos de lo que Jacques Monod, del Instituto Pasteur, Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1965, denomina la "teleonomía", que es la transmisión, de una generación a otra, de la información genética, que asegura la conservación de las características de cada especie. "El contenido de invariancia de una especie dada es igual a la cantidad de información que, transmitida de una generación a otra, asegura la conservación de la norma estructural específica"<sup>13</sup>. En el planteamiento de Monod, la estructura y la capacidad funcional corresponden a una cierta cantidad de información, que denomina "información teleonómica", la cual debe ser transferida para lograr la realización de la estructura o para el cumplimiento de la función. Por consiguiente, son el **nivel teleonómico** de una especie y el **contenido de la invariancia** los factores que determinan la conservación de las especies. En la concepción de Monod, la teoría del código genético es la base fundamental de la biología y constituye una teoría general de los sistemas vivos.

El arrollador avance de las comunicaciones, un fenómeno característico del siglo XX, ha hecho que nuestra época sea llamada la **era de la información** o **era de la informática**.

En medicina es particularmente notoria y tiene especial pertinencia la revolución de la información, puesto que el ejercicio de la profesión médica no es sino un ejercicio en el manejo de la información. La medicina, que se ejerce sobre la infraestructura de los servicios de salud, los cuales en esencia son sistemas de información, viene a depender fundamentalmente de la información y de la tecnología de la información, o sea, de la informática.

La informática pasó a convertirse no sólo en un instrumento indispensable para el buen ejercicio profesional y para la investigación científica, sino también en un poderoso amplificador intelectual y humanístico, en la misma forma que el automóvil y el avión son amplificadores de la capacidad de locomoción. La aplicación de la teoría de la decisión y la teoría de la información a la práctica clínica nos lleva rápidamente a una toma de decisiones basada en la evidencia y ayudada por la informática, a una medicina formalizada, una medicina condicionada por el computador<sup>8</sup>. Evidentemente esto significa una nueva cultura, un nuevo humanismo, la cultura y el humanismo de la era de la información<sup>14</sup>.

Infomedicina significa el paso de la concepción de la persona humana en términos cartesianos como mente y cuerpo biológico, a contemplarla como un sistema organizado, como

un ente cibernético-biológico-social. Pero al considerar tal planteamiento a la luz de la revolución de las comunicaciones, en plena era de la información, el término **infomedicina** alcanza su plena dimensión.

### Reconceptualización de la salud

El médico tiene que ver con dos dimensiones de la condición humana: la *duración* de la vida y la *calidad* de la misma<sup>14</sup>.

Los seres humanos poseen una expectativa de vida dependiente de los patrones de mortalidad predominantes en las respectivas regiones. Así, la pirámide de población varía sustancialmente entre la de una sociedad subdesarrollada, donde las enfermedades de la pobreza son causa

ticamente todos, morirán al sobrepasar los noventa años.

Esto quiere decir que las curvas de supervivencia de las sociedades desarrolladas registran un cambio fundamental en lo que va corrido del siglo, como se aprecia en la **figura 3** de J.F. Fries<sup>16</sup>. Después de los setenta años de edad, las personas "tienen" que morir por causa del cáncer, la aterosclerosis, la diabetes y las enfermedades crónicas y degenerativas.

Estas entidades causan también severa morbilidad, que se traduce en incapacidad física y mental. Lograr la cura de una de ellas, por ejemplo del cáncer, sólo resultaría en que más personas morirían por una de las otras causas, el fenómeno que se conoce como de los "riesgos competitivos". Y aún si se lograra la curación de las tres grandes enfermedades de la edad avanzada, el cáncer, la diabetes y la aterosclerosis, también todos morirían, al sobrepasar los noventa años, de "muerte natural", por cuanto la duración de la vida está genéticamente determinada.

Como se observa en la **figura 4**, también de Fries, las muertes naturales se producen entre los setenta y cinco y los noventa años. Después de los noventa años, ya muy pocos mueren, por cuanto quedan muy pocos para morir.

Al haber eliminado la medicina las muertes prematuras, se alcanzó la longevidad para vastos sectores de la población. Pero con ello se ha sobrecargado a las gentes con morbilidad resultante de las enfermedades crónicas y degenerativas, e incapacidad física y mental, el producto de la pérdida de función orgánica<sup>17</sup>.

Fries ha señalado que la longevidad significa un prolongado período de "senescencia", de disminución del vigor físico y de la capacidad

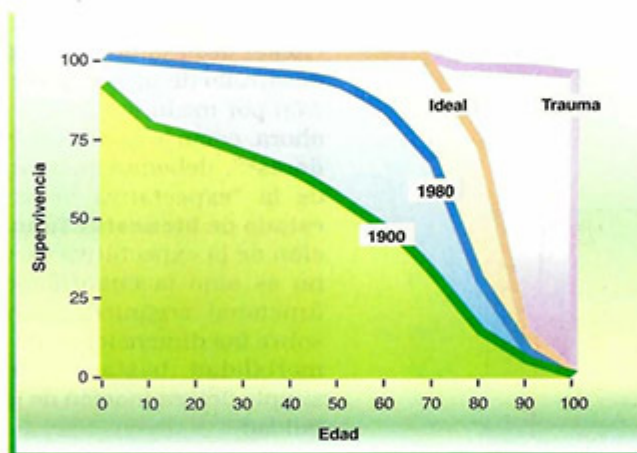
de mortalidad infantil y de mortalidad prematura en la población adulta productiva, y la de las sociedades industrializadas, donde la pirámide se convierte más bien en un rectángulo, por cuanto las causas de muerte prematura son escasas: sólo se registran las "muertes inevitables", principalmente representadas por los accidentes, el homicidio y el suicidio.

En ambos casos, tanto en la sociedad subdesarrollada como en la industrializada, la duración natural de la vida está genéticamente determinada y las personas que alcanzan los setenta años empiezan a morir por cáncer, diabetes y enfermedades degenerativas y todos, prác-

intelectual, antes de la muerte obligatoria. Lograr la conservación del vigor físico y la capacidad intelectual en las edades avanzadas, significaría una compresión del período de "senescencia", o sea una compresión de la morbilidad. Parece evidente que ahora la preocupación y el propósito de la medicina, cuando ha logrado resolver las causas de muerte prematura durante la edad adulta, ya no deben ser tanto el control de la *mortalidad* sino la reducción de la *morbilidad*.

Pero los médicos, siempre preocupados por controlar la mortalidad, poco han hecho por reducir la morbilidad, o sea por preservar la

**Figura 3.** La gráfica de la supervivencia adquiere un tipo rectangular en la medida que las causas de muerte que afectaban a las poblaciones en 1900 son eliminadas, y más gente sobrevive más tiempo. En 1980 la curva de supervivencia es bien distinta a la de 1900, pero todavía difiere de la "curva ideal" (Modificado de J. F. Fries, *Aging, natural death, and the compression of morbidity*. *N Engl. J. Med.* 303: 130, 1980).

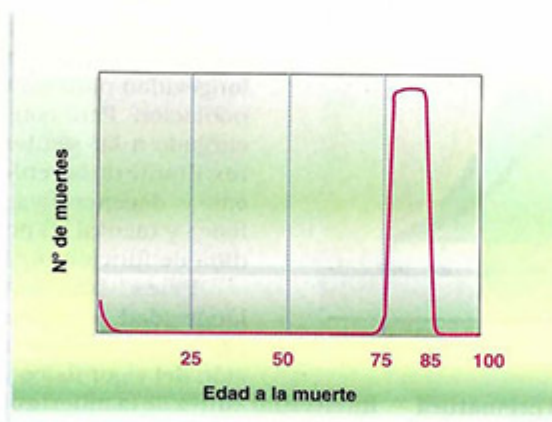


calidad de la vida, el vigor físico y mental en la edad avanzada.

Se estima que para el año 2.000 se habrá duplicado el número de personas mayores de sesenta y cinco años; el 50% de las consultas médicas será de personas que superan esta edad, y el número de los mayores de ochenta y cuatro años se incrementará a razón de 50% por decenio.

Los países en vías de desarrollo, en la medida que superen los estándares de vida e impongan adecuados programas de inmunización y de mejoramiento del ambiente, lograrán controlar las llamadas "enfermedades de la pobreza", o sea las enfermedades infecciosas y la desnutrición principalmente. Esto habrá de resultar en un incremento en la expectativa de vida, un fenómeno que ya es aparente en nuestro propio medio. Pero entonces, los grupos de población con mayor longevidad sufrirán las enfermedades crónicas degenerativas de la vejez, lo cual significa un incremento de la morbilidad.

■ **Figura 4.** Mortalidad por edad en ausencia de muertes prematuras. La mayor parte de la gente sobrevive hasta los setenta y cinco años; aquí el número de muertes asciende en forma drástica, y luego disminuye, también en forma drástica, simplemente porque quedan menos personas para morir (Modificado de J. F. Fries. *Aging, natural death, and the compression of morbidity*. *N Engl. J. Med.* 303: 130, 1980).



Según la celebrada frase de John F. Kennedy, "habiendo dado años a la vida, ahora nos corresponde dar vida a los años".

Esto ha llevado a la necesidad de una reconceptualización de la salud. Alvin R. Tarlov<sup>18</sup> de la Universidad de Tufts, se ha referido al tema y plantea la redefinición de la salud, actualizando la definición original de la Organización Mundial de la Salud, que tiene más de cincuenta años, y que es de carácter cualitativo, para

concebir la salud como "una capacidad individual o colectiva relativa a la habilidad para funcionar totalmente en el entorno social y físico". O sea, una definición más cuantitativa del estado de salud en términos de función orgánica, que es el factor determinante de tal capacidad.

Jean-Francois Malherbe<sup>19</sup>, teólogo y filósofo de la Universidad de Lovaina, en Bélgica, en su obra *Hacia una ética de la medicina*, desarrolla una argumentación similar, pero en términos de la **autonomía** como un derecho inalienable y cita a Georges Canguilhem para considerar la dimensión orgánica de la existencia humana: se pregunta cómo se define el concepto salud y enfermedad, y plantea la salud concebida como la posibilidad de que dispone el individuo para adaptarse a su medio y para adaptar el medio a sí mismo, o sea de la capacidad de ejercer su propia **normatividad**; la enfermedad consiste en la reacción del individuo ante la disminución de sus capacidades de normatividad, y "un individuo es normal en la medida que ejerce su capacidad para mantener la simbiosis con su ambiente".

Basados en definiciones tradicionales, desde hace siglos las tasas de mortalidad han sido utilizadas como indicadores principales de la salud de las comunidades. En desarrollo de una más reciente preocupación por medir los grados de incapacidad, ahora, como lo anotan S. Katz y colaboradores<sup>20</sup>, debemos preocuparnos a fondo de la "expectativa de vida activa", del estado de **bienestar funcional**. La medición de la expectativa de vida activa, que no es sino la cuantificación del estado funcional orgánico, provee información sobre las dimensiones de la salud y de la morbilidad, bastante más útiles que la simple determinación de las tasas de mortalidad.

Frente a las dos dimensiones de la condición humana, los médicos han logrado extender la **duración** de la vida, pero poco se ha hecho por mejorar su **calidad**. El resultado es un aumento en la incapacidad física y mental, o sea de la **morbilidad**, en la edad avanzada. Ahora debemos preocuparnos por la compresión de tal morbilidad, mejorando la atención a los factores que inciden sobre el deterioro orgánico y mental, a fin de que las personas de edad avanzada lleguen al límite de su vida en condiciones de autonomía que les permitan una adecuada simbiosis con su entorno.

Por otra parte, la ingeniería génica y la biotecnología han demostrado ser poderosos instrumentos del hombre, al revolucionar el tratamiento

y la prevención de muchas enfermedades, al transformar la agricultura y al permitir la clonación de seres vivos. La identificación genética del riesgo o susceptibilidad a determinadas enfermedades abre un novel panorama a la medicina preventiva y crea una nueva clase de individuos, los "prepacientes", como los denomina García Barreno en el epílogo de su libro *"Medicina Virtual. En los bordes de lo real"*<sup>8</sup>. "Los prepacientes no serán enfermos en el sentido actual del término, pues no necesitarán tratamiento; tampoco serán individuos sanos en el sentido de estar libres de una condición médica relevante. Guardarán una relación particular con el mundo médico, obligada por la necesidad de una espera vigilada, pero no obtendrán beneficios de las soluciones tecnológicas de la medicina molecular".

Todo lo anterior requiere el planteamiento de una reconceptualización de la salud, una verdadera redefinición en términos de la **cuantificación y preservación del estado funcional orgánico** y de la susceptibilidad a determinadas enfermedades, o sea de la **medicina predictiva** basada en el diagnóstico génico que establece la presencia de personas con expectativas vitales condicionadas a un futuro incierto<sup>8</sup>, para reemplazar a la vieja definición descriptiva de la Organización Mundial de la Salud. Ello implica una nueva actitud y una política sanitaria diferente que se debe traducir en novedosos programas educativos, reestructuraciones administrativas y revisión de prioridades en cuanto a asignación de recursos. Tal es el desafío que deben confrontar ahora profesión médica y los servicios de salud.

### Naturaleza de las ciencias biológicas

A diferencia de las ciencias físicas, las ciencias de los organismos vivos se enfrentan a fenómenos enormemente variados y bastante más ricos, o sea de gran complejidad. En tal contexto, la naturaleza y el manejo de la evidencia que corrobora una hipótesis exigen flexibilidad en el análisis y en la interpretación. En lo concerniente a los seres vivientes, que son organismos de alto nivel de organización, las teorías se comprueban por medio de la acumulación de evidencias, y no como en la física, mediante una observación o un resultado experimental único y definitivo.

Tal vez el campo en el que la acumulación de evidencias ha sido más característico y más informativo es en el de la biología evolucionista. E.O. Wilson<sup>21</sup> en su libro *Sociobiología*, plantea que el comportamiento es transmitido no tanto por los genes, como por la cultura y el ambiente.

A pesar de la aguda controversia sobre la validez de la sociobiología, esta disciplina ha absorbido mucho de la antropología y ha hecho impacto al ubicarse entre un darwinismo social y la etología, la ciencia que estudia el comportamiento, y se perfila como una de las ciencias básicas de la medicina.

**"Habiendo dado  
años a la vida,  
ahora nos  
corresponde dar  
vida a los años"**

*John F. Kennedy*

### Caos y complejidad

Los sistemas lineales obedecen a la física gravitacional y cuántica, y son enteramente predecibles por medio de ecuaciones matemáticas. Por el contrario, los sistemas no lineales, como son los organismos vivos o el clima, por ejemplo, son impredecibles. Así lo son también los ecosistemas, las organizaciones sociales, las entidades económicas. Todos son ejemplos de un alto nivel de organización y de una gran complejidad dinámica, cuyo comportamiento no puede predecirse por análisis matemático o simulación<sup>22</sup>.

La vida tanto a nivel del funcionamiento de un organismo individual, como de su existencia en sociedad, es el ejemplo de sistemas complejos más pertinente para el médico moderno. La teoría que los describe se denomina "teoría caos".

En su origen, la teoría caos surgió de los intentos por elaborar modelos meteorológicos computarizados hace más de quince años. La teoría plantea que dentro de la compleja variedad de un sistema, se encuentran regularidades ocultas y que en cualquier sistema complejo en el que haya confusión imposible de predecir se puede hallar un orden subyacente.

Roger Lewin<sup>22</sup> en su libro *Complejidad. El caos como generador de orden*, plantea, en el mismo título, una síntesis del problema. Dice Lewin: "Para la mayoría de nosotros, **caos** significa azar. En el ámbito de los sistemas dinámicos no lineales no es así. Y, también para la mayoría de nosotros, complejo puede significar casi lo mismo que caótico" ... "Los sistemas más complejos exhiben lo que los matemáticos llaman "atractores", estados en los que el sistema acaba estabilizándose, en función de sus propiedades".

¿Qué es esta pretendida y controvertida ciencia emergente, la **complejidad**? La teoría de la complejidad plantea que en la raíz de la totalidad de los sistemas complejos, desde el comportamiento de las moléculas hasta la acción de las naciones y los estados, y el equilibrio de la naturaleza, se encuentra un cuerpo de reglas que cuando puedan ser identificadas darán lugar a la gran unificación de las ciencias naturales<sup>22</sup>.

**Caos**, igualmente una novel y controvertida ciencia, ofrece una perspectiva de orden y de patrones donde previamente se observaba sólo lo aleatorio, lo errático y lo impredecible, es decir lo caótico. Para algunos físicos Caos es una ciencia de *proceso*, más que de *estado*; de *transformación*, más que de *existencia*. Caos está expresado en el comportamiento del clima, en el de un avión en pleno vuelo, en el de los automóviles que se concentran en una autopista, en el del petróleo que fluye por los oleoductos. Y, ciertamente, en la vida, considerada tanto individualmente como en sociedad.

En marzo de 1998, el autor de este artículo, en la posesión como Presidente de la Academia Nacional de Medicina, expresaba: "Los sistemas biológicos son de carácter no lineal, son sistemas complejos o de alta organización, los cuales constituyen el sujeto de las noveles disciplinas – algunos ya las denominan ciencias – conocidas como "caos" y "complejidad" (ya algunos han propuesto el término "caoplejidad"). La esencia de estos sistemas, que es enteramente aplicable a la medicina como ciencia, es que no ofrecen certeza sino probabilidades. Por consiguiente, la medicina no puede asegurar el resultado de su intervencionismo, sino simplemente plantear probabilidades en un contexto estadístico. Y sin embargo vemos, con nefasta frecuencia, la proli-

feración de demandas legales cuando a pesar de un esfuerzo idóneo, no se logra un buen resultado en la intervención terapéutica o quirúrgica.

Estos conceptos se aplican también más allá de la dimensión biológica o fisiológica de la medicina. Su dimensión social, o sea la económica, y su dimensión estructural, o sea la administrativa, también están sujetas a las todavía no definidas leyes del caos y la complejidad<sup>23</sup>.

### Cambio de imagen del médico

Refiriéndose al devenir de la medicina en el curso del último siglo, J. Bernal Villegas cita a Ian Donald: "A finales del siglo XIX, los médicos tenían gran autoridad y muy poco poder terapéutico. Hoy en día su poder es muy grande pero su autoridad se cuestiona como nunca antes. Y se pregunta si habrá alguna relación causal entre la pérdida de autoridad y el aumento de nuestra capacidad terapéutica, o si por el contrario estos son elementos intercurrentes de orígenes distintos, y su asociación más que causal es casual".

Y dice Bernal Villegas: "Es posible, y esta es mi tesis, que en el proceso de transferencia tecnológica de que ha sido objeto la medicina particularmente en los últimos treinta o cuarenta años, hemos recibido también como mensaje subliminal la idea de manejar la vida como un objeto, deshumanizando nuestros servicios clínicos a la par que los tecnificamos"<sup>24</sup>.

### La atención médica gerenciada

En todo el mundo los costos de la atención médica han venido creciendo en forma vertiginosa, más que cualquiera otro renglón de la vida social. Pero los costos de la atención médica habrán de continuar en ascenso, por cuanto ésta depende fundamentalmente de la alta tecnología y su inserción social, lo cual es muy costoso<sup>14</sup>. Como una respuesta a este fenómeno, en muchos países se han desarrollado planes y programas de atención médica legalmente regulada, lo que se denomina "*managed health care*" en Norte América, o "atención gerenciada de la salud". Tal como ha ocurrido en Colombia con la promulgación de la Ley 100 de 1993, la cual ha significado una profunda reforma en la seguridad social y la atención de la salud.

La atención médica gerenciada o atención gerenciada de la salud, en esencia se ha tomado el campo de la financiación y



la provisión de los servicios médicos y de salud<sup>25</sup>, tanto públicos como privados. Esto significa un cambio profundo en uno de los pilares de la estructura de la sociedad, el de la atención de la salud, y altera en forma dramática tanto el ejercicio de la medicina como la esencia misma de la profesión.

La atención gerenciada de la salud se refiere a una variedad de sistemas contractuales que involucran a cuatro grupos: consumidores/pacientes, proveedores, aseguradores y compradores de servicios<sup>25</sup>. Para la atención gerenciada, el concepto central es la coordinación de un cuidado integral por parte del médico de atención primaria, quien es colocado en la posición de coordinador y de árbitro sobre un paciente y quien determina cuando éste debe ser referido al especialista, lo que en inglés se conoce como "gatekeeper". Está implícito el concepto de que existe "exceso de atención y demasiada tecnología". Se plantea que los costos adicionales de la coordinación se contrarresten con los ahorros al lograr una óptima utilización.

Según Wilkins<sup>26</sup>, aunque no directamente ligado al concepto de atención gerenciada, pero sí íntimamente asociado con su práctica, aparece el creciente **poder del mercado**. En los seguros tradicionales, el "cliente" (o "usuario" o "consumidor", o sea el paciente) paga según la tarifa existente. En la atención gerenciada, las compañías pueden negociar descuentos con los proveedores de servicios, según el volumen de "clientes" que puedan ofrecer. Es así como en los diferentes tipos de atención gerenciada aparece variable el énfasis, bien en el poder del control de la coordinación/utilización, o bien en el poder del mercado.

Tales factores de tinte exclusivamente económico y que obedecen a una preocupación fundamental, la disminución de costos, son la característica de la atención gerenciada.

Esto es bien diferente de la atención médica tradicional, "la medicina hipocrática", donde la relación intensamente humana entre el paciente y el médico, basada en la libre escogencia que generaba la confianza del primero y la responsabilidad del segundo, era el factor determinante del sistema de atención.

La responsabilidad del médico se entiende en términos de idoneidad, que es el factor determinante de la calidad del servicio, y de compromiso con los intereses del paciente, quien es el objeto,

## Al convertir la práctica médica en un instrumento comercial, la atención gerenciada aleja a la profesión de su misión.

---

la razón de ser, de su profesión. La medicina hipocrática está centrada en el paciente.

La atención gerenciada convierte la atención de la salud en una industria y en un comercio, y el cuidado médico en la provisión de un producto. De una actividad humana y humanitaria se pasa a una acción corporativa de talante netamente comercial. La atención gerenciada está basada en el lucro, el beneficio, a través de la limitación en el uso de los recursos, en la disminución de los costos.

Al convertir la práctica médica en un instrumento comercial, la atención gerenciada aleja a la profesión de su misión, por cuanto el ejercicio médico no es un negocio sino el medio a través del cual cumplimos nuestro compromiso de ser-

vicio, educación, investigación y aplicación del conocimiento.

### La desprofesionalización de la medicina

El avance de la biología molecular, de la biotecnología, de la informática biomédica y de la tecnología médica, conforma un horizonte casi ilimitado de beneficio para la sociedad. Pero ello se ve ahora enfrentado a impedimentos muy serios que surgen de la aplicación de la atención gerenciada de la salud, la cual introduce cambios profundos en la estructura misma de la medicina como profesión, al propiciar un sistema de atención de la salud que, en última instancia, aparece con un objetivo casi único: el control de costos. Los planes de medicina prepagada, que son el pilar fundamental de la atención médica gerenciada, representan una solución para lograr acceso y ampliar la cobertura de los servicios de salud, objetivo de incuestionable beneficio social. Desde dicho punto de vista, el modelo debe ser reconocido como un verdadero imperativo social.

Pero cuando un sistema diseñado para el bien social, atenta contra la estructura y la integridad de la medicina científica al transformarla en una industria y al reconocerle solamente dos dimensiones - una dimensión social, la económica, y una dimensión estructural, la administrativa -, el beneficio se torna en perjuicio. Al considerar el bien social, el sistema no puede dejar por fuera dos de las más importantes y fundamentales dimensiones de la atención médica: la científica y la ética/deontológica.

Al señalar el peligro de la desprofesionalización de la medicina como resultado de la aplicación de la Ley 100 de 1993, me refiero a cómo los elementos constitutivos del concepto de "profesionalismo" se debilitan al descuidarse la investigación como método imprescindible para la adquisición de nuevos conocimientos, al deteriorarse la idoneidad por insuficiente o interrumpida capacitación, y, lo más grave, al distorsionarse o sustraerse la autonomía con el traslado de la

toma de decisiones a las jerarquías administrativas de las denominadas empresas promotoras de salud<sup>23</sup>.

Por lo demás, la medicina pierde su carácter de profesión y adquiere características nocivas, como son la burocratización, la "corporatización" y la proletarización<sup>23,27</sup>.



## Referencias

1. Thomas, L. *The youngest science*. New York: The Viking Press, 1983.
2. Patiño, J.F. Nuevas orientaciones en la formación de postgrado. *Medicas UIS* 3:211, 1990.
3. Scheiber, M.H. *The art of medicine*. Texas Rep Biol Med 1969, 27.
4. Applewhite, P.B. *Molecular Gods. How molecules determine our behavior*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1981.
5. Otero, E. Hacia una moderna biología. En: Patiño JF, Román G (eds). *Las bases moleculares de la vida y la enfermedad*. Bogotá: FUNDOFA y Carlos Valencia Editores, 1980.
6. Judson, H.F. *The eight day of creation. Makers of the revolution in Biology*. New York: Simon and Schuster, 1979.
7. Gómez Vila, M. *Biojurídica. La nueva genética ante el derecho*. Madrid: Lerner Editores, 1989.
8. García Barreno, P. *Medicina Virtual. En los bordes de lo real*. Madrid: Editorial Debate SA, 1997.
9. Sigerist, H.E. *The Physician in Modern Society*. En: Roemer ME (ed). *Sigerist on the Sociology of Medicine*. New York: MD Publications, 1960.
10. Patiño, J.F. Ciencia, salud pública y educación médica. *Medicina* 18:46, 1987.
11. Foss, L.; Rothenberg, K. *The Second Medical Revolution. From Biomedicine to Infomedicine*. New Science Library. Boston & London: Shambhala, 1987.
12. Kuhn, T.S. *The structure of scientific revolutions*. Chicago, London: The University of Chicago, Press, 1962.
13. Monod, J. *El Azar y la Necesidad. Ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna*. Barcelona: Tusquets Editores SA, 1993.
14. Patiño, J.F. Dilemas éticos de la moderna cirugía. Transcripción de la Primera "Conferencia Renato Pacheco Filho", X Congreso Latinoamericano de Cirugía (FELAC), Punta del Este, diciembre 5 de 1993. *Rev Latinoam Cir* 3:6, 1994.
15. Maloney, J.V. *The limits of medicine*. *Ann Surg* 194:247, 1981.
16. Fries, J.F. *Aging, natural death and the compression of morbidity*. *New Engl J Med* 303:130, 1980.
17. Olshansky, S.J.; Carnes, B.A.; Cassel, C.K. *The aging of the human species*. *Scientific Amer* 266 (4):46, 1993.
18. Tarlov, A.R., et al. *The Medical Outcomes Study: An application for monitoring the results of medical care*. *JAMA* 262:925, 1989.
19. Malherbe, J.F. *Hacia una Ética Médica*. Ediciones San Pablo. Santafé de Bogotá, 1993.
20. Katz, S.; Branch, L.G.; Branson, M.H.; et al. *Active life expectancy*. *N Engl J Med* 309: 1218, 1983.
21. Wilson, E.O. *Sociobiology*. Cambridge, Mass and London: the Belknap Press of Harvard University press, 1975.
22. Lewin, R. *Complejidad. El Caos como Generador del Orden*. *Metatemas* 41. Barcelona: Tusquets Editores SA, 1995.
23. Patiño, J.F. *Discurso de posesión del académico Jose Felix Patiño Restrepo como Presidente de la Academia Nacional de Medicina para el periodo 1998 - 2000*. *Rev Col Cirugía* 13:61, 1998.
24. Bernal Villegas, J. *¿Bioética o matando el miedo?*. Ponencia presentada al II Congreso de médicos javerianos. Unidad de Genética Clínica. Hospital San Ignacio. Bogotá.

25. Kapp, M.B. *Can managed care be managed? Some agnostic reflections*. *The Pharos* 61 (2): 15, 1998.
26. Wilkins, R.G. *Improving clinical practice with nutrition in a managed care environment: managed care and how we got here*. En: *Improving Clinical Practice with Nutrition in a Managed Care Environment. Report of the Seventeenth Ross Roundtable on Medical Issues*. Columbus, Ohio: Ross Products Division, Abbott Laboratories, 1997.
27. Cruess, R.L.; Cruess, S.R. *Medicine in the new millenium: Osler or Shaw?* *Ann RCPSC* 30:461, 1997.

## Lecturas recomendadas

- Alonso, M. (Editor). *Organization and Change in Complex Systems*. Paragon House. New York, 1990.
- Calzadilla J. Michelena. Caracas: Ernesto Armitano editor, 1973.
- De Francisco Zea, A. *Humanismo y Medicina*. Santafé de Bogotá: Academia Colombiana de Historia, 1998.
- Escobar Triana, J. *Discusiones Ontológicas del Cuerpo*. Santafé de Bogotá: Ediciones El Bosque, 1997.
- Escobar Triana, J. *Bioética y Derechos Humanos*. Santafé de Bogotá: Ediciones El Bosque, 1998.
- Guzmán Mora, F.; Morales de B, M.C.; Franco, E.; et al. *De la Responsabilidad Civil Médica*. Santafé de Bogotá: Ediciones Rosaristas y Biblioteca Jurídica DIKÉ, 1995.
- Guzmán Mora, F.; Franco Delgadillo, E.; Rosselli Cock, A. *La Práctica de la Medicina y la Ley*. Santafé de Bogotá: Biblioteca Jurídica DIKÉ, 1996.
- Horgan, J. *From complexity to perplexity*. *Scient Am* 227 (6, June):74, 1995.
- Horgan, J. *The End of Science*. New York: Broadway Books, 1996.
- Patiño, J.F. *Formación del profesional en salud en el umbral del siglo XXI*. En: *Ética, Universidad y Salud*. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Salud, 1993.
- Sánchez Torres, F. *Temas de Ética Médica*. Santafé de Bogotá: Giro Editores Ltda., 1995.
- Sotomayor Tribín, H.A. *Guerras, Enfermedades y Médicos en Colombia*. Santafé de Bogotá: Escuela de Medicina Juan N. Corpas, 1997.
- Watson, J.D. *The Double Helix. A personal account of the discovery of the structure of DNA*. New York: Norton & Company, 1980.
- Universidad Nacional de Colombia y Ministerio de Salud. *Ética, Universidad y Salud. Memorias del Seminario para la Formación Profesional*. Santafé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1993.
- Vélez Correa, L.A. *Ética Médica. Interrogantes acerca de la medicina, la vida y la muerte*. Segunda edición. Medellín: Corporación para Investigaciones Científicas, 1996.

Publicación de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia.  
Suscripción por 1 año (5 ejemplares),  
a partir del Vol. \_\_\_\_ N°. \_\_\_\_

Suscripción anual \$19.000 Precio ejemplar \$ 4.200 Socio ACAC: Gratuita  
Ejemplar atrasado Vol. I - VI \$ 2.000 Ejemplar atrasado Vol. VII \$ 3.900

Fecha de suscripción  
D | M | A

**Forma de pago:**

Efectivo  Cheque  Crédito   
**Consignación:** Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

Colmena 010-4500246931  
Bco. Popular 160-203196  
Credencial  Credibanco  Diners   
Tarjeta N°  
Vence \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ N° cuotas \_\_\_\_

N° Seguridad \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Tres últimos dígitos al respaldo de su tarjeta de crédito

Acepto Renovación Automática: Sí  No

**FIRMA**

C.C.

**LLÁMENOS AL 315 0734 Y  
ADQUIERA LA COLECCIÓN DE  
INNOVACIÓN Y CIENCIA.**

**SUSCRIPCIÓN PERSONA NATURAL**

Nombre \_\_\_\_\_ C.C. \_\_\_\_\_  
Dirección \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
Ciudad \_\_\_\_\_ Depto. \_\_\_\_\_  
Profesión \_\_\_\_\_ Especialidad \_\_\_\_\_  
Entidad \_\_\_\_\_

**SUSCRIPCIÓN INSTITUCIONAL**

Entidad \_\_\_\_\_  
Representante \_\_\_\_\_ Nit. \_\_\_\_\_  
Dirección \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
Ciudad \_\_\_\_\_ Depto. \_\_\_\_\_

Envíe su comprobante de pago junto con este cupón al fax 221 6950, 221 9281 o por correo a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia. Carrera 50 # 27 - 70 Bloque C, Módulo 3 A.A. 92581 Santa Fe de Bogotá Tels. 315 0734 - 222 6253.

Publicación de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia.  
Suscripción por 1 año (5 ejemplares),  
a partir del Vol. \_\_\_\_ N°. \_\_\_\_

Suscripción anual \$19.000 Precio ejemplar \$ 4.200 Socio ACAC: Gratuita  
Ejemplar atrasado Vol. I - VI \$ 2.000 Ejemplar atrasado Vol. VII \$ 3.900

Fecha de suscripción  
D | M | A

**Forma de pago:**

Efectivo  Cheque  Crédito   
**Consignación:** Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

Colmena 010-4500246931  
Bco. Popular 160-203196  
Credencial  Credibanco  Diners   
Tarjeta N°  
Vence \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ N° cuotas \_\_\_\_

N° Seguridad \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Tres últimos dígitos al respaldo de su tarjeta de crédito

Acepto Renovación Automática: Sí  No

**FIRMA**

C.C.

**LLÁMENOS AL 315 0734 Y  
ADQUIERA LA COLECCIÓN DE  
INNOVACIÓN Y CIENCIA.**

**Si, deseo regalar una suscripción de la revista Innovación y Ciencia a:**

Nombre \_\_\_\_\_ C.C. \_\_\_\_\_  
Dirección \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
Ciudad \_\_\_\_\_ Depto. \_\_\_\_\_  
Profesión \_\_\_\_\_ Especialidad \_\_\_\_\_  
Entidad \_\_\_\_\_

De:

Nombre: \_\_\_\_\_  
Ident: C.C. \_\_\_\_\_ T.I. \_\_\_\_\_  
Dirección \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
Ciudad \_\_\_\_\_ Depto. \_\_\_\_\_

Envíe su comprobante de pago junto con este cupón al fax 221 6950, 221 9281 o por correo a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia. Carrera 50 # 27 - 70 Bloque C, Módulo 3 A.A. 92581 Santa Fe de Bogotá Tels. 315 0734 - 222 6253.

# Novedades editoriales

## CONVERGENCIA ENTRE ÉTICA Y POLÍTICA



Guillermo Hoyos y Ángela Uribe  
(Compiladores)  
Convergencia Investigación  
Acción Participativa,  
Siglo del Hombre Editores,  
Santa Fe de Bogotá, 1998.

Este volumen colectivo reúne los principales estudios que filósofos y politólogos de diversas nacionalidades, como C. Thiebaut, F. Colom, J. C. Velasco, J. L. Villacañas, E. Lecerf, A. Calvo, F. Cortés, A. Monsalve, O. Mejía, M. García, A. Uribe y G. Hoyos, presentaron en el grupo de trabajo "Ética y política", uno de los que discutió el problema de "Teoría y práctica de la construcción de

sociedades y culturas democráticas" en el marco del 4º Congreso Mundial de Investigación-Acción, Aprendizaje-Acción y Gestión de Procesos, y del 8º Congreso Mundial de Investigación-Acción Participativa (IAP), organizados por Convergencia y celebrados en Cartagena de Indias, Colombia, entre el 31 de mayo y el 5 de junio de 1997.

Al conmemorarse veinte años del primer Congreso sobre "Teoría y Praxis" realizado en esta misma ciudad, el Congreso Mundial de Convergencia 1997 se propuso evaluar el desarrollo en la región y en el mundo del movimiento Investigación Acción Participativa (IAP) surgido allí y proponer una política como discurso y como acción, basada en la ética, para responder a la problemática de la convivencia en la sociedad contemporánea.

## INSTITUTO NACIONAL DE SALUD 1917-1997. UNA HISTORIA, UN COMPROMISO.

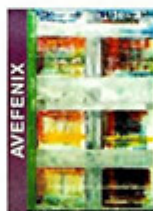


Gabriel Toro, Carlos A. Hernández  
y Jorge Raad (editores).  
Instituto Nacional de Salud,  
Santa Fe de Bogotá, 1998.

Este libro se concibió como la parte final de la celebración del octogésimo aniversario de la fundación del Laboratorio Samper Martínez, hoy, el Instituto Nacional de Salud.

La primera parte hace consideraciones sobre la posición actual del Instituto dentro de la sociedad colombiana, vista desde el Consejo Científico Técnico, desde la Dirección General y la Secretaría General. La segunda parte, Historia, consigna las versiones de sus autores sobre los orígenes, estado actual y proyección de cada uno de los grupos de trabajo del Instituto Nacional de Salud. La tercera parte, Temas Selectos, corresponde a las rigurosas contribuciones enviadas por los autores voluntariamente en esta ocasión. Finaliza esta obra con la sección Orden de Boyacá, reconocimiento recibido por el Instituto Nacional de Salud gracias a su compromiso con el país y por sus contribuciones al bienestar de los colombianos.

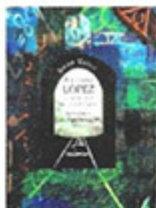
## AVEFÉNIX, VOLUMEN I, NÚMERO V.



Fundación Social Colombiana  
CEDAVIDA.  
Santa Fe de Bogotá, mayo de 1998.

Avefénix es una publicación de la fundación CEDAVIDA. El quinto número, bajo la dirección de Claudia Marcela Clavijo Pinzón, se publica justo en el primer decenio de la Fundación. Enmarcada en una hermoso diseño, Avefénix recopila los logros del personal de la Fundación en su Sede Nacional (Bogotá) y sus cuatro regionales: Antioquia, Cundinamarca, Santander y Meta. Recoge también reflexiones sobre el trabajo de recuperación emocional de las víctimas de la violencia en Colombia. Se destacan, a su vez, propuestas científicas alrededor de la formación para la paz, como el modelo de redes neuronales, propuesto por Jairo A. Roza, sobre la recuperación de los recuerdos traumáticos de eventos tempranos en nuestras vidas, que generan la semilla de la guerra, y cuya reelaboración cognitiva y emocional es la semilla de la paz.

## ALEJANDRO LÓPEZ. A LA MEDIDA DE LO IMPOSIBLE.



Irene Vasco (Ilustraciones de Elsa Zambrano H.).  
Colciencias, Santa Fe de Bogotá,  
1998.

La vida de Alejandro López, ingeniero civil antioqueño (1876-1940), se muestra bellamente escrita e ilustrada, dentro de la serie juvenil de Colciencias. Este personaje está unido a la construcción de la Antioquia moderna. El mejor símbolo de sus proyectos es el Túnel de la Queibra, en el cual reposan sus restos. Su nombre está unido al Ferrocarril de Antioquia, titánica obra de ingeniería para su época. Esta obra no sólo muestra la contribución civil de López sino también detalles de la cultura antioqueña de finales de siglo pasado y comienzos del presente, mezcla de catolicismo, pujanza empresarial y vida familiar.

## ESCUELA SIGLO XXI. SEGUNDO FORO EDUCATIVO NACIONAL Y PRIMERA FERIA PEDAGÓGICA (SERIE MEMORIAS).



Plan Decenal de Educación. Ministerio de Educación Nacional.  
Santa Fe de Bogotá, 1998.

En este volumen se consignan las memorias del Foro y Feria "Escuela Siglo XXI", realizado en el recinto de Corferias (Bogotá), del 1 al 5 de abril de 1998, con el auspicio del Ministerio de Educación Nacional y la ejecución de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia. El Foro-Feria mostró en un mismo espacio las novedades educativas de 840 instituciones, junto con 23 Secretarías de Educación y 20 entidades de orden nacional, organismos internacionales, cajas de compensación y organizaciones educativas. El documento se divide en tres partes: I. El Foro-Feria: El encuentro de la educación con la sociedad y el estado. II. Encuentros de la comunidad educativa y pedagógica: relatorías generales. III. Selección de documentos.

## COMITÉS BIOÉTICOS CLÍNICOS.



María Mercedes Hackspiel Zárate,  
Carlos Eduardo Maldonado, Nubia  
Posada González, Eduardo Alfonso  
Rueda Barrera.  
Ministerio de Salud, Santa Fe de  
Bogotá, 1998.

En Colombia, los Comités Bioéticos Clínicos se dividen en Comités Bioéticos Asistenciales y Comités Bioéticos de Investigación. Los Asistenciales tienen como función principal proteger el respeto al valor de los pacientes y el derecho a la autonomía que se deriva de este valor, y los de Investigación tienen a su cargo la protección de los seres humanos, de los animales y de los bienes, intereses y beneficios de la comunidad en lo relacionado con la investigación. Este libro introduce en su trabajo a los miembros de estos comités en su estructura, procedimientos y funciones. En sus fundamentos orienta su discusión sobre la filosofía y teoría de la decisión racional, la calidad de vida y la caracterización de la ética discursiva.

## REFORMA EDUCATIVA Y PROYECTO EDUCATIVO NACIONAL. LA EDUCACIÓN DURANTE EL GOBIERNO DE LA GENTE, 1994-1998.



Jaime Niño Diez.  
Ministerio de Educación Nacional,  
ICFES, Santa Fe de Bogotá, 1998.

Esta obra constituye el informe presentado al Congreso Nacional por el último ministro de educación de la administración Samper, doctor Jaime Niño Diez. Sus 724 páginas están divididas en seis partes: I. Proyecto Educativo Nacional. II. Mejoramiento de la calidad de la educación. III. Balance entre la equidad y la eficiencia. IV. Más y mejores oportunidades para los jóvenes. V. Educación y Sociedad. VI. Anexos. En general muestra la gestión adelantada por los cuatro ministros del último cuatrienio: Arturo Sarabia Better, María Emma Mejía, Olga Duque de Ospina y Jaime Niño Diez, éste último quien más tiempo permaneció en esta cartera.

## GUÍA DE GESTIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO.



Jaime Ayala Ramírez y Luis Javier Jaramillo S.  
(Programa ICFES-TECNOS).  
Editora Guadalupe, Santa Fe de Bogotá, 1998.

La presente guía se dirige especialmente a las instituciones universitarias y a las empresas que llevan a cabo proyectos de Investigación y Desarrollo, a manera de herramienta didáctica para su adecuada gestión. Proporciona orientaciones prácticas sobre el manejo de los principales elementos de un proyecto de Investigación y Desarrollo, presentadas como una secuencia en la gestión de

las diferentes etapas que constituyen el ciclo de un proyecto: ideas y necesidades, formulación, aprobación, planeación, organización, ejecución, conclusión y utilización de los resultados. La gestión de proyectos es hoy una de las claves para organizar y disciplinar la creatividad de las instituciones. Sin duda, se han incrementado en el país las oportunidades y las fuentes de apoyo a proyectos de Investigación y Desarrollo, pero de igual manera se ha hecho más cierta la necesidad de mejorar la presentación de propuestas y de lograr los objetivos previstos en el tiempo y con los recursos asignados. La Guía plantea formas de manejo de estas situaciones y es una invitación a compartir el lenguaje de los proyectos entre universidades y empresas que quieran trabajar juntas.

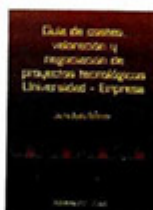
## MANUEL ANCÍZAR. UNA PEREGRINACIÓN POR LOS CAMINOS DE LA MEMORIA.



Yolanda Reyes  
(Ilustraciones de Martha I. Calderón).  
Colciencias, Santa Fe de Bogotá,  
1998.

La vida de Manuel Ancízar fue, como su obra *La peregrinación de Alpha*, una intensa aventura. Nacido en Fontibón en 1812, de padres españoles, tuvo que enfrentar desde su infancia las luchas de Independencia, la persecución, el exilio y la pérdida de sus seres queridos para construir una vida propia y una identidad de patriota hispanoamericano. Convencido de que su patria era la Nueva Granada, Ancízar prestó grandes servicios a nuestro país como periodista, maestro, escritor, embajador, senador y, sobre todo, como pensador y hombre de letras. Yolanda Reyes, autora, es escritora, maestra e investigadora en lectura y literatura infantil. Miembro fundador de Espantapájaros, un proyecto cultural que trabaja en torno a la promoción de la lectura.

## GUÍA DE COSTEO, VALORACIÓN Y NEGOCIACIÓN DE PROYECTOS TECNOLÓGICOS UNIVERSIDAD-EMPRESA.



Jaime Ayala Ramírez  
(Programa ICFES-TECNOS).  
Editora Guadalupe, Santa Fe de Bogotá, 1997.

La presente Guía se dirige a las instituciones que realizan proyectos tecnológicos para el sector productivo, con un contenido metodológico que les permite llegar a estimar los verdaderos costos de los proyectos, a la adecuada valoración de los resultados esperados y a sentar bases realistas para el proceso de negociación con las empresas. Así mismo, establece un lenguaje común que facilita un mejor entendimiento entre los diversos actores de la vinculación Universidad-Empresa. Su presentación, dirigida en especial a las universidades y centros de investigación, permite la flexibilidad necesaria para su adopción o adaptación, conforme a su naturaleza, sus políticas, su organización y su grado de avance en cuanto a la vinculación de la institución con el sector productivo.

NOTA: ESTOS LIBROS SE PUEDEN CONSULTAR EN EL CENTRO DE DOCUMENTACION DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA.

# ESPECIFICACIONES PARA LA PUBLICACION DE ARTICULOS

REVISTA  
**Innovación**  
y **Ciencia**

## ■ TEMAS

Ciencias naturales y sociales, tecnología, política científica y tecnológica.

## ■ 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 en 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 ARDS (del inglés: Adult Respiratory Distress Syndrome)".
- No deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas sólo si son estrictamente necesarias.

## ■ EXTENSION

Máximo 10 páginas, tamaño carta (21.5 x 27.5 cm), a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros).

## ■ FORMATO

Texto impreso y copia en diskette, indicando el software empleado.

## ■ MATERIAL GRAFICO

Es importante anexar el mayor número posible de ilustraciones, fotografías y diapositivas, acompañadas de notas explicativas y sugerencias para su ubicación en el texto.

El material será devuelto al autor una vez publicada la revista (favor marcarlo en la parte posterior).

## ■ REFERENCIAS

Para las referencias se usarán las siguientes normas:

### 1. Artículo de revista científica:

Lee, M.R.; Ho D.D.; Gurney, M.E. Functional interaction and partial homology between human immunodeficiency virus and neuroleukin. *Science* 237: 1047 - 1051; 1987.

### 2. Artículo de libro:

Day, R. A. *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud; 1990.

## ■ RESUMEN

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

## ■ IDENTIFICACION DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo actual

## ■ RESTRICCIONES

No serán aceptados para publicación:

- artículos con un enfoque muy especializado y/o temas de interés exclusivamente local
- artículos ya publicados
- informes de progreso de investigaciones en curso
- artículos escritos con el esquema usado para trabajos científicos
- material gráfico tomado de libros o revistas

# El único CDT con RENTABILIDAD Y MAR INCLUIDO.



Diviértase con los delfines o váyase de compras en Isla Margarita. Viva una deliciosa aventura en Puerto La Cruz o en Cartagena con sólo abrir su CDT Destinos.

El único CDT que le ofrece una excelente rentabilidad y le entrega una semana de alojamiento en Isla Margarita, Puerto La Cruz o Cartagena para usted y 5 personas más.

Esta semana usted la pasa en acogedores hoteles con áreas de recreación, piscinas, restaurantes, zonas deportivas y mucho más.

Haga maletas. Venga por su CDT y váyase de vacaciones mientras su dinero produce.



**CDT**  
DESTINOS  
GRANAHORRAR



**Granahorrar**  
CORPORACIÓN GRANCOLOMBIANA DE AHORRO Y VIVIENDA

Usted nos tiene a nosotros  
*de verdad.*