

Innovación y Ciencia

Volumen XIII • N° 4 • 2006 • Tarifa postal reducida 769 • Colombia \$9.500

Amenaza sísmica sobre Bogotá:
¿leyenda o realidad?

VIH-sida: un vistazo molecular



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA



[*áce-áce*]

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

ACAC desarrolla diversos programas
cuyos fines son

integrar a la comunidad científica

y reforzar su compromiso con el
estudio de los problemas del país,

difundir el conocimiento científico,

promover y apoyar la

investigación Científica y Tecnológica

e impulsar programas de apropiación social

de Ciencia y tecnología.

Correo electrónico acac@acac.org.co

www.acac.org.co



VOLUMEN XIII N° 4

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez

Rubén Ardila

Guillermo Hoyos

Carlos Corredor

Marcelo Riveros

Édgar Alberto Páez

Horacio Torres

Raúl Joya O.

Helena Groot

Walter Ocampo

CIDEIM • Francisco Miranda

MALOKA • Nohora Elizabeth Hoyos

ACEFYN • Jaime Rodríguez

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

Carmen Helena Carvajal

EDITOR

Eduardo Posada Flórez

EDITOR CIENTÍFICO

Diego Andrés Rosselli

COORDINACIÓN EDITORIAL

Lorena Ruiz Serna

COMITÉ EDITORIAL

Carlos Corredor

Guillermo Hoyos

Gregorio Portilla

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

León Lederman

Isabel Llano

Rodolfo Llinás

MAQUETA, DISEÑO

Y PRODUCCIÓN EDITORIAL

Editorial El Malpensante S.A.

ASISTENTE COORDINACIÓN EDITORIAL

Marisol González

IMPRESIÓN

Panamericana Formas e Impresos S.A.

DISTRIBUCIÓN

Distribuidora Unidas

COMERCIALIZACIÓN

Cooperación Científica Ltda.



CARÁTULA

John Paul Zapata



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

DERECHOS RESERVADOS

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización expresa del Comité Editorial. La publicación no es responsable legal del contenido de la publicidad de cada edición. Los conceptos expresados en los artículos no reflejan necesariamente la opinión de los editores.

Resolución Ministerio de Gobierno N° 5447 del 9 de octubre de 1992.

ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida N° 769 de Adpostal

Vence: diciembre de 2007

ACAC: Cra. 50 N° 27-70, Unidad Camilo Torres, Bloque C, Módulo 3

Telefonos: 3150734 – 3155898 – 3155900

Fax: 2216950

Email: innovacionyciencia@acac.org.co

Bogotá, D.C., Colombia

● editorial

7

▲ vistazos

8

■ notas breves

Amenaza sísmica sobre Bogotá: ¿leyenda o realidad?

Cristina Dimaté y Mónica Arcila

10



Aplicaciones del análisis computarizado del movimiento en el deporte colombiano

Diana Estefy Gutiérrez

16



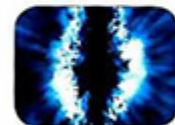
● astronomía

El Nóbel de Física, Colombia y el universo

Sergio Torres

20

Uno de los premios Nóbel de este año fue otorgado a John C. Mather y a George F. Smoot, por su proyecto COBE (Explorador del Fondo Cósmico) de la NASA, con el cual se descubrieron las anisotropías en la radiación de fondo y se midió con precisión su espectro. Durante una visita de trabajo a Washington en 1990, el autor de este artículo le propuso a Smoot (con quien ya había trabajado entre 1986 y 1989 en el proyecto COBE) hacer una medición de la radiación electromagnética de la galaxia desde Colombia. Nació así el proyecto GEM (Mapas de Emisión Galácticas). La idea era usar el mismo radiotelescopio desde tres sitios, distribuidos de tal forma en latitud que se alcanzara el mayor cubrimiento posible de la esfera celeste. Colombia, por su posición ecuatorial, ofrecía una ventaja estratégica al permitir enlazar observaciones realizadas en el hemisferio norte (California) y sur (Brasil).



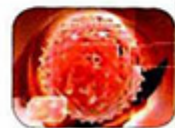
▲ biología

VIH-sida: un vistazo molecular

Rafael Antonio Forero M.

28

El diseño y desarrollo de drogas que controlen este virus y la elaboración de vacunas que prevengan el proceso infeccioso son los principales objetivos de los centros de salud pública del mundo. En el presente artículo se describen aspectos moleculares relacionados con el proceso infeccioso del Virus de Inmunodeficiencia Humana, VIH-1.



Sumario

Innovación y Ciencia • Volumen XIII • N° 4 • 2006

■ salud

Evolución biológica y antropocentrismo en las ciencias médicas

Paula Ordóñez Suárez y Juan Fernando Duque Osorio 40

La idea de ver al ser humano como un ser superior a las demás especies ha tenido serias consecuencias que, como la destrucción de la biosfera, pueden conducir a nuestra propia extinción. Esta tendencia antropocentrista y antievolucionista tiene, irónicamente, un origen evolutivo que, al igual que la curiosidad, ha sido el motor de nuestra evolución cultural. Las ciencias médicas en particular muestran una gran influencia antropocentrista, a diferencia de otras en las que la ecología y la evolución han contribuido a generar nuevo conocimiento.



● ciencias sociales

Líneas de investigación para una ética de la ciencia

Jesús Antonio Serrano Sánchez 50

En el ejercicio de la investigación científica se presentan numerosos cuestionamientos éticos. Algunos vienen de los medios de comunicación o de sectores que se identifican con una ideología o religión, y otros temas se debaten dentro de la academia o la comunidad científica. Algunos de estos cuestionamientos se identifican fácilmente, ya que corresponden a conductas contrarias a la disciplina y a la honestidad investigativa, como el plagio, la reproducción de un mismo trabajo, la falsificación de datos o experimentos, etc. Otros corresponden auténticamente a problemas de fondo que implican profundas repercusiones sociales y políticas y, por lo tanto, movilizan el interés de la sociedad, ya sea de manera organizada o espontánea. Con frecuencia estos temas generan debates sobre problemas morales polémicos como la eutanasia, la clonación o el manejo de células madre a partir de embriones, de los cuales parece que es imposible concluir nada que concilie las posiciones encontradas y, por lo tanto, obstaculiza todo progreso científico o social.



▲ sitios web

■ 66

■ novedades editoriales

● 68



Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

Innovación y Ciencia

TEMAS

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

LENGUAJE

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

EXTENSIÓN

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

FORMATO

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

MATERIAL GRÁFICO

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

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

REFERENCIAS

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

1. Artículo de revista científica:

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

2. Artículo de libro:

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

RESUMEN

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

IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

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

RECOMENDACIONES

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

ASOCIACION COLOMBIANA PARA EL AVANCE
DE LA CIENCIA —ACAC—

Cra. 50 N° 27-70 Unidad Camilo Torres
Bloque C, Módulo 3. Bogotá, D.C., Colombia
Teléfonos: 3155898 - 3150734 Fax: 2216950

innovacionyciencia@acac.org.co

Colombia y la cosmología

Con gran satisfacción recibimos la noticia de que el premio Nóbel de física fue otorgado al doctor George Smoot, por su participación en el proyecto COBE, que permitió analizar con precisión el espectro del ruido de fondo cósmico y descubrir sus anisotropías.

Ese trabajo ha sido fundamental para aclarar aspectos básicos relacionados con el origen del universo, su evolución inicial y los procesos involucrados en la formación de estrellas y galaxias. Sobre esa base, se llevaron a cabo experimentos complementarios que confirmaron satisfactoriamente el modelo del Big Bang y permitieron conocer con precisión el tiempo que ha transcurrido desde ese momento. En la actualidad se planean proyectos mucho más ambiciosos como el satélite Planck, que será lanzado en 2008 por la Agencia Espacial Europea con fines similares.

Es bueno destacar que gracias a las gestiones del doctor Sergio Torres, colaborador en este número de la revista sobre el tema, Colombia participó exitosamente en el COBE realizando mediciones de la radiación de la Vía Láctea, dentro del marco del proyecto GEM, desarrollado conjuntamente por el CIF y la Universidad de California. Para el éxito de ese trabajo fue esencial la privilegiada localización geográfica de nuestro país.

Es bueno recordar que a mediados de la década de los ochenta, con base en este último argumento, un grupo de astrónomos colombianos encabezado por el doctor Jorge Brieva propuso construir un observatorio en el territorio nacional, aprovechando la posibilidad que existía en ese entonces de adquirir un telescopio en la antigua Alemania Oriental con un canje por café. La propuesta encontró buen eco en el gobierno de ese entonces y surgieron propuestas concretas de construir un observatorio en el Parque de los Nevados, para lo cual la Universidad Nacional llevó a cabo previamente un estudio de nubosidad en la región. Desafortunadamente, por razones de trámite burocrático, el proyecto fue abortado por el Congreso Nacional, que debía autorizar la transacción.

Hoy, veinte años después, no existe todavía un observatorio importante en la zona ecuatorial, lo cual nos hace pensar que el proyecto de hace veinte años sigue siendo válido. La tecnología en ese campo ha evolucionado considerablemente y el costo de los instrumentos se ha reducido sensiblemente, lo cual nos permitiría pensar en una propuesta más ambiciosa que la de esa época.

Vale la pena por consiguiente retomar el tema, complementando los estudios hechos en ese entonces e iniciando contactos con miras a conseguir apoyo internacional para la financiación del proyecto. No cabe duda de que, como ha ocurrido en Chile con el observatorio europeo, una instalación de ese tipo significaría un gran beneficio para la ciencia colombiana y contribuiría al avance de una ciencia tan importante como la astronomía.

EDUARDO POSADA FLÓREZ

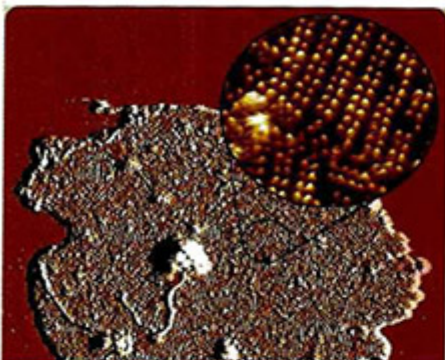
Presidente

CARMEN HELENA CARVAJAL

Directora ejecutiva



Vistazos



● Nanomembrana empleada en el tratamiento de aguas.

NANOMEMBRANA REDUCE EL COSTO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

Los tratamientos de agua como la desalinización y el reciclaje podrían ser mucho más baratos para los países en desarrollo, gracias a una membrana de purificación que se desarrolla empleando la nanotecnología.

Algunos investigadores de la Universidad de California en Los Ángeles han diseñado nanopartículas para crear una membrana que no se tapa fácilmente y permite que el agua sea bombeada a través de ésta usando menos energía.

El crecimiento de la población y la contaminación del agua fresca han afectado la disponibilidad de agua de los países en desarrollo. La desalinización y el reciclaje de aguas de desecho, por lo tanto, se consideran alternativas atractivas.

La membrana está diseñada para ser usada en desalinización por osmosis reversa (OR): el agua salada o contaminada se bombea a una presión extremadamente alta a través de los poros de la membrana; éstos permiten el paso del agua e impiden el paso de iones de sal y otras impurezas.

Las membranas OR tradicionales tienden a ensuciarse a medida que bacterias y otras partículas se acumulan

requiere más energía para bombear el agua y, a la larga, se aumentan los costos para limpiarlas y reemplazarlas.

Las nanopartículas de la nueva membrana están diseñadas para atraer el agua, absorberla como una esponja, mientras se repelen casi todos los contaminantes que habitualmente se adhieren a la superficie, dice Eric Hoek, profesor asistente de ingeniería civil y ambiental de la Universidad de California en Los Ángeles, quien dirigió la investigación.

Esto permite un proceso de purificación de agua tan efectivo como los métodos actuales, pero que emplea la mitad de la energía y reduce el costo total de la desalinización de agua en un 25 por ciento.

Fuente: SciDev.Net

<http://www.scidev.net/gateways/index.cfm?fuseaction=readitem&rgwid=1&item=News&itemid=3220&language=2&CFID=5861848&CFTOKEN=74594967>

http://biology.clc.uc.edu/Fankhauser/Labs/Microbiology/Drinking_Water

SECUENCIADO DEL GENOMA DEL ERIZO PÚRPURA DE MAR

Investigadores han secuenciado el genoma de uno de los organismos modelo más estudiados en biología, el erizo púrpura de mar, *Strongylocentrotus*



purpuratus. Estos equinodermos —algunos de los cuales llegan a vivir más de un siglo— están más relacionados a los humanos y otros vertebrados que las moscas de la fruta o los nemátodos, otros dos organismos modelo, cuyos genomas ya han sido secuenciados. Hace un siglo, los erizos de mar ayudaron a los científicos a entender el proceso de fertilización y a desarrollar una teoría de la herencia basada en cromosomas. La investigación más reciente sobre los erizos de mar facilitó la primera red regulatoria de genes descrita para desarrollo animal.

El erizo de mar es el primer equinodermo —que, hasta donde se conoce, son los parientes más cercanos de los cordados, grupo que incluye a los vertebrados—, cuyo genoma ha sido secuenciado. Los equinodermos y los cordados pertenecen al grupo animal de los deuterostomas; las moscas de la fruta y los nemátodos pertenecen a otro grupo, los protostomas. George Weinstock y sus colegas reportaron la secuencia y el análisis del genoma de 814 megabases de longitud de *S. purpuratus*, que codifica alrededor de 23,300 genes, incluyendo varios que eran exclusivos de los vertebrados o sólo conocidos fuera de los deuterostomas. De manera similar, Eric Davidson escribe que uno de los conocimientos más importantes obtenidos a partir de la secuencia del genoma es la definición del “juego de herramientas de los deuterostomas”, el conjunto de genes particulares a este grupo de animales. Si comparamos los genomas de los erizos de mar y los de los vertebrados tendremos un mejor entendimiento de nuestro propio genoma. Adicionalmente, se publicaron cuatro artículos más que exploran la secuencia genómica en relación al desarrollo. La



ciones genéticas, entre otros, de estos animales.

Fuente: "The Genome of the Sea Urchin *Strongylcentrotus purpuratus*", por G. M. Weinstock, R. A. Gibbs, y E. Sodergren de Baylor College of Medicine en Houston TX, E. H. Davidson y R. A. Cameron de California Institute of Technology en Pasadena, CA, y otros miembros del Sea Urchin Sequencing Consortium.

Fuente: "The Sea Urchin Genome: Where Will It Lead Us?" por E. H. Davidson en California Institute of Technology en Pasadena, CA.

DESARROLLAN PROTOTIPO DE ROBOT EXPLORADOR DE VOLCANES

Expedición robótica dentro del volcán Galeras

Algunos investigadores de la Universidad de Nariño desarrollaron un robot que prestará ayuda a la exploración del volcán Galeras. Darío Fernando Fajardo Fajardo, docente del Departamento de Ingeniería Electrónica, indicó que "se está trabajando en un prototipo móvil capaz de tomar muestras en terrenos escarpados y transmitir imágenes hacia una estación desde la cual será posible controlarlo de manera teleoperada".

El interés por desarrollar este tipo de robot fue generado por la alta probabilidad que existe de una eventual erupción del Galeras. Al proyecto se ha vinculado también Ingeominas, entidad para la que el estudio del cráter es una tarea prioritaria. Según Fajardo, "en nuestra región se ha visto la necesidad de explorar y tomar muestras de rocas, minerales y gases en el área del cráter del volcán Galeras; sin embargo, éste es un lugar de difícil acceso y alta peligrosidad para los humanos".

Desde comienzos de este año, el



Volcán Galeras.

Universidad de Nariño trabaja en un proyecto de investigación a largo plazo para el desarrollo de un Sistema Automático de Vigilancia de Cuarto Nivel para el volcán Galeras. Como parte de éste, figura la realización del prototipo de un robot móvil para el acceso al cráter del volcán.

Bajo la dirección del profesor Fajardo están los estudiantes de ingeniería electrónica Jhon Barco, Germán Ordóñez y Edisson Imbacuan, quienes a través de su trabajo produjeron el prototipo de un robot capaz de seguir una línea pintada en el suelo con láser. Este grupo también diseñó algunos mecanismos manipuladores que se pueden integrar en el móvil. "Este robot móvil es un

rística de evadir obstáculos y se está trabajando en la implementación de un dispositivo para tomar muestras de objetos que se encuentren en su camino", agregó Fajardo.

Germán Yamhure, ingeniero electrónico y miembro del Grupo de Bioingeniería, Análisis de Señales y Procesamiento de Imágenes de la Pontificia Universidad Javeriana, explicó a NOTICYT que "para efectos de emisión de gases es perfectamente pertinente la utilización de este tipo de robots. Habría que mirar en el caso del calor cómo se superan las implicaciones técnicas para que el robot pueda resistir".

Fuente: Boletín N° 27 NOTICYT, Camilo Calderón Acero.

|geología

Amenaza sísmica sobre Bogotá: ¿leyenda o realidad?

Cristina Dimaté

PhD en Física
Profesora Departamento de
Geociencias Universidad Nacional
Bogotá
mcdimatec@unal.edu.co

Mónica Arcila

Geóloga
Profesional Especializado Red Sis-
mológica de Colombia-Ingeominas
marcila@ingominas.gov.co

Los bogotanos estamos inquietos. Desde hace meses, y con frecuencia inusual, por donde vamos, en Transmilenio, en la radio, en la escuela, carteles y anuncios: "Tu vida no puede estar en juego... un terremoto no se puede evitar, pero tú sí te puedes preparar" (*Bogotá, con los pies en la tierra*, www.conlospiesenlatierra.gov.co). Se trata de una campaña de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá para educar a los ciudadanos sobre cómo prepararse y actuar ante un evento sísmico. A los bogotanos nos sorprende, especialmente a los jóvenes. El máximo contacto que ellos han tenido con los sismos en la ciudad fue un moderado remezón en enero de 1999, cuando ocurrió el sismo que destruyó buena parte de Armenia y varios municipios del Eje Cafetero. Los jóvenes de los años sesenta recordamos algo más fuerte: en febrero de 1967, cuando un sismo con epicentro en el norte de Huila originó un fuerte movimiento del suelo en Bogotá, causó pánico y nos obligó a salir corriendo de las escuelas, colegios, trabajos, hogares, etc. En esa ocasión hubo en la ciudad 13 muertos, cerca de 100 heridos, se cayeron muros de varios lotes, hubo averías más o menos serias en 30 inmuebles, incluyendo bancos, colegios, varias casas antiguas de dos pisos, edificios de propiedad horizontal e iglesias (Ramírez, 1975: 205-206).

Afortunadamente, los grandes sismos son eventos raros, al menos en nuestra percepción de tiempo de la vida cotidiana. Por ello, en Colombia, a pesar de que la mayor parte de nuestra población habita en zonas de amenaza sísmica alta o intermedia (Bogotá en esta última), un bajo porcentaje puede afirmar que ha sido afectado de manera grave por un sismo. Como los sismos ocurren con poca frecuencia, el estudio de la amenaza sísmica requiere el con-



Titular de *El Diario Nacional*, viernes 31 de agosto de 1917, Bogotá.

a la naturaleza: geólogos, que buscan e interpretan las huellas que han dejado en el paisaje las rupturas de la corteza terrestre que han ocurrido en los últimos miles de años; historiadores, que recuperan los relatos de los habitantes sobre los eventos que los afectaron fuertemente y ameritan un registro escrito u oral; sismólogos, que indagan los detalles de la fractura en el espacio y en el tiempo; ingenieros, que estudian el comportamiento de los suelos y estructuras ante las ondas sísmicas, etc. Como resultado de investigaciones de este tipo que se han realizado en el país, hoy podemos plantear hipótesis sobre la posible ocurrencia de un evento sísmico que puede afectar de manera importante a Bogotá.

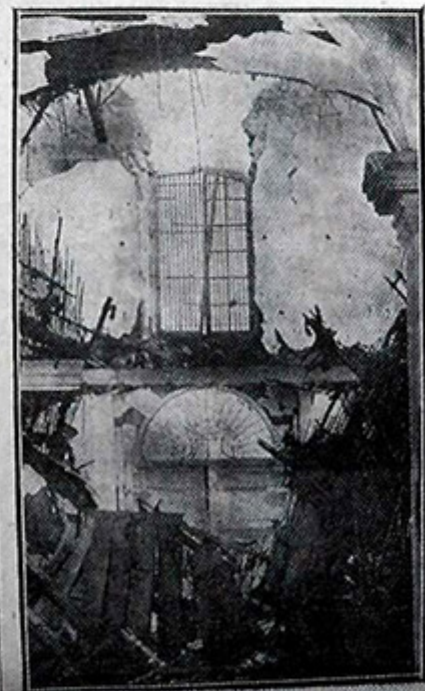
¿Por qué se producen los sismos? ¿Con qué frecuencia ocurren?.....

Los sismos ocurren cuando la energía de deformación, que se ha acumulado durante mucho tiempo en las gigantes masas de roca que conforman la corteza terrestre, se libera súbitamente ocasionando fractura y movimiento relativo entre las partes. En este proceso se generan ondas sísmicas que se propagan a través de la corteza a grandes distancias. Este fenómeno se produce principalmente a lo largo de fallas geológicas, que son zonas de debilidad de la corteza, relativamente estrechas, a lo largo de las cuales las masas de roca



Notas gráficas de los temblores: (izquierda) La quinta del señor Villa completamente destruida; (derecha superior) los habitantes se acomodan en los muebles que han sacado de las casas en ruinas; (derecha inferior) la policía saca los muebles de una Quinta. Revista *El Gráfico de Bogotá*, 8 de septiembre de 1917.

VISTA, DESDE EL INTERIOR, DE LA PUERTA



Daños en el interior de la Iglesia de Guadalupe. Periódico *El Nuevo Tiempo*, 6 de septiembre de 1917, Bogotá.

se ha detectado que hay movimiento relativo en el presente se denominan *fallas activas*.

La frecuencia con que suceden los sismos de una magnitud dada se expresa a través de la relación de Gutenberg-Richter:

$$\text{Log } N = a + bM$$

donde N es el número acumulado de sismos con magnitud mayor a M que ocurren en un área especificada y en un tiempo, y a y b son constantes que varían de región en región. Un análisis del catálogo colombiano muestra que en promedio en nuestro país ocurre un sismo de magnitud mayor a 6.0 por año. Esto, incluyendo los eventos que ocurren costa afuera, en el Océano Pacífico, y los de profundidad mayor a 100 km, los cuales no percibimos porque el movimiento que causan en la superficie es pequeño.

Sismos históricos que han afectado a Bogotá

El mejor testimonio de la historia sísmica de Bogotá, como lo escribe Ramírez, es la iglesia del cerro de Guadalupe.

La ermita de Guadalupe, en el cerro de su nombre en Bogotá, se fundó en 1656 [...] El terremoto de 1743 la destruyó por primera vez [...] La ermita se reconstruyó en 1760, y volvió a arruinarse en el terremoto de 1785. Reconstruida, la derribó el sacudimiento telúrico de 1827, para ser reconstruida de nuevo y volver a tierra en los temblores de Bogotá de 1917. El templo, que hoy se llama Guadalupe, con su bella estatua, data de los últimos 30 años, y es de una construcción más sólida. Sin embargo, la imagen de la Virgen que adornaba la fachada se fragmentó en el antebrazo y el hombro derecho durante el terremoto del Huila

del 9 de febrero de 1967 (Ramírez, 1975: 78).

Por lo menos seis eventos bien documentados han causado daños significativos en la ciudad durante los últimos 270 años: los sismos de 1743, 1785, 1826, 1827, 1917 y 1967.

El sismo del 18 de octubre de 1743 causó sus mayores daños en la Provincia de Oriente en Cundinamarca (Fómeque, Cáqueza, Fosca, etc.) y también en Bogotá. Según documentos del Archivo Nacional citados por Ramírez (Ramírez, 1975: 77-78): "... causándose en esta ciudad ruinas tan notables que raras casas del lugar dejaron de padecerlas...". Además del templo de Guadalupe, "... en los demás templos y conventos se han experimentado dichas ruinas, como se manifestó en los de San Agustín, San Francisco, Egipto, el Carmen y las Cruces, [...] siendo el daño que experimentaron dichos conventos gravísimo".

EL SISMO DE 1917

El 31 de agosto de 1917, a las 6:30 de la mañana, un fuerte terremoto prácticamente destruyó Villavicencio y causó graves daños en San Martín, Fosca, Cáqueza, Colonia y varias poblaciones aledañas (Sanabria y Cifuentes, 2005). Los destrozos fueron tan graves que se contempló la posibilidad de reconstruir Villavicencio en otro lugar. La intensidad de los daños, los reportes de deslizamientos y la continuidad de las réplicas sentidas por la población en estos lugares indican que el epicentro del sismo se localizó posiblemente hacia el flanco oriental de la Cordillera Oriental entre Villavicencio y San Martín. Aun fuera de la zona epicentral, muchas poblaciones sufrieron también daños: Fusagasuga, Ibagué, Espinal, Fresno, Mariquita, Pensilvania, por ejemplo, y por supuesto Bogotá, Soacha, Madrid, Facatativá, entre otras, en la Sabana.

En Bogotá los daños fueron significativos y agravados por un sismo el día anterior y por varias réplicas fuertes que siguieron al sismo principal. *El Diario Nacional* del 31 de agosto de 1917 informa así lo que se percibía en la ciudad:

A las 7 menos 25 minutos de la mañana se

superiores a los de la noche anterior. Fue una convulsión trágica y macabra que hizo bambolear los edificios de Bogotá. Los habitantes angustiados se salieron a las calles, nuevamente llenos de pánico y angustia; y allí comenzó a salir cuán numerosos habían sido los daños que el espantoso cataclismo había causado y cuánta gravedad revestían. Podemos asegurar que no hay una sola casa de verdad que no sufriera algún daño; igualmente puede comprenderse que si se repite un nuevo temblor, la mayoría de las casas se derrumbarán. El enorme pánico que hay en toda la ciudad no puede ser, pues, injustificado.

En el mismo periódico un reporte de la Policía Nacional da cuenta de 400 casas derrumbadas, 50 destruidas completamente, seis muertos y 12 heridos (fotos 1, 2 y 3). Daños importantes sufrieron edificios como la catedral, la iglesia de Chapinero, que perdió su torre principal, el claustro de Nuestra Señora del Rosario, el hospital San Juan de Dios, el Palacio Liévano y otros edificios gubernamentales y bastantes residencias privadas. La total destrucción de

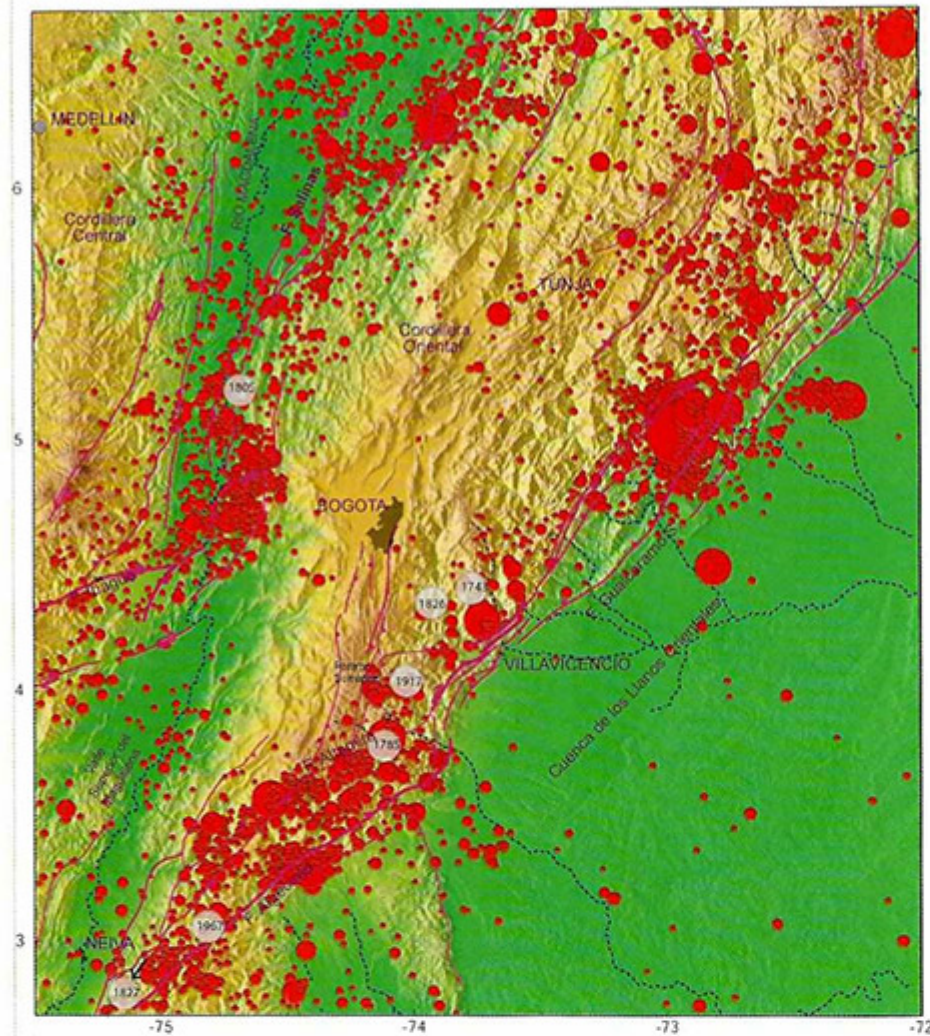


Figura 1. Sismos y fallas activas en la Cordillera Oriental. Terremotos históricos que más han afectado a Bogotá (círculos grises) y sismos con magnitud mayor a 2.4, registrados por la Red Sismológica Nacional de Ingeominas desde junio de 1993 hasta enero de 2006. En trazos rojos gruesos se encuentran las principales fallas activas en la región.

El sismo de 1785 es uno de los sismos que más severamente ha afectado a Bogotá. Como consecuencia del terremoto se publicó el primer periódico de la ciudad, llamado *Aviso del terremoto*. La conmoción fue tal que mucha gente dejó la ciudad y regresó sólo un mes después, cuando cesaron las réplicas y consideraron que el peligro había pasado. Para esa época Bogotá tendría unos 20.000 habitantes, 2.000 casas y unos 40 edificios religiosos. Pedro Ibáñez (1891), en sus *Crónicas de Bogotá*, lo describe así:

En la mañana del 12 de julio de 1785, faltando un cuarto para las ocho, violentos movimientos de oscilación y

habitantes de la capital [...]. De las tres naves del amplio templo de Santo Domingo cayeron dos, sepultando a algunas personas en las ruinas, y la parte occidental del convento quedó inhabitable; una lluvia de ladrillos desprendidos de los campanarios de la Capilla del Sagrario dio muerte a dos individuos, lo que causó espanto al oidor Messía de Caicedo, que pasaba cerca. Las torres de La Catedral, La Tercera, El Rosario y San Francisco, quedaron arruinadas [...]. Los claustros de San Francisco y La Tercera, las capillas de Guadalupe y Egipto y los viejos palacios de la Audiencia de los Virreyes y la cárcel de Curte (estos tres edificios

y Santa Clara y muchas casas particulares sufrieron graves daños, que se estimaron en considerable suma, cuando la riqueza raíz tenía bajísimo precio en la ciudad.

Sobre los eventos sísmicos del siglo xx que han afectado la capital, 1917 y 1967, tenemos información más precisa, puesto que coincidieron con los inicios de la instrumentación sísmológica a nivel global, el primero, y con la sísmología instrumental moderna, el segundo. En el catálogo de Gutenberg-Richter, de 1954, el epicentro del sismo de 1917 estuvo localizado cerca del flanco oriental de la Cordillera Oriental, a unos kilómetros al suroriente del Páramo de Sumapaz y a unos 60 km de Bogotá, lo que concuerda *grosso modo* con la localización de los sitios de mayores daños: Villavicencio, San Martín, Quetame, Nazareth. La magnitud estimada para este sismo fue 6.9. El sismo de 1967 tuvo magnitud 7.0 y su epicentro estuvo a unos 150 km de Bogotá. Aunque de magnitud mayor, a causa de la distancia, los efectos del evento de 1967 fueron relativamente menores comparados con los de 1917 (ver recuadro).

Actividad sísmica reciente

El examen de los datos históricos nos muestra, entre otras cosas, que no es necesario que el epicentro o la ruptura se localicen en el sitio mismo para que el sismo cause daños, y que los sismos que mayores daños han causado se originan al sur u oriente de la Cordillera Oriental. ¿Son éstos los únicos lugares donde se pueden producir sismos que afecten a Bogotá? El análisis de la distribución de sismos pequeños en la región, posible gracias a la instrumentación de la Red Sismológica Nacional (RSNC), sugiere algo más.

ellos sólo son detectados por los instrumentos que conforman la red, pues no son suficientemente grandes como para ser sentidos por las personas. Estos pequeños sismos, que por lo general no

representan ningún peligro, son claves para la evaluación de la amenaza sísmica, pues son un indicativo de las áreas donde se localizan zonas de debilidad y, en consecuencia, posibles generadoras de sismos en el futuro. La figura 1 muestra la distribución de sismos de magnitud mayor a 2.4 en los alrededores de Bogotá. Puede observarse que los sismos se distribuyen principalmente a lo largo de los bordes de la Cordillera Oriental y escasamente en la zona cen-

En promedio, en nuestro país ocurre un sismo de magnitud seis cada año.

tral. Particularmente a lo largo del borde, al sur de Villavicencio, se localizan numerosos sismos, en una zona que concuerda con la zona epicentral de grandes sismos históricos. A unos 120 km al

nororiente de Villavicencio, una nube de sismos nos indica el epicentro del sismo de Tauramena en 1995 y su enjambre de réplicas. También hay una densidad alta de eventos en el flanco occidental de la Cordillera que bordea el Valle del Magdalena. En esta región ocurrió un sismo en 1805 que causó daños graves en Honda, pero que no tuvo mayores repercusiones en Bogotá. La actividad microsísmica sugiere, entonces, que además de la zona oriental existen otras franjas de

debilidad donde se están acumulando los esfuerzos en la Cordillera.

Las fallas geológicas activas

Los ciclos de acumulación y liberación de energía que dan origen a los grandes sismos pueden durar de cientos a miles de años, dependiendo del grado de actividad de las fallas, de manera que en las zonas de fractura más activas podemos observar uno o más eventos significativos en el lapso de centenas o hasta decenas de años. En las zonas menos activas pueden presentarse en lapsos de hasta miles de años, y aún representan una amenaza. En estos casos, el período de observación de los datos históricos no es suficiente para detectar actividad en la falla y se amplía con estudios geológicos. Para entender el grado de actividad de las fallas que pueden afectar a Bogotá y su capacidad para generar sismos, en la Cordillera Oriental se han hecho observaciones del paisaje y del relieve en distintos niveles de detalle. Esta es una búsqueda de indicios como, por ejemplo, la interrupción de los estratos rocosos, cambio en los patrones de drenaje de las cuencas de los ríos, geometrías “anómalas” de algunas geoformas, rocas recientemente fracturadas, etc., que permiten definir las zonas de debilidad actuales y las tasas de movimiento (en milímetros por año) a lo largo de esas zonas. En las figuras 1 y 2 se muestra de manera esquemática las principales fallas activas que pueden afectar a Bogotá, definidas principalmente a partir de observaciones geológicas. Ellas corresponden al Sistema de Fallas del Borde Llanero, a un lado de la Cordillera Oriental por el oriente hasta el límite con Venezuela, el Sistema de Fallas de Algeciras-Altamira, que atraviesa la Cordillera desde el Valle Superior del Magdalena hasta el Macizo de Quetame y el Sistema de Fallas de



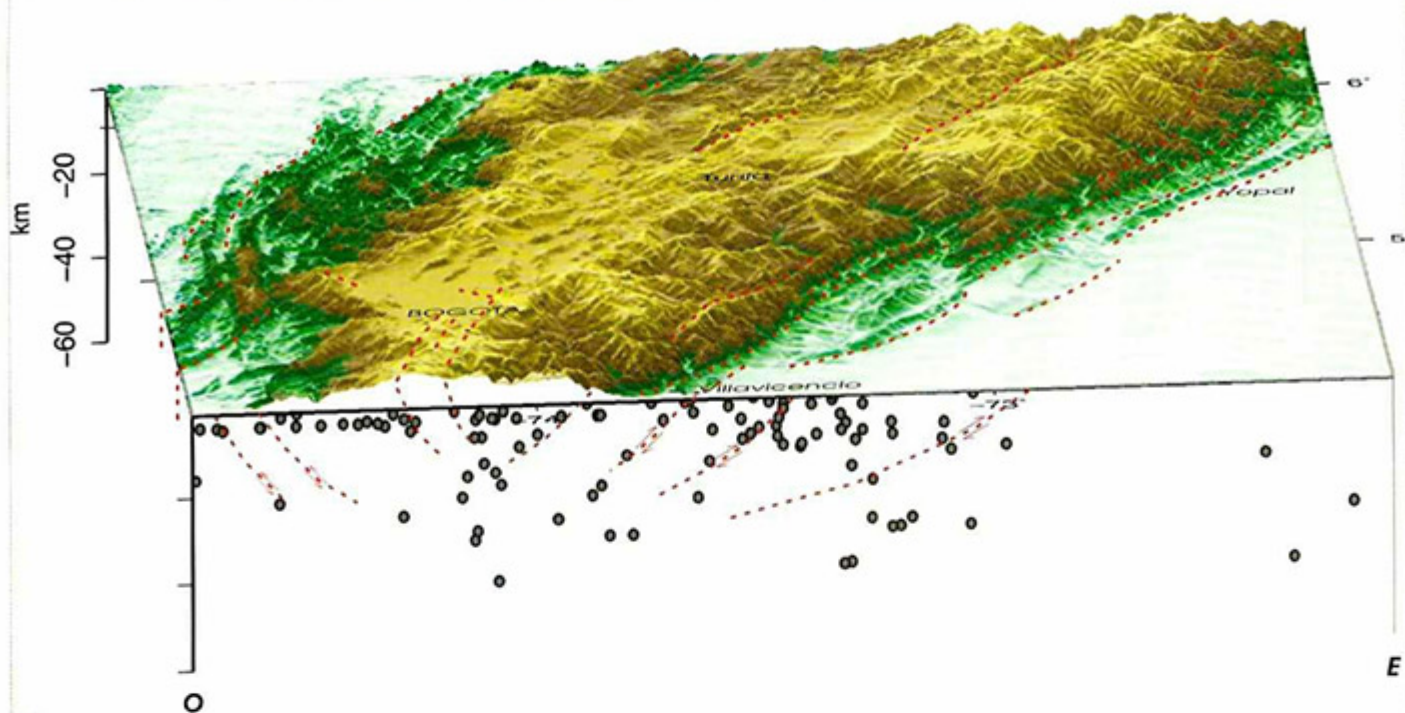


Figura 2. Diagrama esquemático que muestra la topografía del segmento central de la Cordillera Oriental, sobre la cual se han interpretado las principales fallas activas y, en la sección O-E, la geometría de las fallas y la sismicidad registrada por la Red Sismológica Nacional de Colombia.

occidente. Cerca de Bogotá se han observado fallas relativamente pequeñas que pueden producir sismos moderados, como la Falla de La Cajita, pero que por su cercanía a la ciudad también representan amenaza.

¿Cuándo ocurrirá?

La información disponible muestra que evidentemente Bogotá ha sido afectada en repetidas ocasiones por fuertes sismos y que está ubicada en medio de una región donde se localizan importantes fallas activas y donde se registra abundante actividad microsísmica. Siguiendo el principio de que "el pasado es la clave para entender el futuro", tenemos que aceptar que estos fenómenos continuarán ocurriendo. Lo que actualmente no se puede precisar es cuándo ocurrirá.

Un pronóstico preciso de la ocurrencia próxima de un sismo, que determine en término de horas o días la fecha de la ocurrencia, es una meta fuera del alcance de la ciencia actual. Por el contrario, los pronósticos a mediano plazo, como son los promedios de ocurrencia y los dimensiones más probables de los sismos que pueden ocurrir en el futuro, que constituyen la base para la estimación de la amenaza sísmica, son herramientas que nos permiten prepararnos para afrontar tales eventos y proponer estrategias para mitigar sus efectos. El código de construcciones sismorresistentes, las normativas sobre uso del suelo, los programas de reforzamiento de estructuras de líneas vitales y los programas de preparación a nivel individual y comunitario están fundamentados en este conocimiento.

Agradecimientos: A M. Sarabia y H. Cifuentes, por proporcionarnos material histórico y fotográfico de primera mano, y a los funcionarios de la Red Sismológica Nacional de Colombia, por proporcionar la información de sismicidad

Referencias bibliográficas

- Gutenberg, B. y Richter, C. F. (1954), *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, Princeton, Princeton University Press.
- Ibáñez, P. M. (1891), *Crónicas de Bogotá*, en *Imprenta de la Luz*, Bogotá. Publicación digital en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/historia/cronidos/cap28.htm> (visto en noviembre de 2006).
- Ramírez, J. E. (1975), *Historia de los terremotos en Colombia*, segunda edición, Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Investigaciones y Divulgación Geográfica.
- Sanabria, A. M. y Cifuentes, H. G. (2005), *Análisis histórico-geográfico de los sismos ocurridos en 1785 y 1917 para la determinación de epicentros e intensidades*, trabajo de grado, Bogotá, Facultad de Ciencias Humanas, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia.

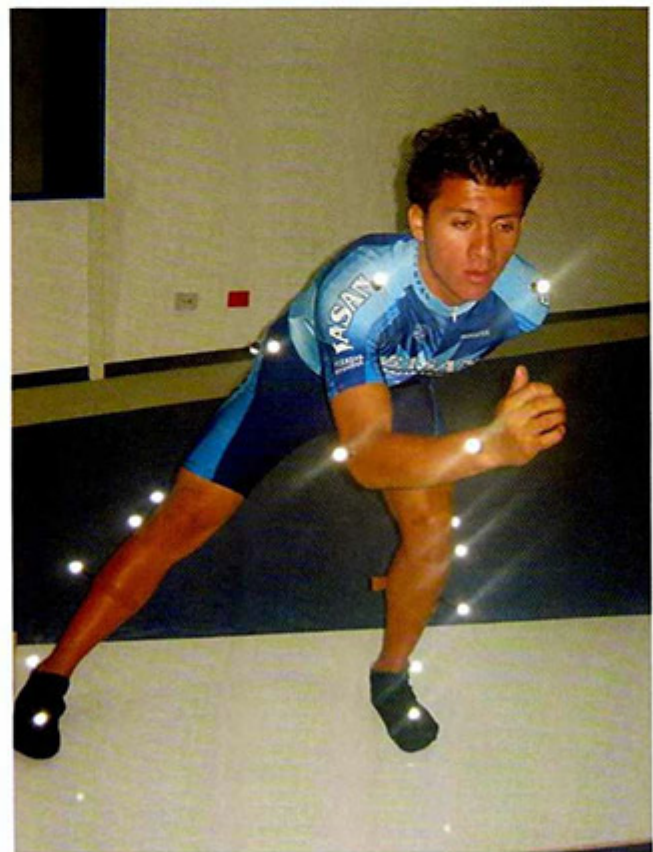
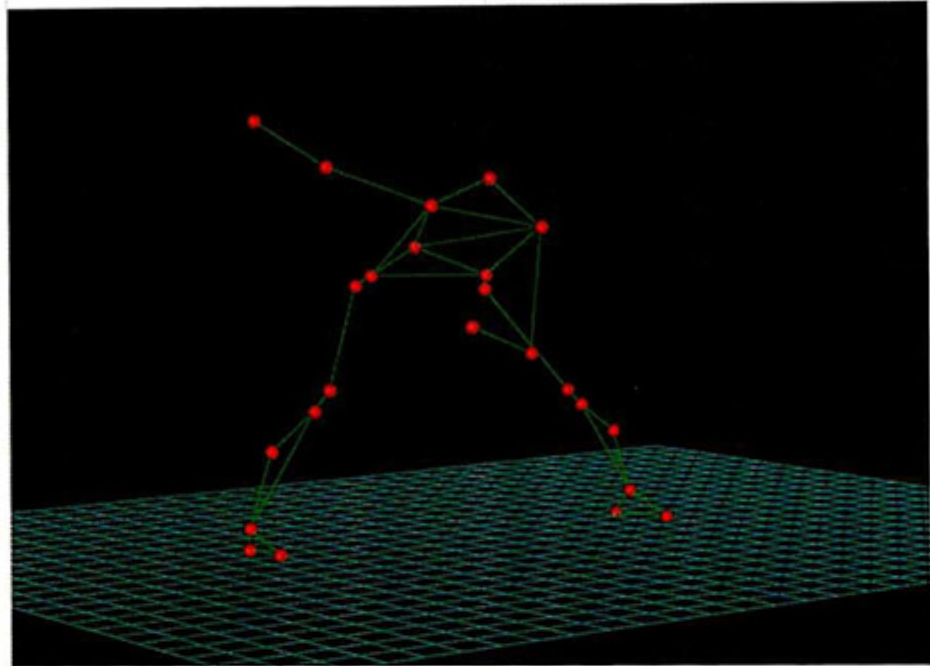
tecnología

Aplicaciones del análisis computarizado del movimiento en el deporte colombiano

Diana Estefy Gutiérrez Galvis

Ingeniera electrónica e ingeniera eléctrica
Maestría en Ciencias Biomédicas
Gerente del Laboratorio de Biomecánica Digital, Universidad Manuela Beltrán
biomecanicadigital@gmail.com

Caminar, correr, hacer deporte o trabajar son actividades que realizamos diariamente sin percibir si las estamos ejecutando de forma adecuada. Con el tiempo, las malas conductas (posturas o movimientos) pueden ocasionar lesiones en el cuerpo. En la mayoría de los casos, el análisis de estas conductas se realiza de manera cualitativa, es decir, a través de la observación directa del movimiento que es realizado por el sujeto que se va a evaluar, y se deja la comprensión y optimización al criterio del experto que esté evaluando. La información que un individuo percibe cuando observa algo en movimiento es muy limitada, el cerebro es capaz de reproducir un movimiento continuo y sin saltos con sólo 24 fotos por segundo. Esta información no es suficiente para determinar la posición de las articulaciones del cuerpo a cada instante del movimiento y determinar con precisión cuáles son las falencias. Esta es la principal razón para utilizar sistemas ópticos en el análisis de movimiento. Sin embargo, las técnicas empleadas para el análisis han evolucionado debido a que requieren bastante tiempo (principalmente, las técnicas de digitalización manual) y esta tecnología tiene costos muy altos. Los esfuerzos se han encaminado a la reducción del tiempo empleado en el procesamiento de los datos y al incremento en la precisión de los mismos. Es por esto que se están dando pasos agigantados en los laboratorios de biomecánica, donde con tan sólo unos minutos se captura la complejidad del movimiento a 100 imágenes por segundo. Esto permite dejar atrás los análisis del movimiento cualitativos y dar pasos hacia los análisis cuantitativos, que



Ubicación de esferas reflectivas para cuantificar los movimientos.

miento y comprensión de los diferentes movimientos.

Hasta hace poco tiempo, en Co-

a nuestros deportistas con sistemas tecnológicos que puedan percibir los errores y riesgos (Zheng, 2000) que

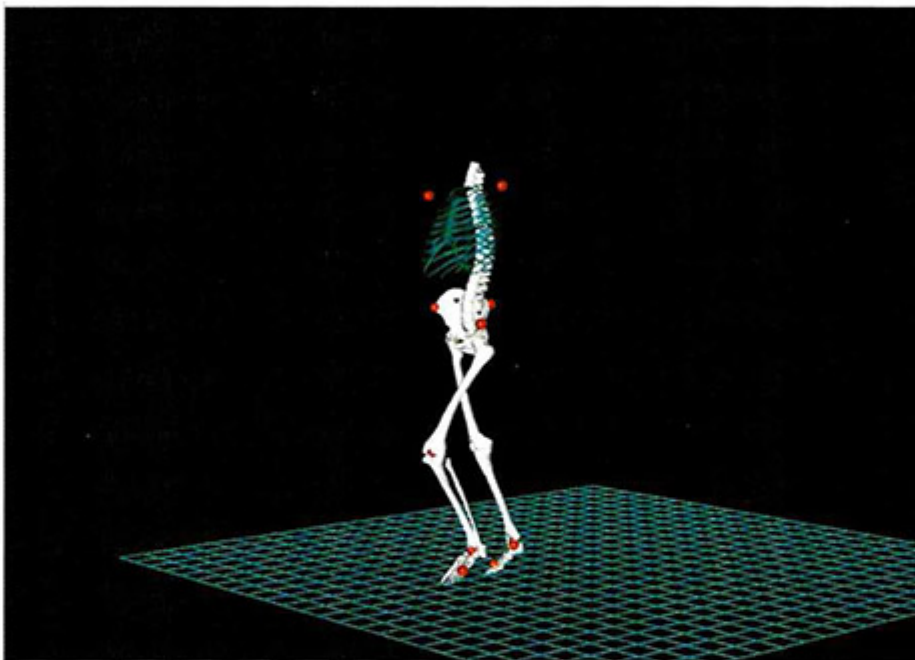
detectar y permiten capturar cualquier movimiento o postura, para conocer y optimizar el gesto deportivo (con el fin de lograr un mayor rendimiento a nivel nacional e internacional), que se disminuyan la cantidad de lesiones ocurridas por la realización inadecuada de la técnica deportiva y conocer con profundidad el gesto deportivo de las diferentes disciplinas que se practican en nuestro país.

Para realizar los análisis a los deportistas, se ubican "marcadores", esferas reflectivas de diferentes tamaños, en sitios estratégicos del cuerpo; los elementos adicionales que se utilizan en algunas disciplinas como la raqueta, las pelotas, la bicicleta, los patines, entre otros, también llevan marcadores. Se cuenta con cámaras de alta velocidad que trabajan a frecuencias infrarrojas y realizan el seguimiento de estos puntos

o marcadores de forma automática, para extraer valores cuantitativos del lugar donde se encuentra cada marcador en determinado instante del movimiento que realiza el deportista. De esta forma se logran procesar los datos y generar un modelo tridimensional que puede ser analizado a partir de gráficas que describen el movimiento.

El análisis con estos sistemas optoelectrónicos pretende conocer el movimiento del cuerpo humano desde diferentes ópticas, por eso comprende la descripción en conjunto de los movimientos del cuerpo durante la realización de una actividad; es decir, se obtiene la información a partir de desplazamientos, ángulos y trayectorias de las articulaciones del cuerpo (cinemática); la descripción de las fuerzas de mayor influencia en los movimientos del cuerpo (cinética), la cual es suministrada por dos placas transductoras de fuerza ubicadas en el piso en el lugar de la adquisición, lo que permite comprender cómo las fuerzas externas influyen en el movimiento del cuerpo; y, por último, la actividad de grupos musculares (electromiografía), usando un equipo inalámbrico que está sincronizado con todo el sistema y envía la información de las contracciones que realizan nuestros músculos en tiempo real. Esta información es muy importante, ya que evidencia los desbalances musculares y muestra con gran precisión los músculos que tienen una mayor participación en actividades específicas.

La información cuantitativa que se obtiene a partir del análisis computarizado permite determinar las diferencias que se presentan entre los distintos miembros de un mismo atleta y comparar objetivamente su gesto en las diferentes etapas del entrenamiento con otros atletas de su mismo nivel, al igual que precisar las metas de un programa de rehabilitación y determinar qué tipo de ejercicios son más convenientes para



Las esferas reflectivas permiten obtener información precisa sobre el movimiento.

se puede determinar de forma rápida y precisa con los métodos tradicionales.

Utilizar tecnología para analizar el desempeño de los deportistas permite conocer las características de la actividad competitiva de cada uno de los deportes que se analizan y, de esta forma, asesorar el contenido y la estructura del entrenamiento.

En particular, en el diagnóstico clínico en el área de la ortopedia, realizar un análisis de marcha permite:

- La corrección y rehabilitación de los trastornos de la marcha que se presentan en algunas condiciones médicas.
- La validación tecnológica de las prótesis y ortesis.
- La generación de programas preventivos y de rehabilitación para aquellas enfermedades que afectan el sistema músculo-esquelético.

En el campo del deporte, es una valiosa herramienta para entrenadores, deportistas, médicos deportólogos, metodólogos y fisioterapeutas. Con ella se logra:

- La consecución de mejoras en la técnica y el gesto deportivo de los atletas.
- Obtener mejores resultados de competencia.
- La disminución de lesiones ocasionadas por una inadecuada práctica del gesto deportivo.
- Apoyo para el proceso de rehabilitación y rápido retorno a la actividad deportiva.

Con estas técnicas los entrenadores podrían valorar de una forma objetiva el rendimiento de sus atletas para modificar cómo se plantean tanto los entrenamientos como la evolución. Todo esto contribuye a mejorar el desempeño en la formación de campeones. Para la prevención de enfermedades de origen laboral, estas técnicas facilitan los análisis ergonómicos de puestos de trabajo de manera cuantitativa.

Finalmente, esta herramienta

cine digital, ya que es posible capturar los movimientos para crear modelos tridimensionales y ser animados en programas especiales con movimientos naturales y reales.

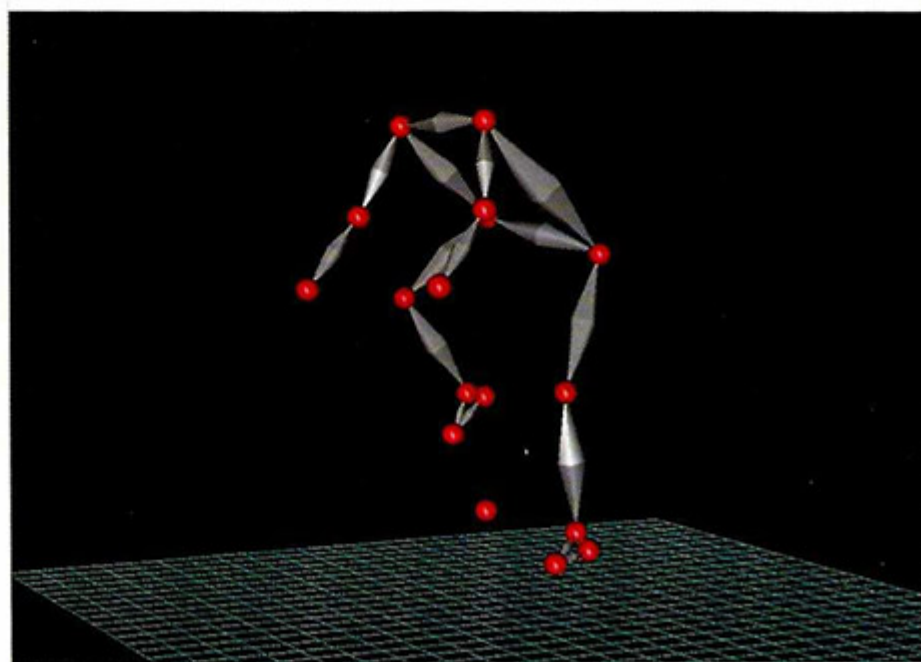
Referencias bibliográficas

Kautz, S. y Hull, M. (1995), Dynamic optimization analysis for equip-

ment setup problems in endurance cycling, en *Journal of Biomechanics* 28: 1391-1401.

Nordin, M. y Frankel, V. H. (2001), *Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System*, Ozkaya.

Zheng N. y Barrentine, S. W. (2000), Biomechanics and Motion Analysis Applied to Sports, en *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America* (11)2: 309-322.



El análisis de marcha permite corregir defectos en la preparación de los deportistas.

astronomía

El Nóbel de física, Colombia y el universo

Sergio Torres Arzayús

PhD en física

Investigador

Centro Internacional de Física

verada@earthlink.net

Uno de los más celebrados premios Nobel en el área de astrofísica resultó de un trabajo publicado en un escueto artículo de dos páginas, donde un par de radioastrónomos reportaba haber detectado ruido en una antena de radio. ¿Por qué un experimento aparentemente inocuo fue merecedor del Nobel? Ganarse el Nobel de física no solamente representa recibir la suma de 10 millones de coronas suecas, un viaje en primera clase a Estocolmo y un banquete con su majestad, el rey de Suecia. El Nobel es el máximo reconocimiento que un científico puede recibir y conlleva un prestigio de altísimo nivel, por eso se otorga a trabajos extraordinarios. El trabajo en cuestión es nada menos que el descubrimiento hecho por Arno A. Penzias y Robert W. Wilson, en 1965, de la radiación térmica que la gran explosión ("big bang") que dio origen al universo dejó, y por el cual recibieron el Nobel en 1978. Este descubrimiento revolucionó la cosmología al dar evidencia a favor de la teoría del Big Bang y explicar la expansión del espacio y la abundancia relativa de los núcleos ligeros (helio, deuterio y litio) en el universo.

El experimento de Penzias y Wilson es el ejemplo arquetipo del descubrimiento al azar. Las observaciones no fueron dirigidas de ninguna manera para descubrir los rastros del Big Bang. Mientras que estos dos astrónomos trabajaban en los laboratorios de la empresa de teléfonos Bell, en Nueva Jersey, haciendo mediciones de interferencia en telecomunicaciones con satélites, apareció un fondo de ruido en su aparato receptor. Después de tratar en vano de hallar la fuente de ruido en factores locales, éste fue atribuido a la temperatura del universo. Las observaciones fueron reportadas en un artículo insustancial titulado "Medición del exceso de temperatura de antena a 4080 MHz", que es ejemplar por su brevedad, precisión y carencia de alardes.

De los 100 premios Nobel de física otorgados desde su creación por Alfred Nobel en 1901, sólo siete, y todos ellos en los últimos años, pertenecen al área de astrofísica. El hecho de que los Nobel en astrofísica se hayan dado sólo en los últimos años es reflejo del avance de la materia: Hans Bethe (1967), por el descubrimiento del mecanismo de generación de energía en las estrellas; Martin Ryle y Anthony Hewish (1974), por su trabajo en radioastronomía y el descubrimiento de los pulsares; Penzias y Wilson (1978), por el descubrimiento de la radiación cósmica de fondo; Subramanyan Chandrasekhar y William A. Fowler (1983), por avances en la teoría de la estructura y la evolución estelar (Chandrasekhar) y por sus estudios de las reacciones nucleares que formaron los elementos primordiales en el universo (Fowler); Russell A. Hulse y Joseph H. Taylor (1993), por el descubrimiento de un nuevo tipo de pulsares; Riccardo Giacconi (2002), por sus contribuciones al avance de la astrofísica de rayos x; y este año el premio va para George Smoot y John Mather, por liderar el proyecto COBE ("Explorador del Fondo Cósmico") de la NASA, con el cual se descubrieron las anisotropías en la radiación de fondo y se midió con precisión su espectro.

La mayoría de los Nobel en física (64%) se han otorgado a trabajos experimentales, y el tiempo típico que transcurre entre el trabajo y la entrega del premio supera los 15 años, tiempo suficiente para asegurarse de que el descubrimiento ha quedado firmemente establecido, es aceptado por la comunidad científica, corroborado por múltiples experimentos independientes y se ha podido determinar la contribución del trabajo al avance de su campo. En física de altas energías, por ejemplo, pasaron 26 años desde el descubrimiento de una segunda familia de neutrinos (1962) hecho por Leon Lederman y su reconocimiento con el Nobel (1988), una vez quedó claro el impacto de su descubrimiento en el cuerpo del modelo estándar de partículas e interacciones. En el caso de Penzias y Wilson pasaron 12

de los experimentos modernos es un aspecto que ha cambiado sustancialmente en los últimos años: mientras que en el descubrimiento de Penzias y Wilson contribuyeron sólo dos personas, el COBE fue el trabajo de un equipo de mil personas.

La astrofísica es la aplicación de la física a los procesos que se observan en el universo, como la emisión de pulsos de rayos gama, planetas extrasolares, formación de agujeros negros, supernovas, emisión de radio-ondas en la galaxia y muchos otros fenómenos. Por otro lado, la cosmología es un nicho de la astrofísica donde se estudia el universo como un todo: su composición, su origen y evolución. Penzias y Wilson, y Smoot y Mather han sido los únicos en recibir el premio Nóbel por investigaciones en cosmología. Antes de 1965, excepto por el descubrimiento de la expansión del espacio hecho por Hubble en 1929, no existía la cosmología experimental.

A diferencia de las otras áreas experimentales, en la astrofísica y sobre todo en la cosmología no se hacen experimentos de laboratorio en el sentido tradicional de recrear un fenómeno un número arbitrario de veces para hacer mediciones precisas. No podemos crear una estrella o un agujero negro en el laboratorio, mucho menos recrear el Big Bang. Para los cosmólogos el experimento del universo ya ha sido realizado. Basta con recoger los datos y hacer el análisis. Por esta razón se usa el adjetivo "observacional" para referirse a la astrofísica experimental.

El COBE: un termómetro cósmico

En muy resumidas palabras podríamos decir que lo que hicieron Penzias y Wilson y luego Smoot y Mather fue medirle la temperatura al universo. ¿Cómo es posible medir la temperatura del universo con una antena de radio? Que una antena se pueda usar como termómetro se basa en el hecho de que todo cuerpo caliente emite radiación electromagnética. Esta radiación (radiación térmica) es producida por la energía de agitación de los átomos. Mientras más caliente es una sustancia, más energética es

la radiación que emana y, por lo tanto, más alta la frecuencia pico de la radiación.

La teoría de la radiación térmica fue motivo de intensa actividad para los físicos a finales del siglo XIX, pues contaron con las contribuciones de notables científicos como Kirchoff, Wien, Boltzman, que culminaron con el trabajo de Max Plank. La noción de "quantum" que desarrolló Plank (premio Nóbel 1918) y que dio nacimiento a la teoría cuántica se introdujo para explicar las características de la radiación de cuerpo negro (una sustancia ideal que posee la propiedad de convertir toda la energía térmica de sus átomos en radiación electromagnética). De acuerdo a la termodinámica, y tal como lo demostró Plank, esta radiación exhibe un espectro característico (figura 1) que depende únicamente de la temperatura del mismo. La relación de Stefan-Boltzman $\rho = AT^4$ (donde ρ es la densidad de energía, T la temperatura y A una constante de proporcionalidad) es consecuencia del espectro de cuerpo negro.

Con base en el hecho de que todo cuerpo cuya temperatura es mayor a absoluto emite radiación electromagnética y que esta radiación tiende a ser de mayor frecuencia cuanto mayor sea la temperatura, se puede decir que una antena de radio es un

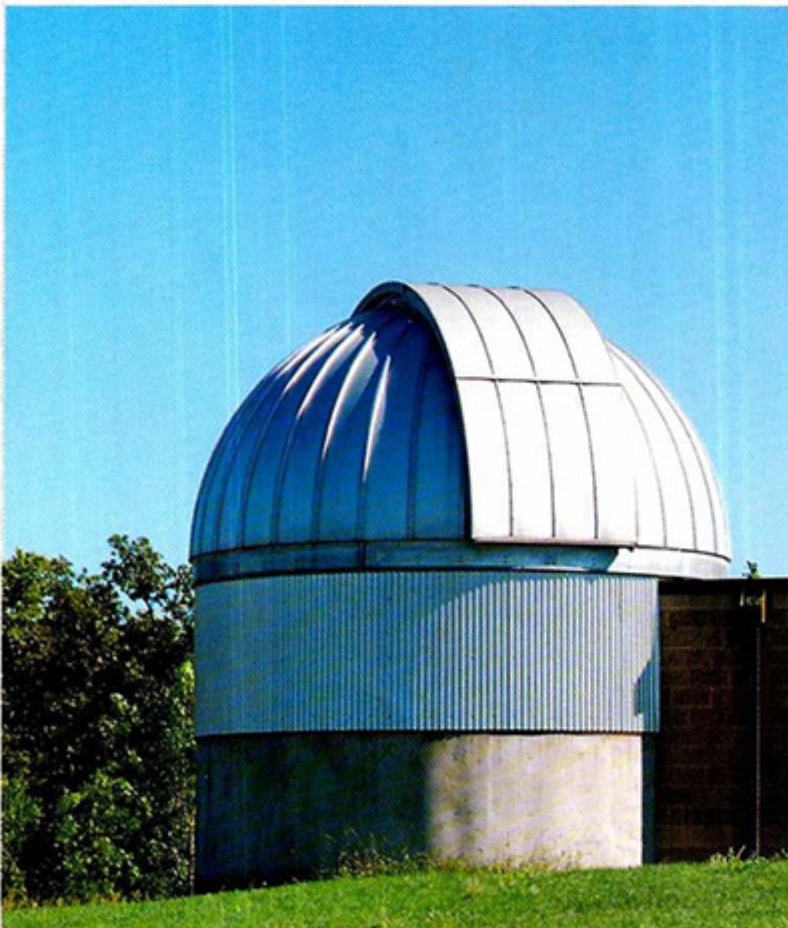
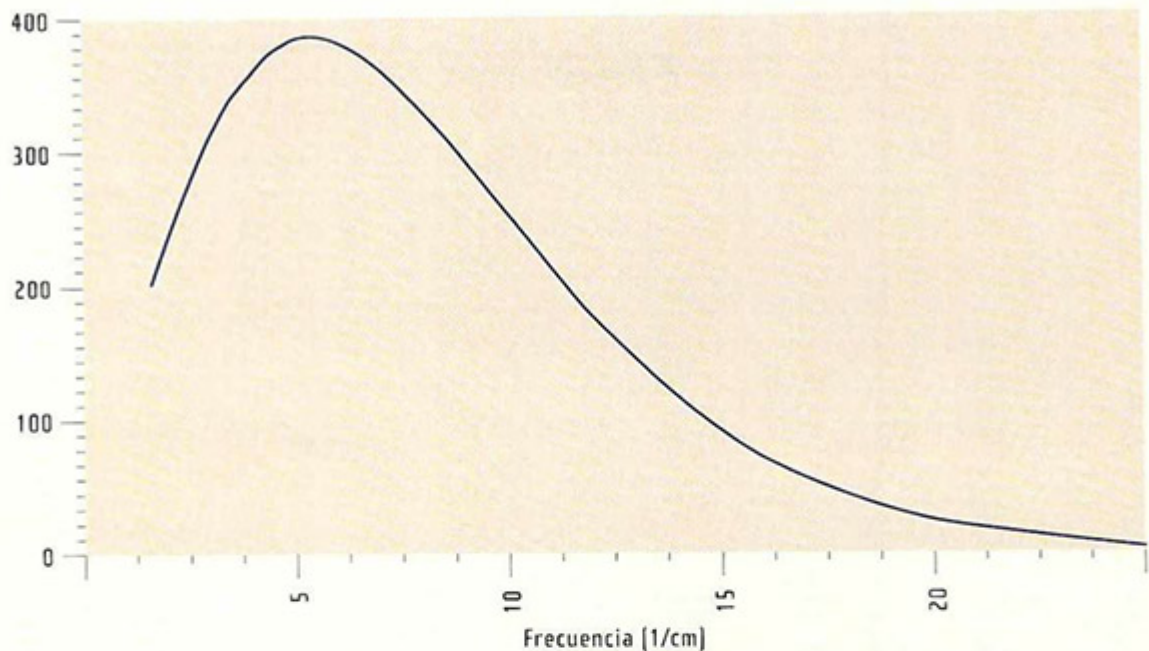


Figura 1. Espectro de cuerpo negro de la radiación cósmica de fondo tal como fue medido por el COBE



Fuente: *The Astrophysical Journal*, 473:576-587, 1996.

estar sintonizada en la frecuencia adecuada para que la temperatura deseada pueda ser medida. Alguien podría señalar la poca utilidad de un termómetro cuyo uso requiera saber el valor de la temperatura de antemano. Esta aparente deficiencia no es para nada limitante cuando lo que se desea es medir un efecto que es predicho por la teoría, como en el caso de la radiación térmica predicha por la teoría del Big Bang. La suerte de Penzias y Wilson está en que, sin saberlo, sintonizaron su antena justamente en el rango de frecuencias (microondas) donde la temperatura del universo se puede medir.

¿Cuál es la relación de todo esto con el universo? Estamos en 1965, Penzias y Wilson no saben qué está sucediendo con su antena que recibe ruido a toda hora del día y en todas las direcciones. Igualmente ignoraban el hecho de que el físico ruso George Gamow y sus colegas R. A. Alpher y R. C. Herman habían predicho 16 años antes la existencia de dicho ruido. Gamow consideraba que el universo era como un gas caliente de partículas nucleares de alta temperatura y densidad. En el modelo naciente del Big Bang, Gamow usaba el conocido hecho de la expansión del espacio para predecir una época remota, cuando el universo era suficientemente caliente como para encender reacciones nucleares, en la que se sintetizaron los elementos ligeros que observamos en el universo. A medida que el universo se expande se enfría. Gamow calculó la densidad y la temperatura necesarias para la nucleosíntesis de los elementos ligeros, con lo cual obtuvo la densidad de radiación en el pasado. La reducción en la densidad de energía de radiación por la expansión del espacio se puede calcular y así estimar su valor hoy, del cual se deriva la temperatura presente del universo usando la relación de cuerpo negro $\rho = \sigma T^4$. El resultado de este sencillo cálculo fue publicado en 1948 y concluía que la temperatura del universo hoy debe ser de 5°K, muy cerca al valor de 3,5 grados que midieron Penzias y Wilson y de los 2,725°K conocidos hoy con una precisión de 1 mili-Kelvin, gracias al COBE (Kelvin es la escala absoluta de temperatura, el cero absoluto equivale a -273,15°C).

Curiosamente estos resultados no eran muy conocidos por los astrónomos en ese entonces ni, al parecer, por el grupo de Princeton (J. Peebles, D. Wilkinson, R. H. Dicke), quienes de manera independiente llegaron a la misma predicción que Gamow y planeaban hacer mediciones del fondo de radiación.

Posteriormente al descubrimiento del fondo de radiación se creó toda una "industria" académica

del espectro y de la homogeneidad de la radiación de fondo en globos, aviones, picos de montañas, desiertos y hasta de la Antártida.

Rápidamente los intentos por precisar las propiedades de la radiación de fondo se vieron limitados por el ruido de microondas emitido por las moléculas de agua en la atmósfera terrestre, que se interpone como un velo de radiointerferencia entre el fondo cosmológico y el instrumento de medida. Surge así la necesidad de hacer observaciones fuera de la atmósfera, tal como fue propuesto a la NASA por Smoot con el COBE, Mather y Mike Hauser a finales de la década de los setenta. La idea era usar una plataforma satelital en la cual se montarían las antenas sintonizadas en el rango de microondas, donde mejor se puede medir la temperatura del cosmos.

El 18 de noviembre de 1989 se lanzó el cohete Delta que llevó al COBE a su órbita polar, a 900 km de la Tierra. La plataforma incluía tres instrumentos: el radiómetro propuesto por Smoot (DMR), para medir diferencias de temperatura en diferentes direcciones del espacio, el espectrómetro FIRAS, de Mather, para medir el espectro y el DIRBE para medir el fondo de radiación difusa en el infrarrojo.

Manchas en el universo

Las observaciones astronómicas revelan la presencia de macroestructuras en el universo tales como las galaxias y los cúmulos de galaxias. Estas estructuras se formaron a partir de pequeñas irregularidades en la distribución de la materia, según lo explicó el físico ruso E. M. Lifshitz, de acuerdo al formalismo de fluctuaciones en la densidad de la materia. Desarrollos teóricos posteriores proveen el mecanismo que genera las perturbaciones en el plasma primordial. El modelo inflacionario de A. Guth y A. Linde, que postula una época de crecimiento acelerado, explica el origen mismo del Big Bang y el espectro de las fluctuaciones en el plasma primordial a partir de fluctuaciones cuánticas en el campo que genera la inflación.

La prueba de que el espectro de la radiación de fondo es un espectro de cuerpo negro con la temperatura predicha por la teoría es, sin duda, un resultado de inmenso significado. Sin embargo, para mantener la consistencia del modelo del Big Bang con respecto a las macroestructuras del Universo, es importante también determinar si la temperatura del Universo es constante o si existen pequeñas variaciones que dependen de la dirección de observación. Según la teoría deben existir pequeñas diferencias de temperatura.

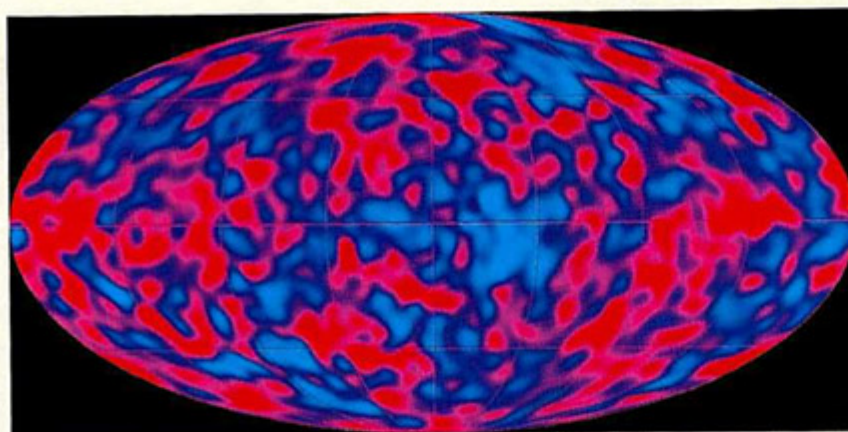
¿Cuál es la conexión entre las grandes estructuras del cosmos y la temperatura del universo? Cuando apenas habían transcurrido 300 mil años desde su origen, el universo era como una sopa muy caliente (3000°K) de partículas. Las partículas eran los protones, neutrones, electrones y la luz (a temperaturas elevadas la luz se comporta como partículas, es decir, los fotones). Todas estas partículas participaban de las mismas fluctuaciones del plasma, es decir, los fotones y la materia estaban acoplados. Cuando el universo se expande, este acople se pierde; materia y radiación se divorcian y siguen cada una su propio camino. La materia forma estrellas, galaxias y cúmulos, la radiación se enfría y llena todo el espacio

con la radiación de fondo que apareció un día en la antena de Penzias y Wilson. Las fluctuaciones en el plasma primordial son las semillas comunes que generan la estructura en la materia y las anisotropías (desigualdades) en la temperatura de la radiación. Los cálculos teóricos indican que el universo, en el momento del desacople de la materia y

De los 100 premios Nóbel de física otorgados desde su creación por Alfred Nobel en 1901, sólo siete pertenecen al área de astrofísica.

la radiación, sustenta tres mecanismos de generación de anisotropías en la radiación de fondo: cambios en la longitud de onda de la radiación por el efecto Doppler, debido a la velocidad de las ondas acústicas en el plasma; anisotropías intrínsecas producidas por las fluctuaciones mismas en la densidad de mate-

Figura 2. Mapa de las anisotropías en la radiación cósmica de fondo observadas por el COBE.



Las manchas en el mapa representan pequeñas variaciones de la temperatura relativas al valor medio (rojo = más caliente, azul = más frío).

escalas angulares de 10 grados o mayores, mientras que las anisotropías intrínsecas y el efecto de ondas acústicas se manifiesta a escalas angulares pequeñas. Cualquiera que sea el mecanismo, la respuesta es clara: la aparición de estructura en el universo debe haber dejado una huella en la radiación de fondo que se manifiesta en pequeñas anisotropías.

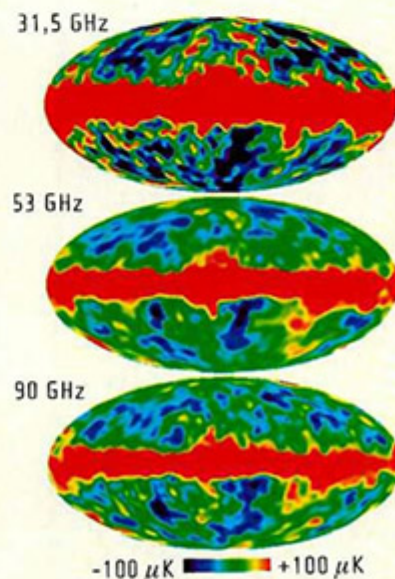
Las anisotropías en la radiación de fondo a una escala angular de 10 grados se observaron por primera vez con los instrumentos DMR del COBE, después de acumular tres años de observaciones ininterumpidas (figura 2). Las mediciones indicaban desviaciones de temperatura (relativo al valor medio) al nivel de 30 millonésimas de grados Kelvin, lo que coincidía con las predicciones teóricas. Mediciones más recientes hechas por el proyecto WMAP han logrado sondear la radiación cósmica con mayor sensibilidad y resolución angular, al detectar las anisotropías que deja el efecto Doppler y pone así cotas más restringidas a los parámetros cosmológicos: vivimos en un universo de geometría plana, de origen caliente (Big Bang) e inflacionario, de 13.700 millones de años, con un gran componente de materia oscura (0.196), una enorme cantidad de energía de repulsión (0.762) y relativamente baja cantidad de materia nuclear "normal" (0.042). Las proporciones anteriores se expresan en términos de la densidad crítica 10^{-26} Kg/m³.

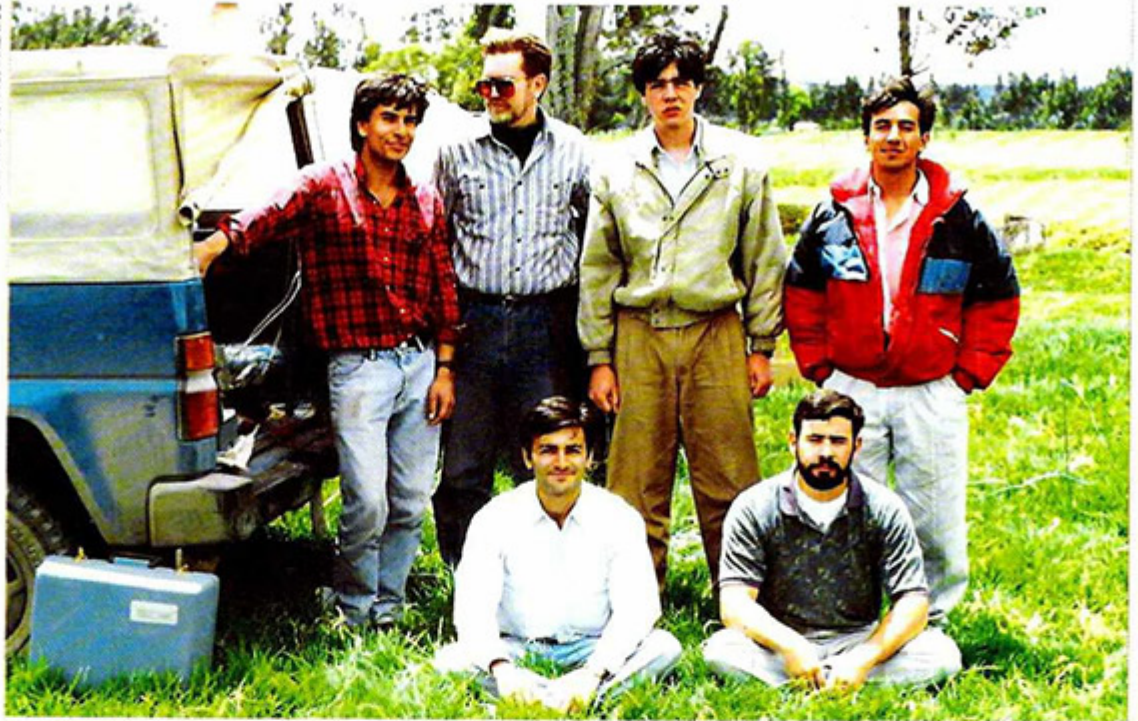
La galaxia y Colombia

Los primeros análisis de las anisotropías de la radiación de fondo basados en los datos del COBE indicaban la presencia de las huellas que las fluctuaciones dejaron en la densidad de materia. Sin embargo, para profundizar en los estudios era necesario hacer mediciones cada vez más precisas de la variación direccional de la radiación del universo. Este objetivo encontró un obstáculo serio en la radiación de nuestra galaxia, que aparece como la señal más intensa en los aparatos de medición (figura 3).

Nuestra galaxia, la Vía Láctea, está compuesta por miles de millones de estrellas sumergidas en un disco de gas que está com-

Figura 3. Mapas del COBE a las diferentes frecuencias [31.5, 53 y 90 GHz] donde aparece la radiación galáctica [banda central].





Expedición para el estudio de sitios en Colombia. En la foto: Enrique Chau, George Smoot, Julián Gómez, Mauricio Becerra, Sergio Torres y Andrés Umaña.

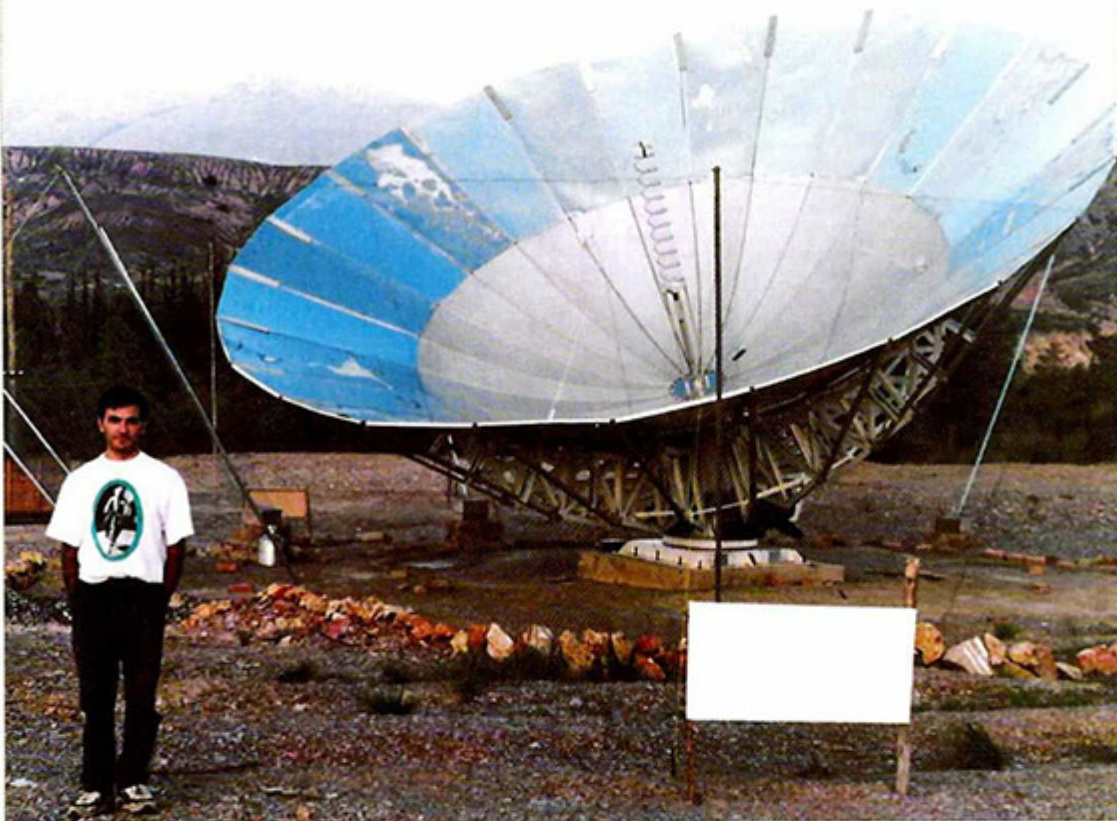
medio interestelar existen tres mecanismos básicos de radiación electromagnética. Los electrones libres se mueven bajo la influencia del campo magnético de la galaxia, y emiten radiación sincrotrón. Los átomos ionizados en nubes de hidrogeno producen una emisión característica (*bremstrahlung*). Finalmente, el polvo intergaláctico emite en el infrarrojo. Cada uno de estos componentes tiene un espectro característico que permite tratarlos separadamente. La disponibilidad de mediciones precisas de la radiación que proviene de la galaxia provee una aplicación inmediata que sirve no sólo para el estudio de los procesos de radiación ya mencionados, sino que también genera la posibilidad de separar en los mapas la componente galáctica de la radiación cósmica de fondo.

Durante una visita de trabajo a Washington en 1990, el autor propuso a Smoot (con quien ya había trabajado durante el período 1986-1989 en el proyecto COBE) hacer una medición de la radiación electromagnética de la galaxia desde Colombia. Nació así el proyecto GEM (*Galactic Emission Maps*). La idea era usar el mismo radiotelescopio desde tres sitios distribuidos en latitud de tal forma que alcanzara el mayor cubrimiento posible de la esfera celeste. Colombia, por su posición ecuatorial, ofrecía una ventaja estratégica al permitir enlazar observaciones realizadas en el hemisferio norte (California) y sur (Brasil).

Con el apoyo de Colciencias y de la National Science Foundation se formó en 1990 el primer equipo GEM conformado por el grupo de investigadores de Smoot de los Laboratorios Lawrence de Berkeley (Universidad de California), el INPE en Brasil y el Centro Internacional de Física de la Universidad de los Andes y el Observatorio Astronómico en Colombia. Una vez construido el radiotelescopio con una antena parabólica Scientific Atlanta de 5,5 m y receptores a 408, 1465, 2300 y 5000 Mhz, se hicieron las primeras mediciones desde el desierto del Owens Valley en California. En 1992 Smoot viajó a Colombia y participó en el estudio de selección de sitio en Colombia.

Por su clima seco y baja radiointerferencia, a partir del estudio se eligió la región desértica en cercanías a Villa de Leyva para la instalación del radiotelescopio GEM. En el período marzo-mayo de 1995 se completaron 745 horas de observación con el receptor de 408 MHz, lo que permitió que se realizara el primer radiomapa galáctico desde latitudes ecuatoriales (figuras 4). GEM sigue activo en Brasil bajo la tutela de Thyrso Villela.

Un grupo de estudiantes y jóvenes investigadores en Colombia participaron en un experimento de



© SERGIO TORRES ARZAVÓS

Radiotelescopio GEM en Villa de Leyva.

el proyecto GEM han resultado 11 artículos publicados en revistas internacionales evaluadas por pares, ocho artículos publicados en memorias de simposios internacionales, dos tesis de maestría y dos tesis universitarias (referencias completas aparecen en la publicación *The Galactic Emission Mapping (GEM) Project: Summary and Results* (Torres 2003b). La experiencia del proyecto GEM fue un ejemplo de colaboración internacional exitosa en áreas de investigación de punta, lo que brindó una excelente oportunidad de formación a investigadores jóvenes en países en vías de desarrollo. Por estas razones el proyecto GEM fue adoptado como proyecto líder por la Oficina de Asuntos Espaciales de las Naciones Unidas.

Lecturas sugeridas:

Torres, S. (2005), El cosmos ayer y hoy, en *Innovación y Ciencia*, 12(4): 22-29.

——— (2003), Proyecto WMAP de la NASA confirma el Big-Bang, en *Innovación y Ciencia*, 11(1): 42-48.

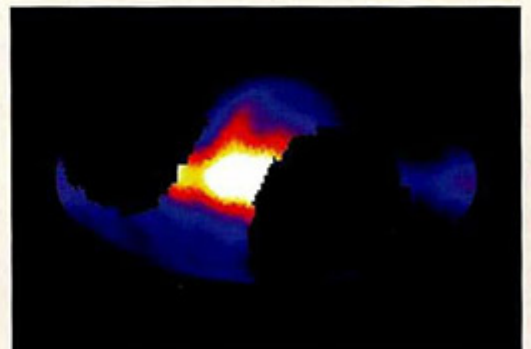
——— (2003), The Galactic Emission Mapping (GEM) Project: Summary and Results”, en *Developing Basic Space Sciences World-Wide: A Decade of UN/ESA Workshops*, W. Wamsteker, R. Albrecht y H. J. Haubold, eds., Kluwer Academic Publishers, Dordrecht: 123-129.

——— (1995), La Vía Láctea: estudios recientes y aportes del proyecto GEM en Colombia, en *Innovación y Ciencia*, 4(5): 30-37.

——— (1994), El origen del universo, en *Innovación y Ciencia*, 6(2): 44-49.

Más información sobre los temas tratados en este artículo se puede encontrar en la página

Figura 4. Mapa parcial de la emisión de radio de la Galaxia a 408 MHz con datos obtenidos desde Colombia.



VIH-sida: un vistazo molecular



Rafael Antonio Forero M.
MSc Bioquímica,
Universidad de Los Andes
Profesor de Bioquímica,
Universidad Pedagógica Nacional.
rforeromolano@gmail.com.

Introducción

El sida, llamado la plaga moderna, se considera una de las mayores pandemias de la segunda mitad del siglo xx. De origen aún incierto, probablemente originario de África Central, el sida se extendió al Caribe y desde allí a Estados Unidos y Europa. Descrito tres años después de su aparición, fue considerado una forma de retrovirus humano denominado Virus Linfotrópico T Humano (VLTH-III), denominado también Virus de Inmunodeficiencia Humana (VIH-1) (Barre-Sinoussi, 1983; Gallo, 1984 y 1987). El VIH-1 se adquiere por contacto sexual, exposición a sangre infectada, transmisión perinatal, pero sin duda alguna la incidencia del sida en la población homosexual recibe el mayor interés de los organismos de salud pública, a pesar de que cerca del 60% de los casos de VIH-1 se da entre heterosexuales (Epstein, 1991). Podemos ver que el sida representa una de las crisis de salud pública más importantes del mundo, ya que su tratamiento, aparte de ser muy costoso, no ofrece una garantía por parte de los grandes centros de investigación mundial. El diseño y desarrollo de drogas que controlen el virus y la elaboración de vacunas que prevengan el proceso infeccioso son los objetivos de mayor prioridad en los centros de salud pública. En el presente artículo se describen algunos aspectos moleculares relacionados con el proceso infeccioso del Virus de Inmunodeficiencia Humana, VIH-1.

Estructura genómica del VIH-1

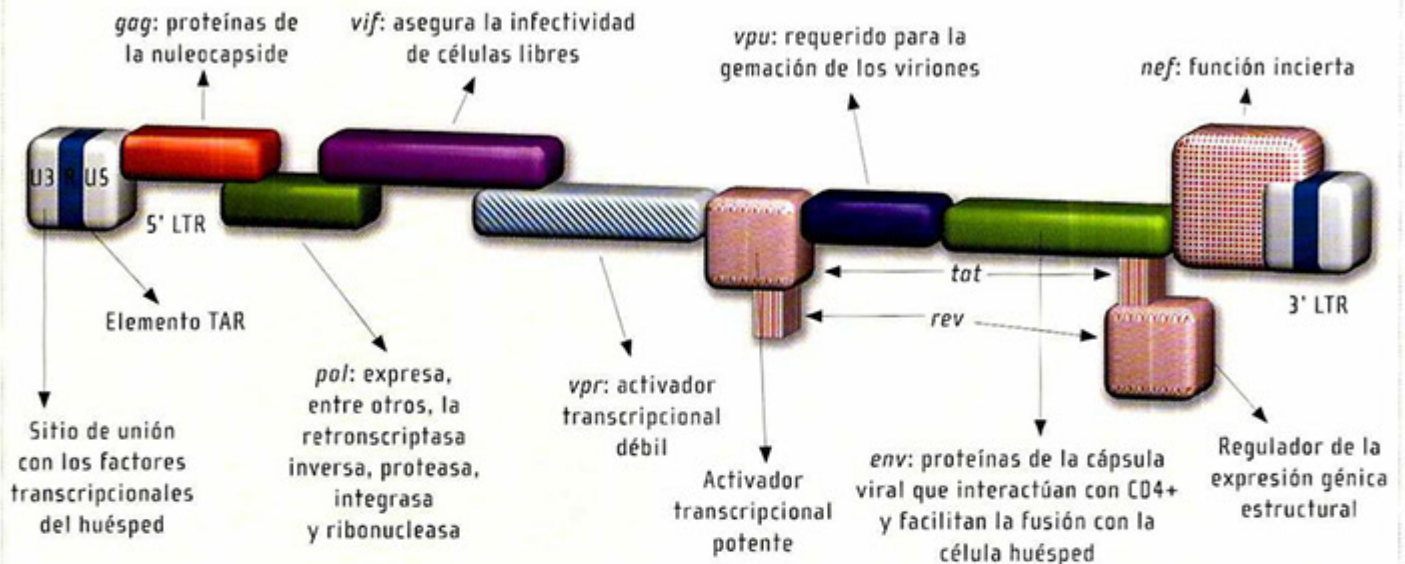
El VIH-1, un retrovirus que ataca específicamente a los humanos, es miembro de la subfamilia *Lentivirinae*. La característica primordial de esta clase de virus son las infecciones oportunistas que se presentan en los huéspedes animales. El ataque del virus influye notablemente el sistema nervioso, causa depresión de la respuesta humoral y la aparición de sarcoma de Kaposi, etc. (Letvin, 1990).

Una de las características que distingue a este virus de otros retrovirus es la complejidad de su genoma. La mayoría de los retrovirus tan sólo necesitan tres genes para el proceso de replica-

ción y ensamblado: *gag*, *pol* y *env* (Varmus, 1988). Los genes *gag* y *env* expresan las proteínas para la envoltura de la nucleocapside de superficie, mientras el gen *pol* hace la labor de codificación para la enzima retrotranscriptasa inversa. En el VIH la presencia de seis genes adicionales es la causa de la complejidad del proceso infeccioso del virus y lo que lo hace casi invulnerable al ataque del sistema inmune. Los ge-

Es importante conocer el proceso de invasión del VIH-sida para elaborar posibles vacunas que ayuden a prevenir la enfermedad.

Figura 1. Estructura genómica del VIH-1



Fuente: Epstein, F. (1991), *New England Journal*, (5)324: 309.

Los viriones VIH-1

Los estudios de microscopía electrónica de alta resolución muestran que los viriones VIH-1 presentan una estructura icosaédrica (Gelderblon, 1987) con 72 espigas externas. Estas espigas están formadas por dos complejos proteicos que constituyen la envoltura viral: la gp120 y la gp41. La bicapa lipídica, que conforma la envoltura del virus, también presenta proteínas del huésped, incluyendo antígenos del

complejo mayor de histocompatibilidad tipo I y II, que se adquieren durante la gemación del virión. La nucleocapside está constituida por las proteínas p24, p17, p9 y p7, las cuales son cortadas proteolíticamente a partir de su precursor, una proteína denominada *gag* de 53kD. La proteína fosforilada p24 es el principal componente del interior de la nucleocapside; la proteína p17 estabiliza los componentes externos e internos del virión. La proteína p7 se une directamente al genoma del

ARN y, junto con la p9, forman el eje del nucleoide viral.

Dos copias de ARN de cadena sencilla constituyen la estructura génica del VIH-1 y éstas asocian enzimas virales como la retrotranscriptasa, integrasa y proteasa (figura 2).

En el VIH la presencia de seis genes adicionales es la principal causa de la complejidad del proceso infectivo del virus.

El proceso de invasión

La entrada del virus a la célula huésped es un proceso que implica una serie de interacciones altamente coordinadas y específicas entre proteínas. La unión de dos diferentes receptores, el marcador molecular

Figura 2. Virión VIH 1 mostrando la expresión de sus genes.

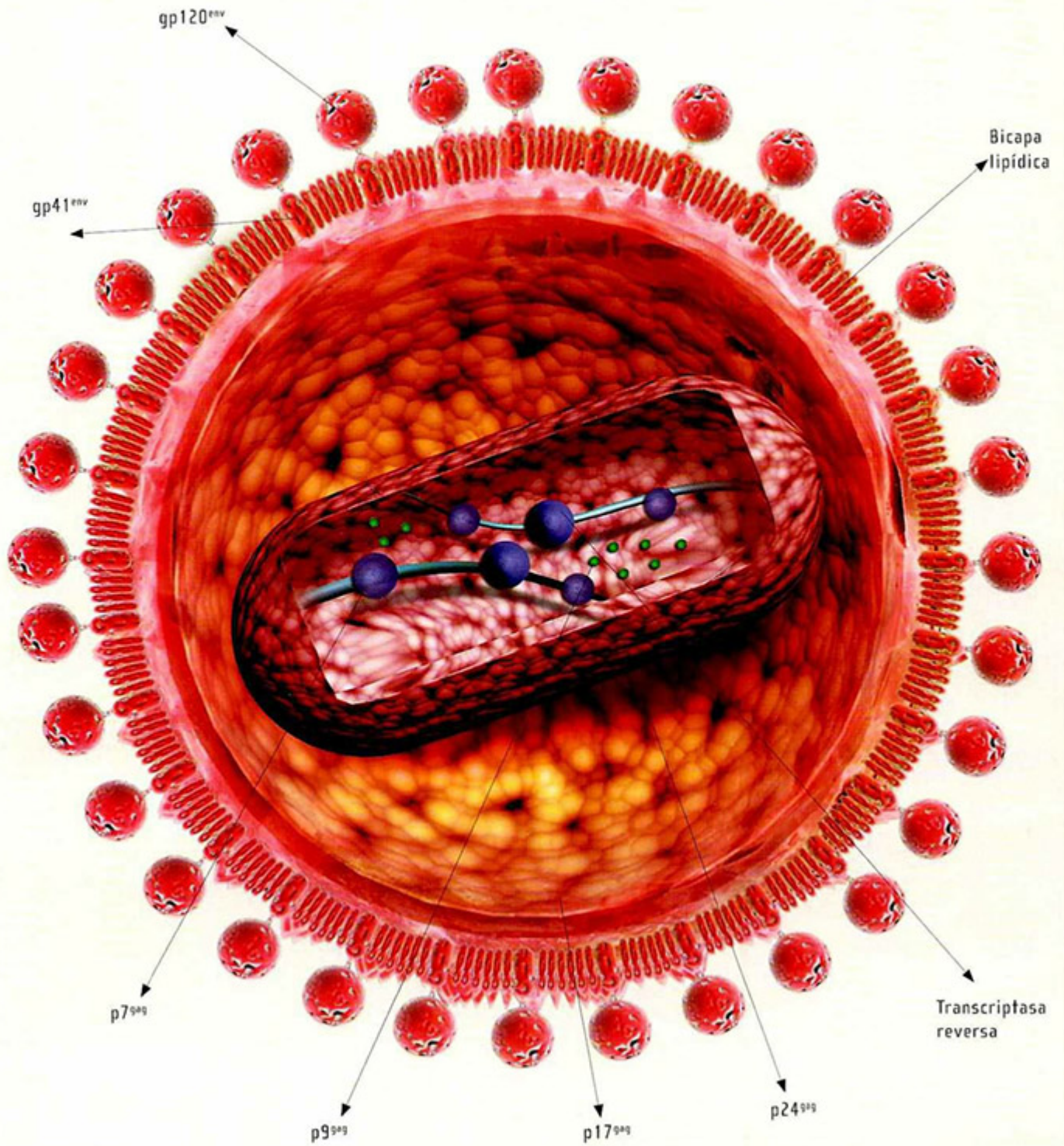
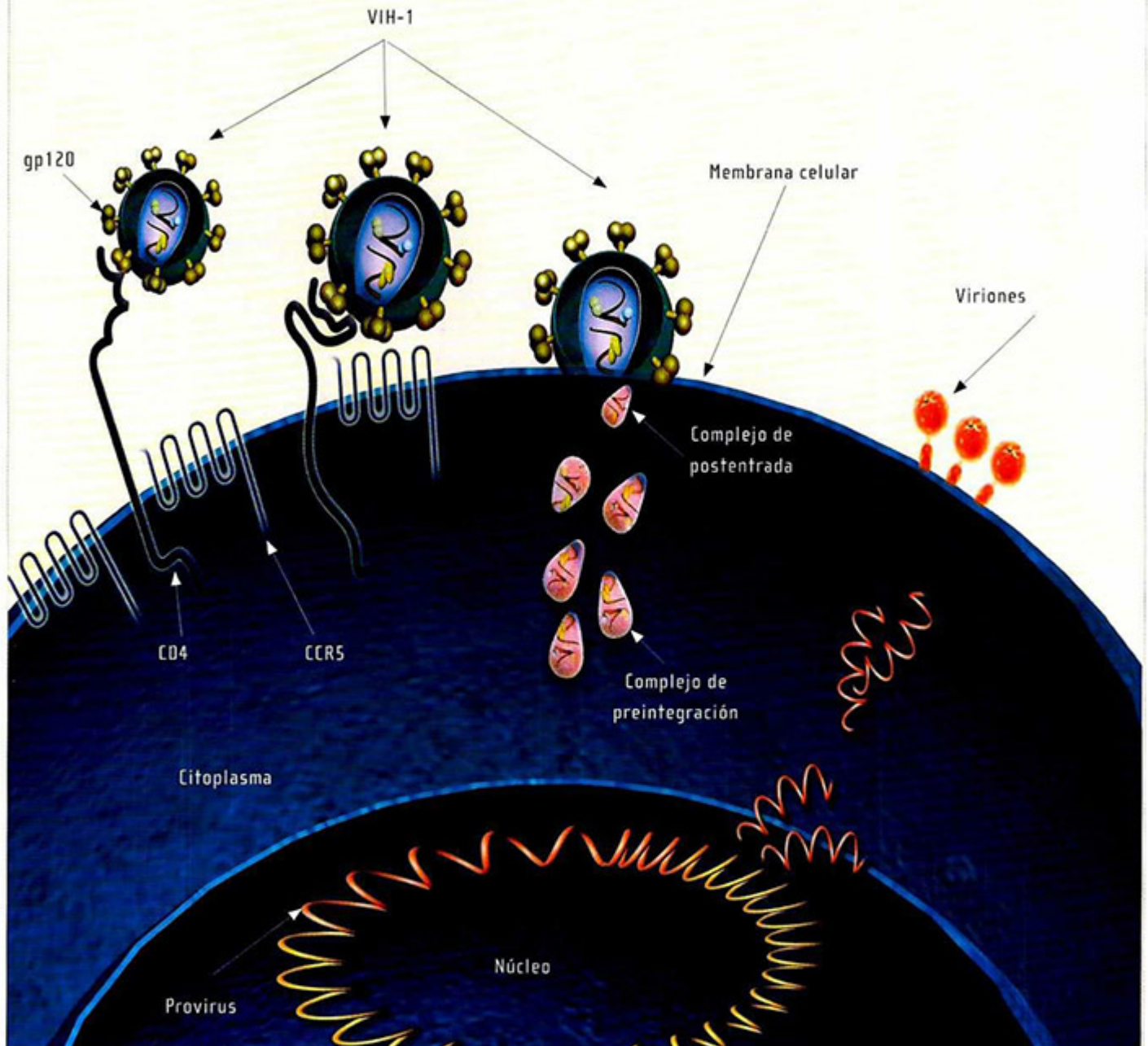


Figura 3. El ciclo de vida del virus de inmunodeficiencia humana tipo I, VIH-1.

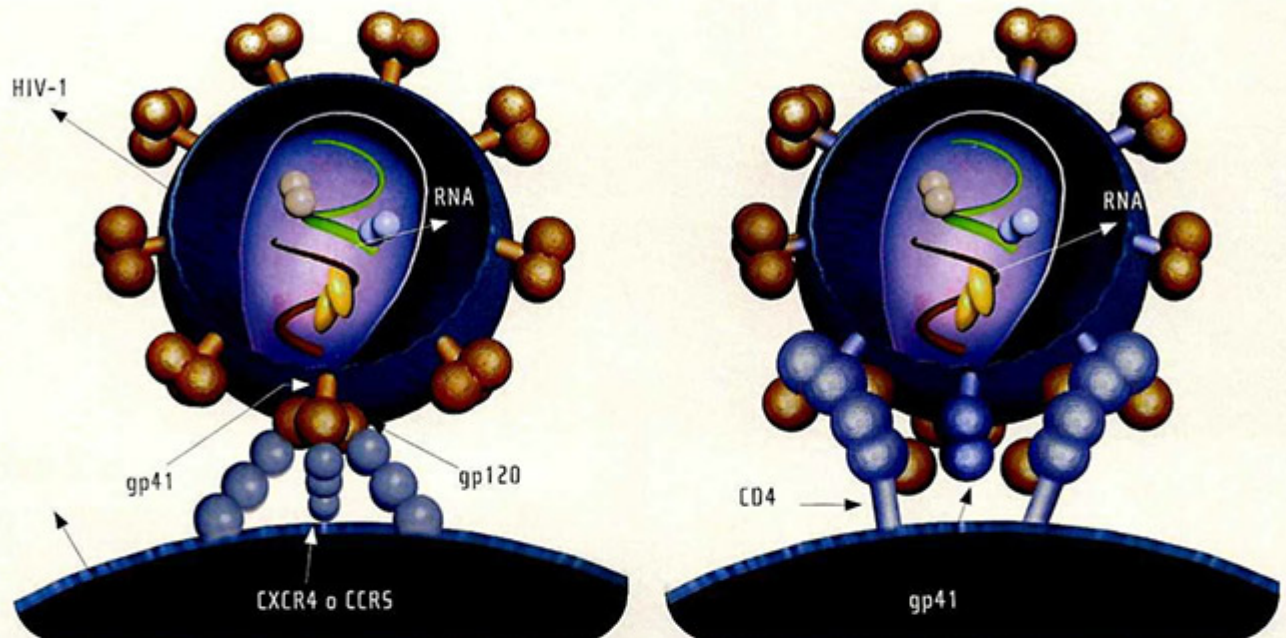


Fuente: Eron, J. (2003), *New England Journal of Medicine*, (22)348: 2229.

Sinoussi, 1983; Gallo, 1983; Klatzmann, 1984; Dalglish, 1984) induce cambios conformacionales en la glicoproteína gp120 viral, lo que causa una segunda interacción con el receptor de quimoquina CCR5 (Fauci, 1988; Lehninger, 2000; Dalglish, 1984; Klatzmann, 1984; Clapham, 2002; Liu, 2006), generando así la fusión y entrada del genoma viral (figura 3).

Las glicoproteínas de la envoltura viral se sintetizan inicialmente en un solo complejo bimolecular, el primero un trímero gp120 que rodea un monómero gp41. Cada subunidad del trímero gp120 es un solo complejo plegado que consiste de una serie de *loops* variables, formados por puentes bisulfuro. Éstos.

Figura 4. Unión de VIH-1 y algunos sitios potenciales para inhibidores.



Fuente: Eron, J. (2003), *New England Journal of Medicine*, (22)348:2231.

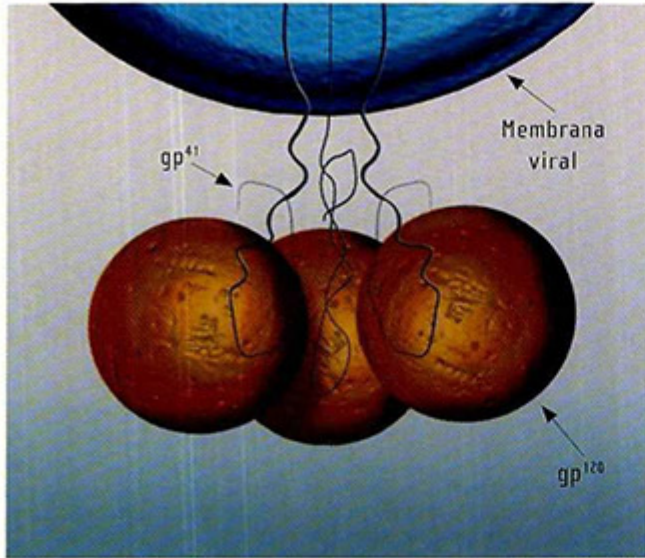
receptor CD4+ (figura 4, panel derecho). Después de la unión, la gp120 sufre cambios conformacionales y expone siete multicapas transmembranales que unen ccr5, lo que genera el desensamblaje del trímero gp120 del complejo bimolecular y permite que el monómero gp41 se ancle a la membrana celular del huésped (figura 4, panel izquierdo) (Feng, 1996; Dragic, 1996; Deng, 1996; Singh, 2000). La bicapa lipídica del virus se adquiere mediante la exocitosis de la membrana celular del huésped durante la gemación del virión.

Fusión de membranas

El paso final en la entrada del genoma viral es la fusión de la envoltura viral con la membrana celular. Este proceso es mediado por la gp41. La secuencia molecular de gp41 incluye regiones HR1 y HR2. (Delwart, 1990). El modelo predice que los trímeros plegados gp41 que están unidos a gp120 tienen una configuración altamente energética en la superficie viral (figura 5a). La figura muestra los trímeros gp120 y gp41 antes de unirse a la célula huésped. Los plegamientos hacia adelante y atrás de la gp41 representan la mejor configuración desde el punto de vista energético.

Se piensa que la unión de la gp120 al marcador CD4+ y a los receptores de quimocina genera cambios en la configuración de gp41, lo que causa un despliegue de los trímeros hacia el interior de la

La incidencia del sida en la población homosexual recibe el mayor interés de los organismos de salud pública.

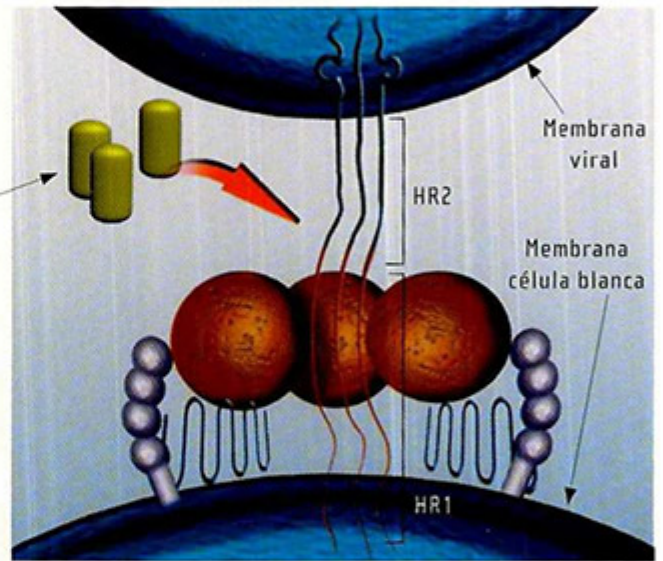


Antes de la unión al receptor

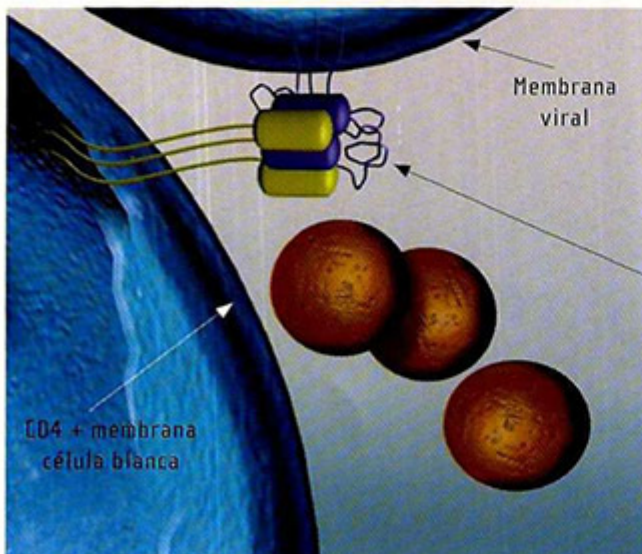
Figura 5a
gp120-gp41

Figura 5b
Acoplamiento de gp41

T-20 o T-1249
péptidos



Cambio conformacional



Fusión de la membrana y entrada viral

Figura 5c
Fusión de membranas

Complejo estable
(seis hélices)

Aun en su asociación trimérica, las regiones HR1 se pliegan sobre los surcos hidrofóbicos producidos por las regiones HR2. De esta forma, la envoltura viral y la membrana celular quedan próximas, listas para la fusión y entrada del genoma viral (figura 5c) (Chen, 1995). Se cree que después de que gp120 se acople a CD4+ y a los receptores de quimoquina, éste presenta cambios conformacionales que alteran sus interacciones con gp41. Esto permite que gp41 se extienda a lo largo de la membrana celular huésped, lo que facilita la fusión de las membranas.

Síntesis del genoma viral

Se ha estimado que el 5% de la masa total del ARN sintetizada en mamíferos deja el núcleo. Se sabe también que las moléculas de ARN sufren cambios postranscripcionales o de maduración y que las moléculas de ARN con algún daño o que han sido procesadas de manera errónea son degradadas en el núcleo como parte del control de calidad del sistema de producción. Esta degradación se lleva a cabo por los exosomas, un enorme complejo multiproteico que contiene diferentes exonucleasas de ARN.

La clave del proceso de invasión del virus es la fusión de la envoltura viral con la membrana celular.

Figura 6a. Etapa inicial del proceso infeccioso.

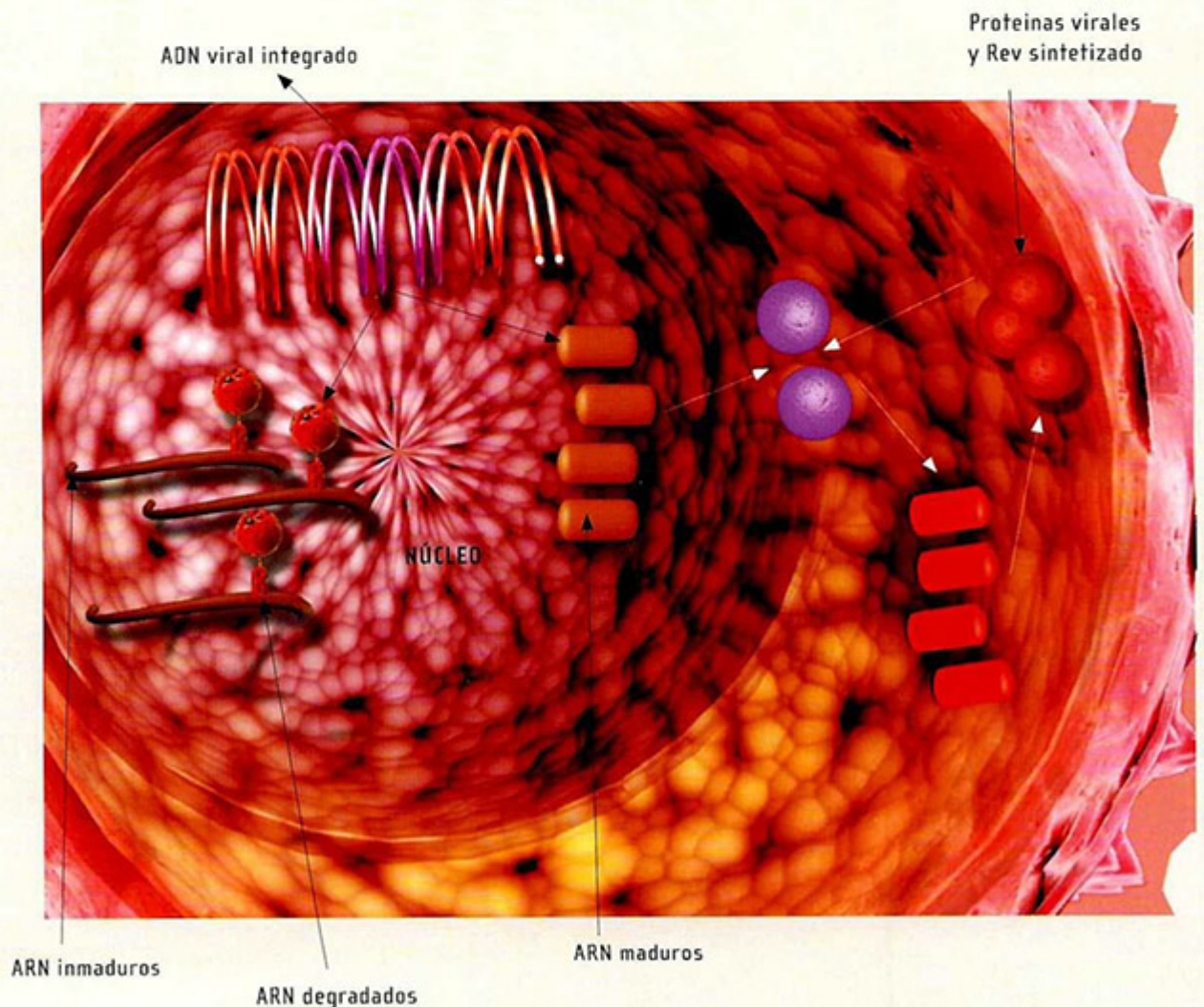
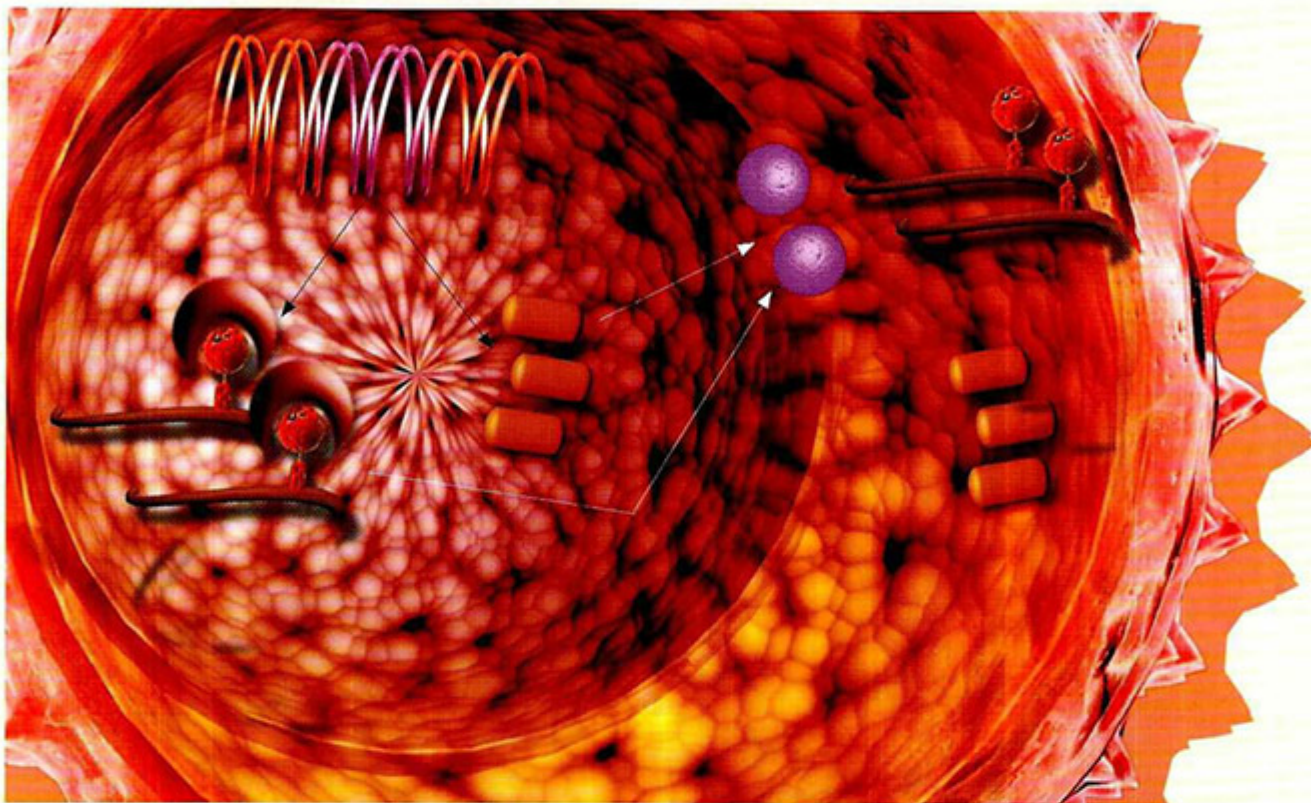


Figura 6b. Etapa tardía del proceso infeccioso.

ADN viral integrado



Proteínas virales sintetizadas

Fuente: Alberts, B. (2002), *Molecular Biology of The Cell*, cuarta edición, Garland Science, Nueva York: 443.

La exportación de moléculas de ARN desde el núcleo no se lleva a cabo hasta que el proceso de maduración o corrección termine, de tal forma que la salida de la molécula de ARN se puede bloquear si existe algún factor que altere o evite la maduración del mismo. Esta es la forma característica a través de la cual el ARN del VIH-1 se transfiere.

Sabemos que el VIH-1 es un retrovirus, un ARN virus que, una vez dentro de la célula, dirige la formación de un ADN doble cadena, el cual se inserta en el genoma del huésped. Este ADN complementario es transcrito a un ARN mensajero

de gran tamaño por la ARN polimerasa II. Este transcrito sufre corte y empalme de diferentes maneras, lo que genera 30 especies diferentes de ARN mensajero, los cuales, a su vez, se traducen en una variedad de proteínas.

En orden de ensamble de viriones, los transcritos virales enteros sin maduración se deben exportar desde el núcleo

hasta el citosol, donde son empaquetados dentro de la cápsula viral. Sin embargo, algunos ARN VIH-1 sufren corte y empalme alternativamente. Para evitar la degradación del ARN viral por parte de los

El diseño y desarrollo de drogas que controlen el virus son los objetivos de mayor prioridad en los centros de investigación del mundo.

una secuencia específica denominada RRE (Elemento de respuesta a *rev*), región que corresponde a *rev* y está localizada dentro de un intron viral.

La proteína *rev* interactúa con un receptor de exportación llamado exportina 1, la cual dirige el movimiento de los ARN virales a través de los poros nucleares hasta el citosol, a pesar de que existan los intrones. El papel regulador de *rev* en la exportación nuclear es importante para la patogénesis y el crecimiento del VIH-1.

Estos procesos de exportación hacen que la infección tenga dos fases: una inicial (figura 6a), donde apenas se sintetiza la proteína *rev* a partir de un ARN maduro —los ARN no maduros son degradados dentro del núcleo—; y la fase tardía (figura 6b), donde los ARN inmaduros son transportados al citosol por *rev*. Es posible que los procesos de regulación que se llevan a cabo por *rev* ayuden a que el VIH-1 se mantenga latente cuando se integra al genoma del huésped. Si después del proceso invasivo las condiciones ambientales son adversas, la proteína *rev* se sintetiza, empieza el transporte de ARN inmaduros y se genera el ciclo celular del virus (Alberts, 2002).

Sólo el ARN que ha sufrido los procesos postranscripcionales y contiene las secuencias codificantes para *rev*, *tat* y *nef* se exporta desde el núcleo y se traduce.

Una vez se ha sintetizado suficiente proteína *rev*, ésta entra al núcleo y se une a los receptores localizados en los intrones de los ARN inmaduros que son exportados al citosol para su posterior empaquetamiento.

Los eventos moleculares estudiados en el presente artículo muestran que el VIH-1 es una entidad altamente evolucionada que permite entender desde las diferentes áreas del conocimiento biológico cómo los organismos son capaces de adaptarse y responder a cambios adversos del medio ambiente. Se describe la perfección de los procesos de interacción entre proteínas, por medio de inhibidores, lo que permite dilucidar el proceso infeccioso y, a su vez, su posible tratamiento. Esto es una luz de esperanza para pacientes con esta enfermedad.

Agradecimientos: A la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, por tener en cuenta mis revisiones.

Dedicado a la memoria de mi padre.

Bibliografía

Alberts, B., et al. (2002), *Molecular Biology of the Cell*, cuarta edición, Garland Science, Nueva York: 724-725.

——— *ibid.*: 442-3.

Barre-Sinoussi, F., et al. (1983) Isolation of a T-lymphocyte retrovirus from a Patient at Risk for Acquired Immune Deficiency Syndrome (AIDS), en *Science*, 220: 868-71.

Clapham, P.; McNight, A. (2002), Cell Surface Receptors, Virus Entry and Tropism of Primate Lentiviruses, en *Journal of General Virology*, (8)83: 1809-29.

Chen, C. H., et al. (1995) A Molecular Clasp in the Human Immunodeficiency Virus (HIV) Type 1 TM Protein Determines the Anti-HIV Activity of gp41 Derivatives Implication for Viral Fusion, en *Journal of Virology*, 69: 3771-3777.

Dagleish, A. G. et al. (1984), The CD4(T4) Antigen is an Essential Component of the Receptor for the AIDS Retrovirus, en *Nature*, 312: 763-767.

Delwart, E. L. et al., (1990), Retroviral Envelope Glycoproteins Contain a Leucine Zipper-like Repeat, en *AIDS Research of Human Retroviruses*, 6: 703-6.

Deng, H. et al. (1996), Identification of a Major Co-receptor for Primary Isolates of HIV-1, en *Nature*, 381: 661-6.

Dragic, T. et al. (1996). HIV-1 Entry into CD4+ Cells is Mediated by the Chemokine Receptor CC-CKR5.

- Epstein, F. H. (1991), *New England Journal of Medicine*, (5)324: 309.
- Eron, J. *et al.*, (2003), Novel Therapies Base Don Mechanims of HIV-1 Cell Entry, en *New England Journal of Medicine*, 348: 2228-38.
- Fauci, A. S. (1988), The human immunodeficiency virus: infectivity and mechanism of pathogenesis, en *Science*, 239: 617-22.
- Feng, C. C. *et al.*, (1996), HIV-1 Entry Cofactor: Functional cADN Cloning of a Seven Transmembrane, G Protein-coupled Receptor, en *Science*, 272: 872-7.
- Gelderblom, H. R. *et al.* (1987), Fine Structure of Human Immunodeficiency Virus (HIV) and Immunolocalitation of Structural Proteins, en *Virology*, 156: 171-6.
- Gallo, R. C. (1987), The AIDS Virus, en *Scientific American*, (1)256: 39-48.
- *et al.* (1984), Frequent Detection and Isolation of Cytopathic Retroviruses (HTLV-III) from Patients with AIDS and at Risk of AIDS, en *Science*, 224: 500-3.
- Klastmann, D. *et al.* (1984), T-lymphocyte T4 Molecules Behaves as the Receptor for Human Retrovirus LAV, en *Nature*, 312: 767-8.
- Lehninger, A., Nelson, D. L., Cox, M. (2000), *Principles of Biochemistry*, tercera edición, Worth Publishers, Nueva York: 405-9.
- Letvin, N. L. (1990), Animal Models for AIDS, en *Immunology Today*, 11: 322-6.
- Liu, S. Q. (2006), Dynamic Domains and Geometrical Properties of HIV-1 gp 120 during Conformational Changes Induced by CD4 Binding (en prensa).
- Singh, A., Collman, G. (2000), Heterogeneous Spectrum of Coreceptor Usage Among Variants within a Dualtropic Human Immunodeficiency Virus Type 1 Primary-isolate Quasispecies, en *Journal of Virology*, 74: 10229-35.
- Varmus, H. (1988), Retroviruses, en *Science*, 240: 1427-35.

Innovación y Ciencia

A PARTIR DE MARZO INCREMENTAMOS
TARIFAS EN LA SUSCRIPCIÓN

Aproveche ahora para suscribirse
con precios del 2006.

Innovación y Ciencia

Publicación trimestral
que informa sobre
los últimos avances
en Ciencia y Tecnología
realizados en
Colombia y el mundo

FECHA DE SUSCRIPCIÓN

» cupón de suscripción

DÍA / MES / AÑO

Suscripción anual \$36.000 oo · Precio: número regular \$9.500 oo, edición especial \$12.500 oo · Asociado ACAC: grat

SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO,
4 EJEMPLARES,
A PARTIR DEL NÚMERO:

NOMBRE

CC O NIT

DIRECCIÓN

TELÉFONO

CIUDAD

CORREO ELECTRÓNICO

FAX

PROFESIÓN

ESPECIALIDAD

FORMA DE PAGO

EFECTIVO TARJETA DE CRÉDITO DINERS

Credibanco y Credencial se reciben directamente en nuestra oficina.

CHEQUE

VENCE

CUOTAS

NÚMERO DE SEGURIDAD

ACEPTO RENOVACIÓN AUTOMÁTICA

Consignación a nombre de «Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia» en:
Banco de Occidente, cta.# 26880746-8 · Banco Agrario, cta.# 0230-002930-5 · Banco Popular, cta.# 160-203196

salud

Evolución biológica y antropocentrismo en las ciencias médicas

Paula Ordóñez Suárez

Departamento de Epidemiología
y Medicina Preventiva, Graduate School
of Medical and Dental Sciences,
Universidad de Kagoshima, Japón
paula@m.kufm.kagoshima-u.ac.jp2

Juan Fernando Duque Osorio

Biólogo-Zoólogo, candidato maestría
en Ciencias Básicas Médicas,
Universidad del Valle, Cali, Colombia
juanferduque@hotmail.com

*Son animales, pero muy singulares, y el hombre no puede mirarlos
sin pensar en sí mismo, sin reconocerse, sin convencerse
de que su cuerpo no es la parte más esencial de la naturaleza.*
—Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788)

La idea de ver al ser humano como un ser superior a las demás especies ha tenido serias consecuencias que, como la destrucción de la biosfera, pueden conducir a nuestra propia extinción. Esta tendencia antropocentrista y antievolucionista tiene, irónicamente, un origen evolutivo que, al igual que la curiosidad, ha sido motor de nuestra evolución cultural. Las ciencias médicas en particular muestran una gran influencia antropocentrista, a diferencia de otras en las que la ecología y la evolución han contribuido a generar nuevo conocimiento. Por ello, proponemos a los investigadores de nuestro medio el uso de conceptos evolutivos en la comprensión del ser humano. En este artículo se repasa la historia de las ideas de cambio para llegar a las corrientes evolutivas que ya se aplican en facultades de salud alrededor del mundo.

Ideas precientíficas de cambio

Para las primeras civilizaciones la mayoría de las explicaciones del mundo fueron míticas (Kramer, 1978). Las explicaciones más elaboradas se iniciaron con los filósofos griegos (Kardong, 1999; Vara-Donado, 1990; Festugiere, 1960), que antepusieron la razón y la observación a la especulación.

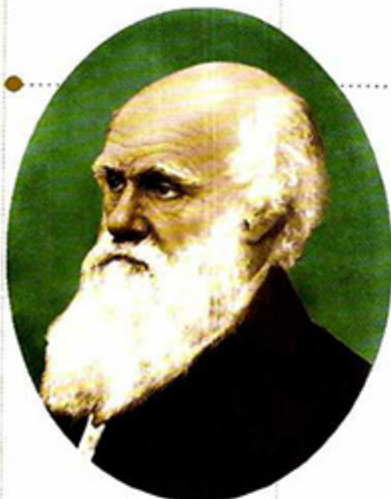
Edad Antigua: Para Tales (624-546 a.C.), Anaximandro (586-528 a.C.) y Jenófanes (570-475 a.C.), el hombre y el pez eran similares porque provenían del agua, esencia del mundo (Kirk y Raven, 1981). Para Anaxímenes (570-500 a.C.) la esencia era el aire. Empédocles (490 a 431 a.C.) usó el término “transmutación” a partir de los cuatro elementos (fuego, agua, tierra y aire) en el origen de los seres vivos, y propuso el ensamblaje caprichoso de los mismos (hombres con cabeza de bovino, animales con ramas de árboles, etc.) y la supervivencia de sólo aquellos ensamblados de forma práctica (Kardong, 1999). Aristóteles (384 a 322 a.C.) sintetizó las ideas esencialistas en la “Cadena del Ser” (Vara-Donado, 1990).

Edad Media (476 hasta mediados del siglo XVI): Durante esta época la historia de la medicina giró alrededor de la transmisión de la obra de Galeno y tuvo poco desarrollo de las ideas de cambio, tal vez debido a la fuerza monoteísta y teocéntrica de la iglesia. De esta época se destaca a Alberto Magno (1193-1280), quien se interesó en las ciencias naturales, y Nicolás de Cusa (1401-1464), precursor de la teofilosofía natural.

Renacimiento (1492-1600): Una escuela de pensamiento nueva, el humanismo, que impulsaba el estudio de la cultura clásica y se centraba en el hombre, marcó un rompimiento con el oscurantismo medieval. El ideal fue un hombre armónicamente desarrollado que no limitaría su saber a un campo concreto, como lo ilustró Leonardo da Vinci. Fue una época de grandes avances culturales difundidos gracias a la invención de la imprenta. Quizás la idea más revolucionaria de esta época fue el heliocen-

El genoma humano resultó ser mucho más sencillo de lo que nuestro orgullo había imaginado.

Precursores científicos del evolucionismo: siglos XVIII y XIX



Charles Darwin



Alfred Russel Wallace



Thomas Henry Huxley

Carlos Linneo (1707-1778) ideó una clasificación fijista (antevolucionista) de los seres vivos, que constituye todavía la base de la taxonomía (Kardong, 1999). Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) elaboró la idea evolucionista quizás más estructurada de la época, al afirmar que la naturaleza produce una gradación desde los animales más simples hasta los mamíferos y el ser humano (Kardong, 1999). Lamarck incluyó ideas aristotélicas en lo que más tarde se llamaría "herencia de caracteres adquiridos". En su obra *Essay on the Principles of Population*, Thomas Malthus (1766-1834) planteó que la población crecía geométricamente, mientras los recursos lo hacían aritméticamente, lo que causa la lucha entre individuos por la supervivencia. Dos paleontólogos, Richard Owen (1804-1892) y Georges Cuvier (1769-1832), no retomaron las ideas evolutivas, pues para Cuvier, por ejemplo, un cambio en la estructura alteraría el funcionamiento de todo el organismo. William Lawrence (1783-1867) escandalizó a Inglaterra en 1813 con *Lectures of Physiology, Zoology and Natural History of Man*, en la cual afirmó que todas las razas humanas provenían de mutaciones. Charles Lyell (1797-1875) publicó *Principles of Geology* (1830-1833), donde proponía que todos los cambios en la Tierra se producen lenta, gradual y continuamente (Lyell, 1998). Estas ideas, junto a las de James Hutton (1726-1797), fueron el fundamento de lo que se denominaría uniformitarismo.

Darwinismo

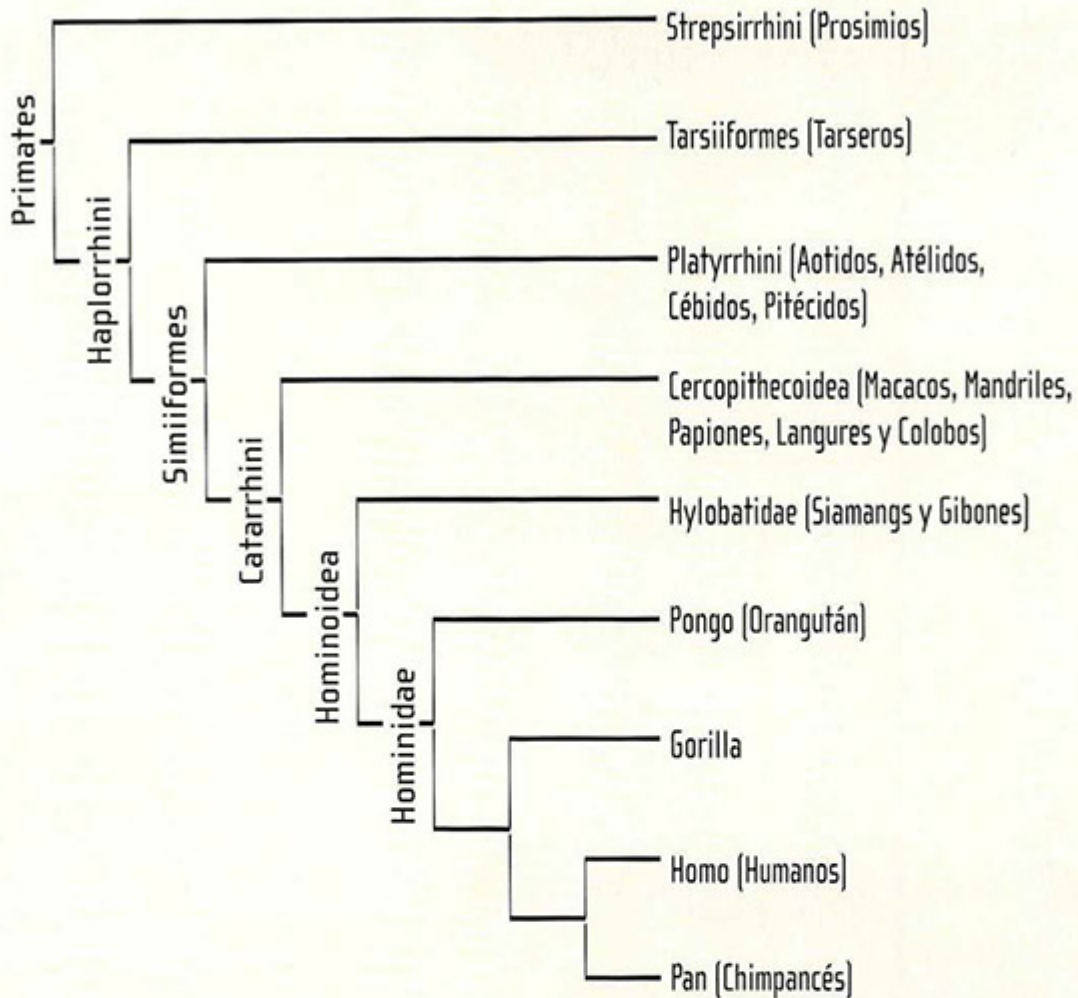
Charles Darwin (1809-1882) tomó las observaciones hechas durante su viaje en el *Beagle* (1831-1836) y las ideas de Malthus, entre otras, y concluyó que los individuos luchan por sobrevivir y sólo lo logran aquellos que tienen características favorables en determinados momentos y ambientes, a lo cual llamó selección natural. En 1858 Darwin recibió un manuscrito de Wallace, donde éste exponía ideas muy similares a las suyas. En el mismo año, ante la Sociedad Linneana de Londres, se presentaron ambos trabajos. En su *Sobre el origen de las especies* (1859), Darwin rompió con los conceptos anteriores, al crear una teoría variativa (no direccional), que partía de la variación preexistente entre individuos de una especie y la selección natural (Pujol, 2005).

Probablemente ninguna teoría ha golpeado más la autoestima de la humanidad que la de Darwin y Wallace (Hellman, 1998). Thomas H. Huxley (1825-1895), apodado el "Bulldog" de Darwin, defendió su posición y declaró: "Aseguro que el hombre carece de motivos para avergonzarse de tener un simio entre sus antepasados. El único antepasado que me avergonzaría sería el hombre que, dotado de mucha habilidad y con una espléndida posición social, usase esos atributos para oscurecer la verdad". Las principales críticas a la teoría de Darwin tenían que ver con el tiempo (problema solucionado con el uniformitarismo) y la variación (Kardong, 1999).

Antecedentes del neodarwinismo: Las leyes de la herencia de Gregor Mendel (1822-1884), la introducción de término "gene" en 1909 por Wilhelm Johannsen (1857-1927) y la idea de que los genes se encuentran en los cromosomas propuesta por Thomas Hunt Morgan (1866-1945) fueron algunas de las ideas clave en el desarrollo del darwinismo (Ayala, 1978). En esta etapa los mendelistas se opusieron a los darwinistas con el mutacionismo (Sánchez, 2000), el cual no consideraba que la selección natural

fuera la fuente de la evolución. El mutacionismo fue rebatido por varios científicos encabezados por el matemático Karl Pearson (1857-1936). Aceptada la evolución, la polémica ahora radicaba en el tipo de variación. Finalmente se demostró que los caracteres cualitativos también dependen de la herencia mendeliana y que mientras la selección natural actúa de forma acumulativa sobre pequeñas variacio-

Árbol filogenético



y brindaron una estructura teórica para la integración de la genética y la teoría de Darwin sobre la selección natural.

La teoría sintética de la evolución

La sistemática y el origen de las especies, publicado en 1942 por Ernst Mayr, y *Evolución: la nueva síntesis*, de sir Julian Huxley (1887-1975), ayudaron a formar la síntesis moderna de la teoría evolutiva, que propone, entre otros, el concepto de "especies biológicas". La publicación de la obra de Theodosius Dobzhansky *Genetics and the Origin of Species* en 1937 impulsó de manera importante los estudios sobre la evolución. La síntesis evolutiva estableció la evolución gradual de las especies mediante la aparición de pequeños cambios aleatorios (mutaciones), marcados por la selección natural. La síntesis abarca la teoría del gen, la teoría cromosómica, la mutación, el mendelismo, la selección, la especiación y la ecología. A pesar de ser una síntesis de muchos campos, la teoría sintética provocó diversas reacciones, como el equilibrio puntuado y la teoría neutral de la evolución molecular.

La teoría neutral y el reloj molecular: Propuesta en 1968 por el biólogo japonés Motoo Kimura, esta teoría se basa en el hecho de que la mayoría de los cambios evolutivos no afectan el fenotipo



el cálculo de esta tasa por medio de modelos matemáticos —es decir, una especie de reloj molecular— permite estimar el tiempo de divergencia entre las especies y el efecto de la deriva genética.

La teoría del equilibrio puntuado: En 1972 Niles Eldredge y Stephen Jay Gould (1941-2002) postularon que la anagénesis (los cambios experimentados por un mismo linaje) y la cladogénesis (la división de una especie en dos) están relacionadas causalmente. Esta idea de Gould, conocida también como “evolución a saltos”, explica los faltantes en el registro fósil mejor que la evolución gradual.

El gen egoísta: En este libro, publicado en 1976, Richard Dawkins divulgó su idea de que el factor importante en la evolución no es el bien de la especie o grupo, sino el bien del individuo o sus genes. Para él “somos máquinas de supervivencia, programadas con el fin de perpetuar la existencia de genes egoístas” (Dawkins, 1985). La evolución es entonces el proceso por el que algunos genes se hacen más numerosos y otros menos. Dawkins introdujo además el concepto de evolución cultural, el cual incluye al meme como contraparte cultural del gen.

La biología molecular y las pruebas de la evolución

La cuantificación en la comparación de secuencias de nucleótidos o aminoácidos ha permitido grandes avances en la biología y en su rama, la embriología, que ha retomado la idea de que provenimos de ancestros comunes, como lo ha demostrado el descubrimiento de genes comunes que regulan el desarrollo embrionario.

Una de las ramas más interesantes creadas a partir del estudio de las secuencias es la antropología molecular, fundada por Luigi Luca Cavalli-Sforza. Los estudios sobre el cromosoma Y han demostrado que las poblaciones actuales de *Homo sapiens* son producto de una sola migración que provino de África. Esto dio lugar a la famosa hipótesis de que un “Adán” es el ancestro común de todos los cromosomas Y de la actualidad. Además, se ha empleado ADN mitocondrial, que se hereda por vía materna, para proponer la “hipótesis de Eva”, según la cual la humanidad procede de una pequeña población africana de hace 200.000 años.

Métodos moleculares de análisis filogenético: Los árboles filogenéticos han tratado de reconstruir las relaciones evolutivas basándose en secuencias de nucleótidos o aminoácidos. Algunos de es-

ya se han usado estas técnicas para mostrar la filogenia molecular de especies como los delfines rosados del Amazonas (*Inia geoffrensis*) (Banguera-Hinestroza, 2000) y de virus endémicos, como el HTLV-1 (Domínguez, 2002).

Genómica evolutiva: El genoma de una especie conserva parte de su pasado evolutivo. Los datos más recientes sobre el genoma humano (totalmente secuenciado) han revelado que de los 3×10^9 pares de bases sólo 35.000 son genes, gran parte de los cuales proceden de virus y bacterias. Otros hallazgos indican que el 25% del genoma humano es espacio intergénico y algo más del 35% contiene secuencias repetidas. Estas regiones que no codifican proteínas parecen tener un papel esencial en la regulación de la expresión de los genes. Esto indica que la clave de los nuevos estudios evolutivos reside en el análisis de los genomas más que de los genes, por lo cual se habla actualmente de genómica evolutiva.

Discusión

Nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución.

Theodosius Dobzhansky

A principios de 2003 se publicó la secuencia del genoma humano, que resultó ser mucho más sencillo de lo que nuestro orgullo había imaginado. La secuenciación de ADN ha demostrado que el chimpancé es nuestro pariente actual más cercano: su ADN difiere del nuestro en sólo 2.5%. La variabilidad de nuestro genoma es muy pequeña. Esto es lo que ocurre en especies que, como la nuestra, aparecieron en el campo evolutivo hace apenas 100.000 años. En el recuento histórico de la evolución biológica se puso de manifiesto cómo las ideas de cambio se han ido remodelando con el tiempo, con teorías evolutivas cada vez más convincentes. En la actualidad ya no es posible ignorar nuestro pasado evolutivo, más aun cuando los análisis genómicos han revelado datos tan inesperados.

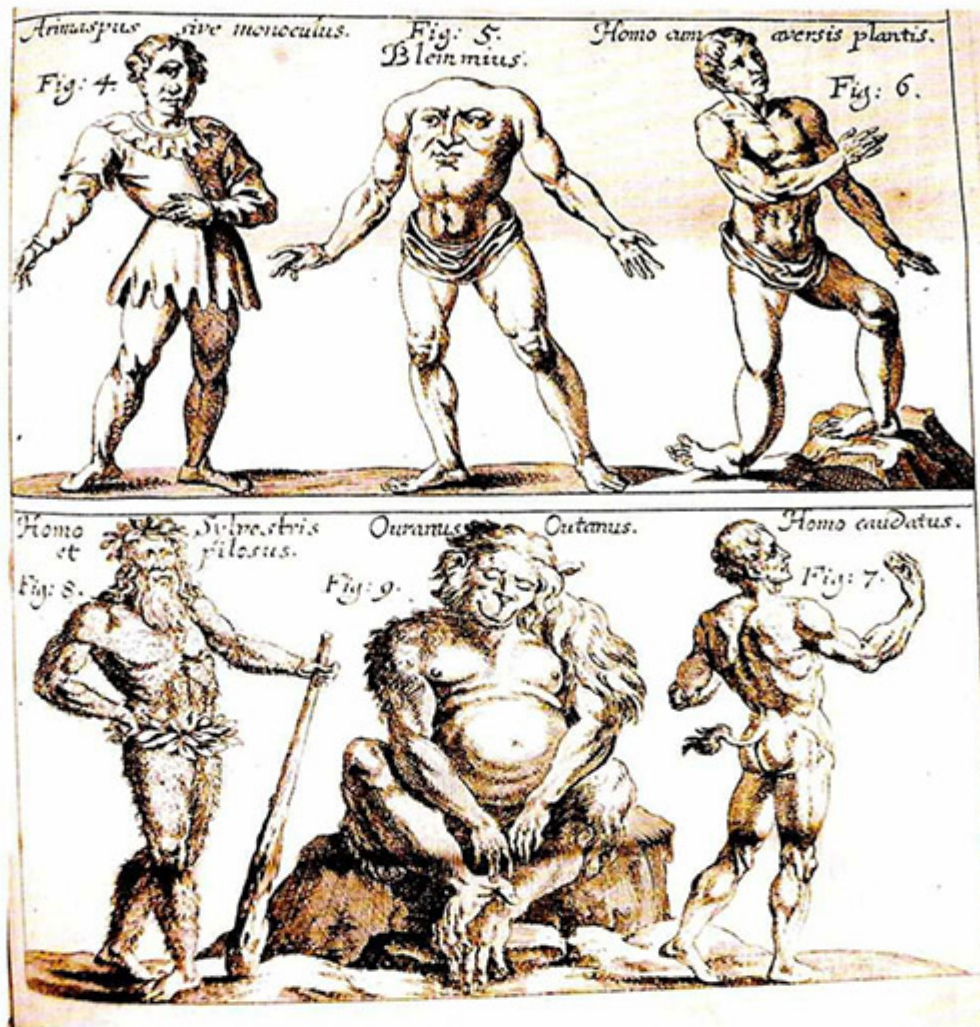
Desde los pensadores clásicos se puede ver que muchas de estas ideas presentaron esbozos de las futuras teorías evolutivas. Por ejemplo, ¿no podrían las ideas de Empédocles (ensamblaje caprichoso y supervivencia de formas útiles) y las de Tito Lucrecio Caro ser una aproximación de lo que más tarde Darwin y Wallace llamarían selección natural?

El ser humano, a partir de la aparición del tipo cromagnon, hace unos 35.000 años, ha conservado sus capacidades intelectuales sin mayores cambios estructurales, aunque desarrolló enormemente la habilidad de su uso (Bock, 1990; Melotti, 1981). Las diferen-

cias externas entre humanos corresponden a rasgos relacionados con la adaptación al medio ambiente, controlado por un número pequeño de genes: todos evolucionamos en los últimos 100.000 años a partir del mismo grupo reducido de tribus que emigraron desde África y colonizaron el mundo. Los científicos que han completado la secuencia del genoma humano sostienen que el concepto de raza es social, pero no científico. Hay una sola raza, la humana.

Según Edward O. Wilson, la evolución nos ha predispuesto a aceptar normas que son coherentes con los objetivos de la selección natural (Ayala, 1999). Con respecto a evolución biológica y cultural, el teleologismo y finalismo probablemente tuvieron un origen relacionado con nuestro cambio de dieta: el hecho de que nos volviéramos cazadores grupales armados (lo cual es diferente a cazar con garras, velocidad y dientes) requirió desarrollos cerebrales que hicieran más eficiente la caza (Morris, 1995). Así, lo que se ve desde un enfoque antropocéntrico y teleológico pudo ser útil para desempeñarnos como predadores en un mundo salvaje. Sin embargo, en la actualidad es más conveniente considerar al ser

Un golpe muy importante al antropocentrismo fue el heliocentrismo de Copérnico, ya que nos sacó del centro del universo.



Un golpe muy importante al antropocentrismo fue el heliocentrismo de Copérnico, ya que nos sacó del centro del universo. Sin embargo, a pesar de que hizo contribuciones importantes, el legado aristotélico, adoptado y propagado por la Biblia, entorpeció el desarrollo de las ideas de cambio. Resultado de ello fueron las clasificaciones fijistas y antropocéntricas derivadas de la “escala del ser” aristotélica. Esta cadena fue adoptada, entre otros, por Lamarck como “escala natural”, y por Linneo, Cuvier y Owen para defender sus posturas antievolucionistas, sin mostrar el trasfondo religioso de sus ideas. Paradójicamente, Aristóteles discutía con aquellos que consideraban el estudio del resto del reino animal como algo indigno. Todos estos pensadores allanaron el terreno intelectual para el surgimiento de las teorías de evolución de Darwin y Wallace.

Siguiendo con pensadores predarwinianos, hay que anotar que las clasificaciones biológicas no deben ser solamente sistemas para organizar la diversidad biológica, sino que también deben mostrar las relaciones evolutivas entre los grupos. En este sentido, el sistema linneano es insostenible para los organismos unicelulares y los virus. La debilidad de este sistema ha sido analizada por Ereshefsky y reseñada por Moore.

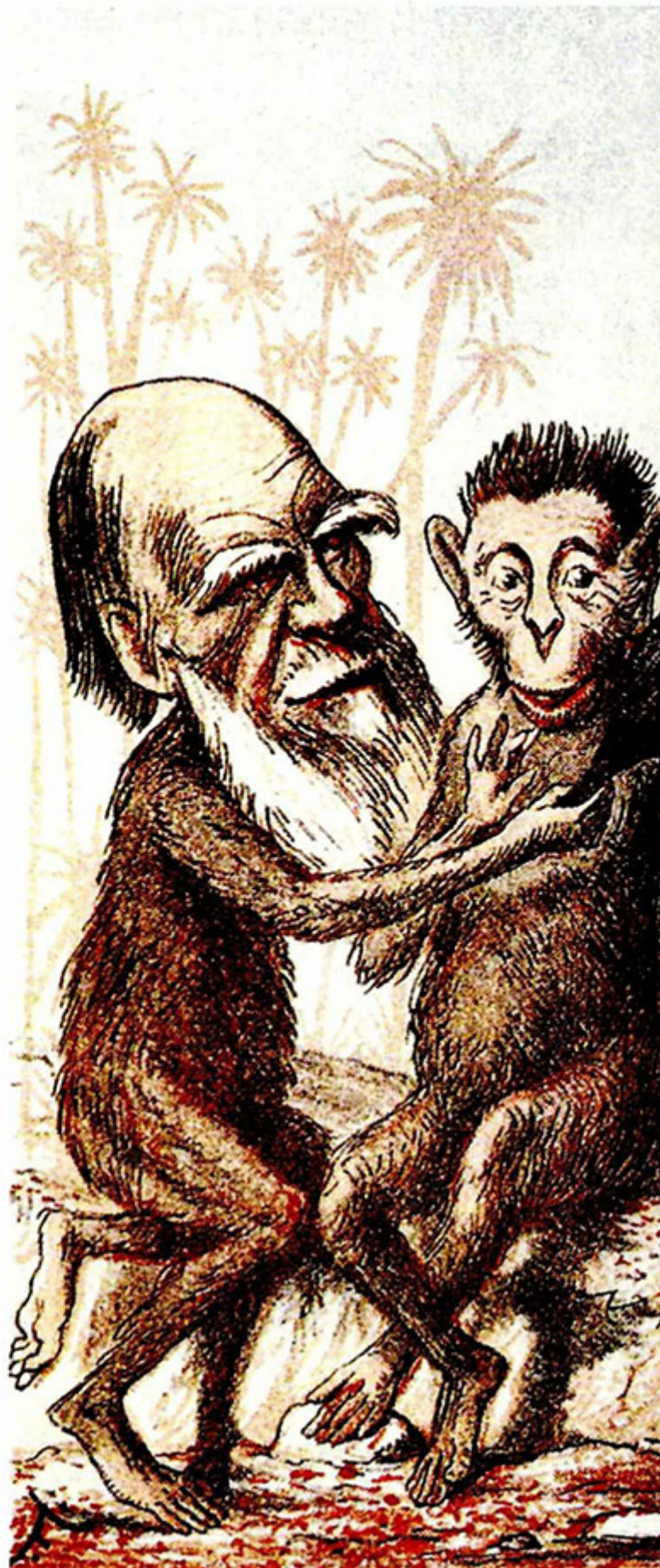
En contraposición al pensamiento científico antievolucionista, autores como Lamarck, Darwin, Wallace y Huxley tomaron partido por la evolución, lo que generó dos sectores que aún son el foco de la controversia (Moore, 2002). Esta división consiste en los sectores naturalista y médico de las ciencias biológicas. Gracias a la síntesis evolutiva neodarwinista moderna de la primera parte del siglo xx, estos dos sectores se han acercado. Como resultado de la síntesis moderna se han registrado importantes avances, principalmente en la biología molecular.

Esta nueva fusión ha producido cambios hasta el punto de relacionar conceptos entre la biología y la salud. En los países desarrollados es cada vez más frecuente encontrar estudios médicos que se basan

de las enfermedades de nuestras sociedades se pueden explicar a la luz de la teoría darwiniana, como el desfase que existe entre nuestro ambiente actual y el diseño trazado por la selección natural (Roy, 2003). Dentro de esto hay que diferenciar muy bien las adaptaciones evolutivas grupales de las adaptaciones fisiológicas individuales. Uno de los errores de Lamarck fue precisamente confundir estos tipos de adaptación (herencia de caracteres adquiridos). En otro estudio se evaluó el impacto epidemiológico que han tenido los tratamientos médicos que violan los mecanismos evolutivos, los cuales en estado natural bloquean la reproducción de individuos con enfermedades congénitas (Gleicher, 2003). Éste concluye que estos tratamientos han aumentado la prevalencia y severidad de enfermedades de herencia poligénica. Sin embargo, afirma que esto último será compensado por la tecnología médica, pues áreas de investigación como las células madre caracterizarán la futura evolución humana. La confluencia entre la ecología evolutiva y la epidemiología resulta fundamental para el entendimiento de las enfermedades (Levin, 1999). Además de lo anterior, en su artículo "Applied Evolution", Bull y Wichman llaman la atención sobre la aplicación de conceptos evolutivos a la biotecnología, la industria, la informática y la economía (Fabelo, 1999). Quizás en cuanto a la aplicación de conceptos evolutivos en medicina, el libro más importante es el de Nesse y Williams *¿Por qué enfermamos?*, enmarcado en un movimiento llamado medicina darwiniana o evolutiva (Lappé, 1994; Trevanthen, 1999).

Una perspectiva evolutiva extrema es la ecología profunda, cuya búsqueda fundamental es solucionar los problemas ambientales a través de la reducción de la población humana. El creador de la ecología profunda, el noruego Arne Naess, señaló en una entrevista: "Pienso que no necesitaríamos tener más de mil millones de personas para tener la variedad de culturas que teníamos hace 100 años" (Martínez, 2000). En la búsqueda de la aplicación de nuevos conceptos evolutivos a la medicina no se debe confundir la visión ecológica de la relación hombre-entorno con el extremismo biocéntrico de nuestra propia extinción, pues somos una especie más por conservar.

Siguiendo con la ecología evolutiva, Carl R. Woese propuso un modelo teórico en el cual entiende a la célula no como una simple unidad aislada sino como un ecosistema que depende necesariamente de su entorno; así, a mayor complejidad emergerá una nueva organización celular. Esto resulta lógico si entendemos que la selección natural ha forzado a los genomas a compor-



complejidad genómica (Adami, 2000). El registro fósil ha mostrado que la complejidad biológica global aumenta con el tiempo. Algunas especies se hacen más simples, otras se hacen más complejas, pero en promedio la complejidad aumenta (Davies, 2000).

Conclusiones

La polémica entre el darwinismo y la genética se ha disuelto hasta el punto de aplicarse conceptos evolutivos a la medicina, agricultura, etc. La mayoría de las teorías darwinianas han sido ampliamente corroboradas y el origen evolutivo de los organismos se ha establecido como una conclusión científica comparable a otros conceptos históricamente controvertidos pero resueltos, como la redondez de la Tierra, la composición molecular de la materia o el movimiento de los planetas.

A partir de este recuento histórico y su discusión se puede concluir que, en algunos círculos, las ciencias médicas se empiezan a beneficiar del uso de conceptos evolutivos para enfocar los problemas de salud. El uso de este tipo de conceptos no requiere invertir grandes sumas de dinero. De hecho, se puede ahorrar a medida de que las ideas evolutivas mejoren la comprensión de la relación entre el ser humano y sus patógenos, y se haga más eficiente este enfoque en la investigación en salud y en la planeación de

políticas sanitarias. Marcos conceptuales tan probados y firmes como el darwinismo harían más fácil la multidisciplinaridad necesaria para el mejoramiento de la investigación en salud de nuestras comunidades dentro de esquemas socioeconómicos que permitan un desarrollo sostenible. En las ciencias de la salud, los conceptos relacionados con la posición humana en la naturaleza se deben exponer dentro del contexto evolutivo. Asimismo, la explicación de interacciones importantes, como ser humano-patógeno, y la misma evolución del sistema inmunológico deben verse como el resultado de un largo camino evolutivo, donde los seres humanos somos una especie más dentro de un amplio ecosistema. Tal vez se trate tan sólo de quitarnos la venda de los ojos y reconocernos en medio de un paisaje de biodiversidad.

Es cada vez más frecuente encontrar estudios médicos que se basan en conceptos evolutivos, con el fin de mejorar el tratamiento de ciertas condiciones médicas.

teracciones importantes, como ser humano-patógeno, y la misma evolución del sistema inmunológico deben verse como el resultado de un largo camino evolutivo, donde los seres humanos somos una especie más dentro de un amplio ecosistema. Tal vez se trate tan sólo de quitarnos la venda de los ojos y reconocernos en medio de un paisaje de biodiversidad.

Agradecimientos

A los profesores Felipe García-Vallejo y Gabriel Carrasquilla, de la Facultad de Salud de la Universidad del Valle, por la revisión del texto y la conferencia, respectivamente. A nuestros compañeros y amigos: Andrés Castillo, Alex Peniche y Giovanna Tovar por sus correcciones y sugerencias.

Referencias bibliográficas

Adami, C. (2000), Evolution of Biological Complexity, en *Proc Natl Acad Sci U S A*; 97(9): 4463-4468.

Ayala, F. J. (1999), Ética y evolución, en *Deslinde*, 24: 108-119.

——— (1978), *Libros de investigación y ciencia*, Barcelona, Labor: 15-28.

Banguera-Hinestroza, E. et al. (2002), Molecular Identification of Evolutionary Significant Units in the Amazon River Dolphin, en *Inia sp. (Cetacea: Iniidae)*, 93(5):312-322.

Bock, C. (1990), *Biología vs. teología*, Bogotá, Tercer Mundo: 47-177.

Bull, J. J. y Wichman, H. A. (2001), Applied evolution, en *Annu Rev Ecol Syst*, 32:183-217.

Cavalli-Sforza, L. L. (2000) *Genes, pueblos y lenguas*. Barcelona, Romanva/Valle

- Dawkins, R. (1985), *El gen egoísta*, Barcelona, Salvat.
- Domínguez, M. C. *et al.* (2002), Envelope Sequence Variation and Phylogenetic Relations of Human T cell Lymphotropic Virus Type 1 from Endemic Areas of Colombia, en *AIDS Res Hum Retroviruses*, 18(12): 887-890.
- Ereshefsky, M. (2001), *The Poverty of the Linnaean Hierarchy*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Fabelo, J. R. (1999), *Cuba verde: en busca de un modelo para la sustentabilidad en el siglo XXI*, La Habana, José Martí.
- Festugiere, A. J. (1960), *Epicuro y sus dioses*, Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Gleicher, N. (2003), Modern Obstetrical and Infertility Care May Increase the Prevalence of Disease: an Evolutionary Concept, en *Fertil Steril*, 79(2): 249-252.
- Gould, J. (1985), *El pulgar del Panda*, Barcelona, Orbis.
- Hellman, H. (1998), *Great Feuds in Science*, Nueva York, John Wiley and Sons.
- Kardong, K. V. (1999), *Vertebrados: anatomía comparada, función, evolución*, Madrid, McGraw-Hill.
- Kirk, G. S. y Raven, J. E. (1981), *Los filósofos presocráticos*, Madrid, Gredos.
- Kramer, S. N. (1978), *La historia empieza en Sumer*, Barcelona, Ayma.
- Lappé, M. (1994), *Evolutionary Medicine: Rethinking the Origins of Disease*, San Francisco, Sierra Club Books.
- Levin, B. R.; Lipsitch, M. y Bonhoeffer, S. (1999), Population Biology, Evolution and Infectious Disease: Convergence and Synthesis, en *Science*, 283: 806-809.
- Lyell, C. (1998), Principles of Geology III, en Halshall, P., comp., *Modern History Sourcebook*, <http://www.fordham.edu/halsall/mod/lyel-geology3-4.html> (visto en noviembre de 2006).
- Martínez, C. (2000), Ecología profunda. Biocentrismo vs. antropocentrismo, en *Corriente de opinión*, 33: 1-6.
- Melotti, U. (1981), *El hombre entre la naturaleza y la historia*, Barcelona, Península.
- Moore, G. (2002), Down with the Kingdom (Phylum, Class and Order Too), en *Science*, 297: 1650-1651.
- Morris, D. (1995), *El mono desnudo*, Barcelona, Plaza & Janés.
- Nesse, R. M. y Williams, G. C. (2000), *¿Por qué enfermamos?*, Barcelona, Grijalbo.
- Pujol, E.; Jacome, M.; Osorio, S.; Darwin, C. (2005), *El origen de las especies*, México, Selector.
- Roy, R. P. (2003), A Darwinian View of Obstructed Labor, en *Clin Obstet Gynecol*, 101(2): 397-401.
- Sánchez, C. (2000), *Origen y evolución del parasitismo*, Zaragoza, Sociedad Cooperativa de Artes Gráficas.
- Trevantham, W.; Smith, E. O.; McKena, J. J. (1999), *Evolutionary Medicine*, Nueva York, Oxford University Press.
- Vara-Donado, J., editor (1990), *Historia de los animales*, Madrid, Akal.
- Woese, C. R. (2002), On the Evolution of Cells, en *Proc Natl Acad Sci U S A*, (99)13: 8742-8747.

ciencias sociales

Líneas de investigación para una ética de la ciencia



Jesús Antonio Serrano Sánchez

Investigador de la Universidad

Intercontinental de México

Adscrito al Instituto de Postgrado

Investigación y Educación Continua

serrano@unodal.com

En el ejercicio de la investigación científica se presentan numerosos cuestionamientos éticos. Algunos vienen de los medios de comunicación o de sectores que se identifican con una ideología o religión, y otros temas se debaten dentro de la academia o la comunidad científica. Algunos de estos cuestionamientos se identifican fácilmente, ya que corresponden a conductas contrarias a la disciplina y a la honestidad investigativa, como el plagio, la reproducción de un mismo trabajo, la falsificación de datos o experimentos, etc. Otros corresponden auténticamente a problemas de fondo que implican profundas repercusiones sociales y políticas y, por lo tanto, movilizan el interés de la sociedad, ya sea de manera organizada o espontánea. Con frecuencia estos temas generan debates sobre problemas morales polémicos como la eutanasia, la clonación o el manejo de células madre a partir de embriones, de los cuales parece que es imposible concluir nada que concilie las posiciones encontradas y, por lo tanto, obstaculiza todo progreso científico o social.

Existe, por otro lado, una posición anticipadamente escéptica respecto a la posibilidad de que la ética pueda cumplir algún papel relevante en la investigación científica, pues se considera un freno o un atavismo del que un investigador riguroso debería mantenerse independiente. Esta posición reluctante a la introducción de la cuestión ética en la ciencia convalida anticipadamente los resultados de la ciencia y la desliga del contexto social, cultural, político y moral en el cual necesariamente ocurre y al cual influye positiva o negativamente. Siempre queda abierta la sospecha de que tras este argumento se escondan posiciones deliberadas de conducta antisocial que esperan escapar del escrutinio público debido a su naturaleza inconfesable.

Me he propuesto que esta disertación derive en reflexiones pertinentes y aprovechables en la práctica de la investigación científica y en el diseño e implementación de políticas públicas de fomento a la misma. Parto de un par de supuestos: el primero es que la ética, lejos de ser una utopía, es perfectamente aplicable si se comprende correctamente y sin prejuicios. Segundo, que la ciencia es un producto artificial del ser humano, un esfuerzo social y, por lo tanto, un acto político que debe regirse por reglas éticas y jurídicas. Si se vencen el prejuicio y el dogmatismo en cualquier sentido, queda todo el lugar para la discusión fundamentada y razonable.

Fundamentos de la ética de la ciencia

En los últimos años hablar de ética se ha puesto de moda. Motivados por la recta intención que busca combatir, mediante la promoción de los valores contra la delincuencia, la corrupción, el abuso infantil, la trata y tráfico de personas y de órganos, etc., terminamos entrampados en paradojas y contradicciones, al intentar impulsar agendas notoriamente incompatibles entre intereses personales y colectivos. Esperamos que las personas ejerzan un derecho amplísimo a regirse por sus propias concepciones del bien, pero no entendemos a qué se deba la proliferación de la anarquía. Queremos contener el desgobernio impulsando una cierta moral pública, cuando hemos previamente pulverizado la moral.

Considero necesario partir de una distinción tajante entre moral y ética. Por moral entiendo una concepción particular del bien que se basa en creencias de validez particular y relativa. En cambio, por ética entiendo una ciencia normativa que consiste en la fundamentación objetiva del deber a partir del bien conocido objetivamente. De discernir la naturaleza de cada cosa y de su aplicación se siguen determinaciones relativas sobre cómo conseguir su realización y conservación mediante la fuerza normativa. Si lo que pretendemos es una ética socialmente vinculante, no podemos basarnos en lo que cada individuo o grupo considera que está bien. Se requieren normas que tengan su fundamento en la razón, en aquello probado y cierto: es decir, la ética se fundamenta en conocimientos ciertos y probados de

Son conductas contrarias a la honestidad investigativa el plagio, la reproducción de un mismo trabajo o la falsificación de experimentos.



La ética es una ciencia práctica, e impropriamente teórica, puesto que su objeto principal es la realización del bien, no su conocimiento. De ahí que la ética sea necesaria para garantizar el orden social a partir de normas que se sustentan en la razón, normas que, según Hegel, son la suprema garantía de libertad, precisamente porque son racionales y no capricho. La ética se identifica entonces con la política en cuanto sirve para orientar al conjunto social hacia la realización de sus fines a pesar de la pluralidad de intereses y concepciones del bien o morales. Tengamos presente que este es el tipo de distinción que hacen Karl Otto Apel y John Rawls en su *Teoría de la justicia*.

La ética sí implica a la ciencia

Existen comportamientos y juicios que no requieren un juicio ético porque no poseen un carácter de deber moral. Por ejemplo, comer un helado no es bueno ni malo, ni se puede decir que alguien lo deba comer o no por razones del deber. ¿Pero ocurre igual con la ciencia? Se acepta que la ciencia no requiere un juicio ético sobre sus pretensiones ni sobre sus métodos. Supuestamente la ciencia se valida a sí misma porque su finalidad es el saber y el saber carece de un carácter moral.

No obstante, sabemos que numerosos descubrimientos científicos son el resultado de la búsqueda deliberada del "bien de la humanidad", como han sido las vacunas y la esperada cura del sida. Otros hallazgos parecen neutros, como puede ser averiguar la distancia entre el sol y la más cercana estrella. Pero otros no dejan de ser polémicos: revelar el genoma humano. Como se aprecia, no toda la labor científica se puede aprobar sin un análisis ético y sin preguntarnos qué determina si los científicos hacen el bien o el mal, qué importancia tiene la materia en estudio, bajo qué condiciones y con qué objetivos se propone.

La relación entre ciencia y ética es muy compleja. Todas nuestras actitudes y creencias están completamente condicionadas por el contexto cultural e histórico, el lugar y el tiempo en que vivimos, y el estado de la ciencia y la técnica que están a nuestro alcance. Todo ello condiciona nuestro sentido de la ética y la finalidad por la que hacemos ciencia.

Los descubrimientos científicos son relevantes para el comportamiento humano. Pero aunque muchos creen que los conceptos científicos son éticamente neutros dado que no son comportamientos,

El ensayo del famoso filósofo alemán Karl-Otto Apel titulado *El a priori de la comunidad de comunicación y los fundamentos de la ética: el problema de una fundamentación racional de la ética en la era de la ciencia* (Apel, 1985: 341-413), que vamos a comentar a continuación, trata este tema.

Para definir la paradójica situación de nuestro tiempo sostiene Apel:

Quien reflexione sobre la relación entre ciencia y ética en la moderna sociedad industrial, que se extiende a todo el planeta, se ve enfrentado —a mi juicio— a una situación paradójica. Efectivamente, por una parte, la necesidad de una ética universal —es decir, obligatoria para la sociedad humana en su totalidad— nunca fue tan urgente como en nuestra era; en la era de una civilización unificada a nivel planetario por las consecuencias tecnológicas de la ciencia. Por otra parte, la tarea filosófica de fundamentar racionalmente una ética universal nunca pareció tan difícil —e incluso desesperada— como en la era de la ciencia; y precisamente por eso, porque en esta época la idea de validez intersubjetiva está también prejuizada por la ciencia: por la idea científica de una “objetividad” normativamente neutral o no valorativa (Apel, 1985: 342).

Apel nos alerta sobre la posibilidad de usar los adelantos científicos para producir armas de destrucción masiva, para desplazar, exterminar y someter a pueblos enteros, y también sobre la destrucción y muerte a causa de la contaminación, resultado de la creciente industrialización. “Estas pocas observaciones bastarían para esclarecer el hecho de que los resultados de la ciencia representan un desafío moral para la humanidad. La civilización científico-técnica ha confrontado a todos los pueblos, razas y culturas con una problemática ética común, sin prestar consideración a las tradiciones morales culturales, propias de cada grupo” (Apel, 1985: 344).

El visionario Francis Bacon apreciaba el valor de la ciencia como un medio para arrancarle a la naturaleza sus secretos, con el objetivo de aprovecharlos para mejorar las condiciones de vida de la humanidad. Esta tarea exigía secularizar la ciencia, dejando a un lado los prejuicios y atavismos propios de la sociedad medieval. La visión de Bacon de un mundo futuro lleno de comodidades para el ser humano se ha cumplido en buena parte, pero queda un complejo saldo de atentados contra la humanidad producto de la ciencia. A este fenómeno lo llamaremos “síndrome Titanic”. Preguntémonos si el problema está en la ciencia misma o en las bases culturales de la modernidad con las que la ciencia se ha formado. En su optimismo, Bacon sostenía que “los descubrimientos derraman sus beneficios sin necesidad de hacer derramar lágrimas”.

Hermenéutica de la ciencia

El científico es un testigo que interpreta la realidad conforme a su formación, su cultura, sus creencias y su personalidad. Así, los hechos científicos no son sólo datos (*facts*), sino interpretaciones y, por lo tanto, están cargados de cierta axiología. Por eso, Apel critica a Karl Popper:

No basta indicar con Popper, y en contra de la filosofía analítica, que los datos relevantes sólo se constituyen como datos a la luz de “teorías” (no neutrales normativa ni metódicamente): según Popper, estas afirmaciones son también adecuadas para los datos que la ciencia natural establece con independencia de toda valoración. Debemos señalar además que los (así llamados) “datos” mismos, en el caso de las ciencias humanas, están caracterizados por seguir normas subjetivamente; lo cual significa que primariamente con la única reserva del ulterior distanciamiento y neutralización deben constituirse a partir de un enfoque, a la vez, comunicativo y autorreflexivo, es decir, un enfoque precisamente hermenéutico (Apel, 1985: 365-366).

Por otra parte, con un método científico alternativo, el investigador se vería a sí mismo como testigo de la realidad. Inicialmente un testigo es un espectador, pero su papel como testigo consiste en dar

imposible que el testimonio de un testigo sea la simple repetición de los hechos. Éste, por necesidad, es la interpretación de los hechos.

La hermenéutica es la ciencia de la interpretación. La interpretación de los hechos implica averiguar su significado, por lo tanto se presupone que la historia significa o puede significar algo para una persona o un grupo. Ahora bien, la interpretación ocurre de manera automática y a priori en todo proceso de relacionarnos con la realidad, de ahí que sostenga Apel: “Queda patente que la hermenéutica debe presuponer siempre una fundamentación normativa de su comprensión éticamente valorativa” (Apel, 1985: 376).

Una de las tesis más importantes de la hermenéutica es que el mundo que nos rodea ya está previamente interpretado. Mediante el proceso educativo los seres humanos aprendemos formas de interpretar la realidad del mundo y la cotidianidad social culturalmente transmitidas. De hecho, nuestro aprendizaje es en sí mismo aprender a interpretar. Por ejemplo, los padres dicen a sus hijos que coman alimentos “buenos”, como el brócoli, y aunque éstos tengan un sabor desagradable, los padres hacen gestos y trucos para convencer a sus hijos de que comer brócoli está bien. Cómo usar el agua, cómo lavar y limpiar, qué alimentos consumir... etc., todo el mundo que nos rodea desde la más tierna infancia, está ya social, cultural y lingüísticamente interpretado.

Dependencia ética-ciencia

Como es sabido, la tarea de los científicos se guía por ciertas “reglas del juego”. Las reglas dependen de las técnicas y principios que a lo largo de la historia se han acumulado en torno a una disciplina. Los científicos maduros procuran que estas reglas se respeten, pero frecuentemente creen que las reglas no tienen un significado (hermenéuticamente interpretable) ni un valor ético (axiología). Por eso “opino —dice Apel— (con Pierce, Popper y Lorenzen) que la lógica, y especialmente la lógica de la ciencia, tiene que concebirse como una ciencia normativa” (Apel, 1985: 377).

Enemigos a vencer el prejuicio como el dogmatismo en cualquier sentido, queda todo el lugar para la discusión fundamentada y razonable.

La lógica de la ciencia son precisamente las reglas del juego de las que hablamos antes. Las reglas de la lógica establecen cómo se organizan las premisas para llegar a las conclusiones y cómo sabemos que éstas son verdaderas y válidas. Por eso, si los científicos buscan la confirmación empírica y experimental de una noción, “sólo podemos hablar de confirmación empírica cuando suponemos ya un criterio ético de comprobación, además

de la consistencia lógica” (Apel, 1985: 378). “Podemos afirmar que la lógica —y, a la vez, con ella todas las ciencias y tecnologías— presupone una ética como condición de posibilidad” (Apel, 1985: 379).

Resumiendo, Apel radicaliza el problema al buscar las fuentes de validación de toda ética como ciencia. Si sólo lo científico tiene validez universal intersubjetiva y la ciencia no se deriva de normas sino de hechos, ¿cómo podrá la ética ser una ciencia con valor normativo? (Apel, 1985: 359ss.). Su respuesta es del todo esclarecedora: toda ciencia obedece a priori a un imperativo normativo universal e incondicionado, que consiste en que toda ciencia debe existir y debe versar sobre la verdad. Así, toda ciencia presupone a la ética (Apel, 1985: 379).

Líneas de una ética para la ciencia

A continuación procederé a desarrollar, en ocho secciones, las líneas que propongo considerar con el afán de satisfacer las implicaciones éticas de la ciencia. Aclaro que estas ocho son resultado de dos seminarios consecutivos que dirigí sobre el tema, si bien reconozco que propiamente estas líneas están por ser investigadas a profundidad.



1) Interpretación del mundo y quehacer científico

La ciencia es un producto de la acción humana intencional; es, por lo tanto, artificial. La hipótesis de una ciencia, resultado natural de la relación entre hombre y mundo, se revela como imposible, ya que la característica que hace de la ciencia una modalidad particular de conocimiento radica en el hecho de que no se trata de un conocimiento particular, sensible y, en el mejor de los casos, un saber hacer. Se trata, en cambio, de un conocimiento de las causas y de las relaciones necesarias que explican una realidad. Por lo tanto, se trata de un acto intencional y sofisticado que implica una considerable inversión de recursos, con una finalidad que tiende directa o indirectamente a apropiarse de la realidad y controlarla.

La ciencia, como un artificio, es dependiente de la motivación del presunto científico y de sus propias capacidades críticas para hacerse consciente y entender la realidad. Estos procesos no son ajenos a la cultura ni a sus valores inherentes, que adquieren el carácter de cosmovisión, es decir, de totalidad de sentido.

“Los estímulos que el hombre recibe no aparecen originalmente aislados sino en una unidad significativa que urge la acción como respuesta, más aún, tales estímulos son, ante todo, primeramente una presencia valorativa de un mundo continuamente emergente a la conciencia humana, es decir, la unidad de la percepción se convierte en estímulo en cuanto motiva la acción como respuesta a lo que se presenta en aquella como un objeto que interpela” (Castro, 2003: 13). Aquí es de destacar el hecho de que para el sujeto que conoce el dato no aparece aislado, sino que es una pieza significativa de una totalidad dotada de significado. El dato se encuadra en un contexto de sentido. Por lo tanto, el dato es interpretado permanentemente por el sujeto, ya sea el sujeto que conoce con un afán científico o el que conoce con un afán técnico o meramente espontáneo.

Resulta entonces que la interpretación del mundo y el quehacer científico se mezclan: este último deviene en una interpretación del mundo y, a su vez, resignifica y modela al mundo. En este sentido:

es decir, los paradigmas científicos, dando lugar a la técnica y al desarrollo constante de la misma por la tecnología, que permite no sólo ya una mejor adaptación del hombre a su ambiente natural para sobrevivir, sino la adaptación de la naturaleza a sí mismo, transformándola por su acción como respuesta proactiva a los estímulos (Castro, 2003: 14).

2) Definición axiología y diseño experimental

Pasemos entonces a discutir lo que sería la definición axiológica y el diseño experimental. Con el término “axiología” nos referimos al sistema de valores apropiados o aplicados a un ámbito de la vida individual, cultural o social. Por “valor” entendemos un criterio por el que se prefiere algo en relación a otra(s) cosa(s). Preferir consiste en dar una connotación más deseable a un objeto con respecto otro, basados en un determinado criterio de valoración. La ciencia está entonces inmersa en una axiología, ya sea desde la motivación por la que se investiga o desde el punto de vista que tiene la disciplina metodológica sobre los valores de veracidad, objetividad, imparcialidad, exhaustividad, publicidad, transparencia, honestidad, respeto por la propiedad intelectual, apertura, responsabilidad social, legalidad, respeto y eficiencia.

Pues bien, el hecho de que exista todo un horizonte de valores que le competen a la tarea científica implica que en el diseño de los experimentos éstos deben estar presentes estos valores.

En relación con el discurso que venimos exponiendo sobre las bases de la ética de la ciencia, descubrimos la importancia que tiene la existencia de los conjuntos de valores a partir de los cuales se toman decisiones en el ámbito científico. Tal es el caso del diseño experimental, donde se da una manipulación en la selección de las variables, el ordenamiento que se le da a las mismas, los objetivos que se quieren alcanzar con una investigación determinada, todos condicionados por las características históricas que prevalecen desde el punto de vista del investigador y su contexto.

Hay entonces condiciones epistemológicas que afectan la eticidad de la ciencia, entendida como la obligación de que la ciencia verse sobre la verdad. Pero, ¿qué responsabilidad implica para el investigador, para la comunidad científica a la que pertenece, para la institución que lo patrocina, el hecho de que se diseñe una investigación con características tales que se corresponda a los objetivos intencionales propuestos de antemano y que podrían dar lugar a la construcción de resultados?

Pónganse como ejemplos la investigación que se realiza en la industria, como en el caso de los cigarrillos o los medicamentos, que tiende a exaltar las bondades del producto y solapar —o francamente encubrir— los aspectos más comprometedores. En esta tarea, los científicos, como se verá más adelante, se ven limitados en su responsabilidad personal por objetivos organizacionales.

No hay que perder de vista el hecho de que la ciencia moderna, como se entiende en la actualidad, sobre todo si comparamos el concepto aristotélico de ciencia, no es un saber por el saber, sino un saber funcional, orientado a mejorar las condiciones de vida, con una tensión utópica, como lo formuló Francis Bacon cuando proponía que el científico era el mayor benefactor de la humanidad. “Pues en el diseño experimental se trazan las estructuras anticipadas del pensamiento que pretenden apresar un ámbito de la naturaleza, ganándolo al dominio de la ciencia, es decir, obteniendo la constancia de la variación de un fenómeno natural dado en la necesidad de su transcurso, para después reproducirlo intencionalmente e incluso transformarlo” (Castro, 2003: 14). Resulta entonces que las estructuras anticipadas de pensamiento con las que se elabora el diseño experimental pertenecen a un horizonte de valoración marcado por una serie de objetivos que prefiere la sociedad.

Aun si esta investigación no se realiza en el ámbito aplicado sino en la investigación pura, la lectura de las variables está condicionada socialmente. Quizá cabría preguntar si la ética estará bien servida cuando el investigador sea consciente y fiel a su entorno cultural, social e histórico particular.

3) Relación entre axiología y diseño tecnológico

Como prolongación de la problemática reconocida anteriormente, tenemos los condicionamientos que

Partimos de una concepción básica de que la ciencia debe realizarse con el objetivo de beneficiar a la humanidad, impulsar el progreso, mejorar las condiciones de vida, facilitar los esfuerzos humanos. Si consideramos axiología y desarrollo tecnológico, aquellas grandes promesas incluyen siempre un costo no bien reflejado por los grandes impulsores de esta lectura optimista de la ciencia.

Tal vez al tratar de minimizar los efectos nocivos que implica la aplicación tecnológica e industrial de la ciencia se afirma que, con el tiempo y gracias a la ciencia, se encontrarán las soluciones a dichos efectos secundarios indeseados. No obstante, los altos costos humanos y sociales de la inserción de la tecnología, como el desplazamiento de la mano de obra, la contaminación, el uso indiscriminado y el agotamiento de los recursos naturales pudieron haber sido ingenuamente soslayados en el pasado, pero en la actualidad son muy notorios y de amplio impacto.

En *Fausto* de Goethe, hacia el final de la obra Fausto es presentado como una especie de mago capaz de dominar portentosas fuerzas naturales gracias a la industria. Fausto refleja al hombre moderno, que en el momento en que tiene que optar entre detener su avance conquistador o sacrificar un par de ancianos que viven al margen del mar y que lo estorban, no duda en matarlos. Fausto representa así el saldo fatal del desarrollo tecnológico e industrial.

Nos preguntamos si el hecho de que haya víctimas puede justificarse a la luz de los incontables beneficiarios de estas tecnologías. Si pensamos en el protocolo ACTG 076, de los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos (NIH), que apareció en el *New England Journal of Medicine* de septiembre de 1997, parecería aceptable investigar en poblaciones extranjeras desinformadas, como ocurrió en Sudáfrica, donde se estaba aplicando el antirretroviral zidovudina a mujeres embarazadas, infectadas con el VIH-sida. El objetivo era disminuir la transmisión del VIH de las madres a los hijos, pero optimizar los costos de este tratamiento aplicando dosis espaciadas. A toda la población seleccionada se le aplicaban inyecciones con la misma periodicidad, pero algunas de las dosis eran placebo¹. La justificación que dieron Harold Varmus, director de los Institutos Nacionales de Salud, y David Satcher, director del Centro para el Control de Enfermedades (Center for Disease Control), para este atentado a los derechos humanos y a la ética médica fue que el estudio era justo, ya que "no se sabía de antemano qué personas serían las beneficiadas y cuáles no".

En éste, como en otros casos, el costo humano y social empleado en los progresos tecnológicos parecería justificarse a la luz de los futuros beneficios de interés social que se obtendrían de la operación; no obstante, al actuar así, se instrumentaliza al ser humano y se socavan en sí mismas las razones por las cuales se dice querer impulsar el desarrollo científico y tecnológico.

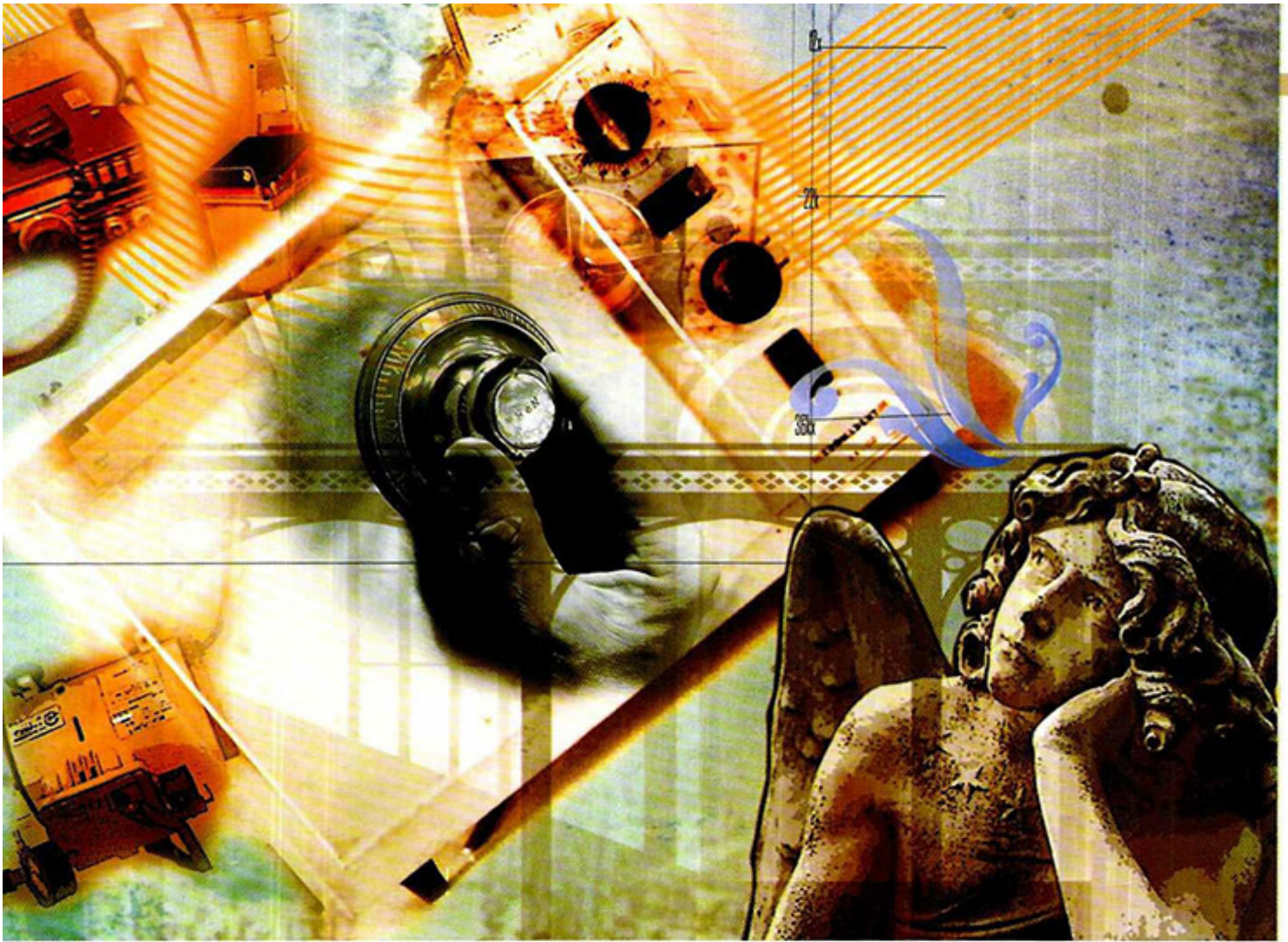
Hay condiciones epistemológicas que afectan la eticidad de la ciencia, entendida como la obligación de que la ciencia verse sobre la verdad.

4) Relación entre ética personal y ética institucional

La posición ética de los científicos es, en primer lugar, la que les toca en tanto personas responsables por sus actos, pero es independiente de su competencia como científicos, la cual es evaluada por la comunidad científica conforme a su respeto por las reglas del juego, al rigor de su investigación y a la honestidad de sus propuestas. Ha habido casos de investigadores que falsifican los resultados, que se roban las ideas de los demás sin darles crédito y que plagian sus investigaciones, acciones que los comprometen en cuanto individuos y en cuanto miembros de la comunidad científica.

No sólo son relevantes estas dos dimensiones de responsabilidad por la conducta personal, los científicos también tienen que dar cuenta de su trabajo ante la academia. Existe una dimensión de responsabilidad pública del científico en cuanto ciudadano, por la cual le corresponde ser partícipe de las actividades de la comunidad científica, contribuir a la investigación científica y a la enseñanza de la ciencia.

1. Ver: Studdert, D. y Brennan, T. (1998). Clinical Trials in Developing Countries: Scientific and Ethical Issues, en *The Medical Journal of*



de la democracia electoral, que la desvinculan de la responsabilidad de sus elecciones. Por el contrario, su responsabilidad como experto es necesaria para comprender las necesidades sociales y promover su satisfacción de la misma manera en que es necesaria la responsabilidad ciudadana del maestro en cuanto maestro, del político profesional en cuanto tal, etc.

Innumerables conflictos ocurren cuando las prioridades de la institución para la que trabajamos se vuelven incompatibles con las propias convicciones. No se trata de un conflicto de intereses sino de un auténtico conflicto ético, que radica en la necesidad de hacer compatibles los intereses individuales con los intereses institucionales. Más aún, se trata de hacer compatibles la ética individual y la colectiva. En buena medida, los códigos de ética están orientados a resolver este tipo de conflicto, al crear una plataforma moralmente vinculante para todos aquellos que cumplen una función institucional.

No obstante, es posible, como sugieren abundantes ejemplos, que el interés de alguna organización o empresa suponga manipular el conocimiento científico, con fines utilitaristas y provechosos para la misma pero potencial o realmente perniciosos para la sociedad: ocultar información, manipularla o manejar verdades a medias sobre efectos colaterales, agentes contaminantes o cancerígenos, son frecuentes transgresiones que afectan el interés público y que pueden traducirse en encrucijadas como el hecho de que un científico sienta el deber de ventilar públicamente información obtenida en su trabajo o bien renunciar, justamente poniendo en juego esa triple responsabilidad ética: personal, científica y ciudadana.

5) Supervisión social sobre la ciencia

Algunos científicos pueden ser menos escrupulosos y creer que el conocimiento en y por sí mismo no es importante, sino que debe traducirse en resultados tecnológicos. Sostienen que solamente el conocimiento que tiene consecuencias prácticas, es decir, "aquel que es patentable" es bueno, pero no se

Pongamos en evidencia una falacia científica. “Es emocionante llegar hasta aquí y descubrir x, estamos tan cerca que no nos podemos detener”, se escucha decir a numerosos investigadores cuando se acercan a la comprobación de determinadas hipótesis. Es emocionante ser descubridor de “tierras ignotas” y hay en ello un sentimiento de triunfo frente a la naturaleza, que ya no puede seguir ocultándonos ese secreto. ¿No es ésa la emoción que se sintió después de la primera clonación... y de la segunda....?

La falacia científica consiste en desvincular el saber del deber. Ninguna tarea científica prescinde de un concepto del deber, por lo tanto, el razonamiento que dice “no me puedo detener, estoy tan cerca de descubrirlo” cumple con el imperativo del saber, pero no sabemos si cumpla con el del deber. Tenemos que plantearnos la validez ética del para qué y del cómo de nuestra investigación. Ningún descubrimiento puede hacerse a “cualquier precio” ni es ajeno a sus consecuencias. Así como el médico puede alegar que por ética profesional se niega a emplear cierto medicamento o terapia, de la misma manera el científico puede alegar que por ética profesional se niega a descubrir algo que considere éticamente inaceptable.

Dado que ninguna actividad humana puede dejar de ser humana en sus fines y en sus medios, la ciencia no es mera búsqueda del saber, sino del saber en la medida del ser humano.

Pongamos en evidencia la falacia tecnológica. Semejante a la anterior, esta falacia dice que si se puede hacer, entonces hay que hacerlo. Es verdad que si tenemos capacidad de crear armas cada vez más sofisticadas y letales, y no se justifica el hecho de saber cómo hacer y no realizar, hay que fabricarlas. Ocurre lo mismo con la manipulación de embriones humanos, la robotización, etc. Hay en este argumento una excesiva ingenuidad —o inescrupulosidad— de parte del científico-técnico, que cree que las consecuencias por el uso son del todo ajenas a él mismo y a su descubrimiento.

Asumir afirmativamente la preocupación por las consecuencias de la investigación científica y tecnológica, no obstante, nos hace patente el problema de que si el investigador estuviera permanentemente preocupado por los potenciales usos dañinos de la ciencia, sobrevendría la parálisis. Por otra parte, los posibles usos nocivos no impiden el aprovechamiento constructivo y benéfico de nuevos conocimientos en diversas materias.

Solucionar estas cuestiones radica en reconocer que la ciencia no se valida a sí misma y que requiere del auxilio de la ética para esclarecer sus finalidades y consecuencias. El científico se mueve siempre amparado por determinadas exigencias éticas, como lo son la búsqueda de la verdad y la honestidad intelectual. La ciencia tiene al ser humano como horizonte último y, por eso, su imperativo ético le exige hacerse y emplearse a favor y no en perjuicio de la humanidad o, en términos kantianos, el ser humano no se vale del ser humano como medio, sino que es un fin, con lo que la pretendida ausencia de teleología de la ciencia es insostenible.

Los eventuales riesgos del mal uso de los conocimientos no deben detenernos, siempre y cuando creemos una cultura ética para la actividad científica que nos de confianza en que los procesos no se dan cumplen de manera compulsiva e irracional, lo que haría que el desarrollo científico y tecnológico fuera un frenesí ciego, sino apegados a su más auténtica vocación de realización y humanización. En buena medida, esta es una tarea de la sociedad democrática.

6) Formación del público por parte del científico

El científico tiene un triple compromiso ético: en cuanto científico con la ciencia, con la verdad; en cuanto ciudadano, de procurar el bien común; y en cuanto individuo, con sus propias convicciones.

Como el científico posee una responsabilidad social, no le corresponde tomar una decisión en lugar del público, de juzgar en lugar del público, ya que en una democracia las decisiones individuales requieren someterse a los canales institucionales, si bien es cierto que su conocimiento experto le da valor a su opinión y ésta debe ser considerada con particular respeto. En último término, la información completa y veraz debe llegar a la opinión pública para que sean tomadas las mejores decisiones para

Este ejercicio permite moderar tanto un solipsismo moral como un solipsismo científico. En ese sentido se pronuncia, por ejemplo, Kraus (Kraus, 2001), quien pide una ética médica laica, para que haya un espacio social de libertades donde se puedan tomar sus propias decisiones a conciencia. No obstante, siempre es inquietante determinar cuáles son las fronteras entre la responsabilidad social, el profesionalismo y la conciencia personal. Justamente muchas de las discusiones más acaloradas de nuestra época radican en la confrontación irresuelta entre estas dimensiones.

Asumir esta problematicidad, analizarla exhaustiva y críticamente, es necesario, al igual que emplear métodos apropiados de análisis ético para tomar decisiones éticas —que no son, ni pretenden ser, de aceptación unívoca, pero sí tener un acatamiento reflexivo y vinculante.

7) La ciencia como objeto de políticas públicas

La investigación y el fomento a la innovación en ciencia y tecnología generan dinámicas que promueven el desarrollo de empresas y del país en su conjunto, al incrementar oportunidades para que las grandes poblaciones se beneficien en alguna medida de los avances. Mantener una posición competitiva para el país, mantener ramos de vanguardia que representen potenciales comerciales y, no menos importante, generar tecnologías propias que reduzcan la dependencia y la marginalidad del país con respecto a otros son objetivos que hacen del fomento a la investigación una materia de interés público, ya sea que esta investigación se lleve a cabo en empresas privadas o entidades públicas o educativas. Lo importante es que, dada la importancia del tema, en la agenda pública éste no puede quedar al margen de una acción proactiva de las autoridades gubernamentales, a fin de que se premien aquellas actividades investigativas más relevantes o se inhiban aquellas otras que, por diversos motivos, pudieran considerarse no esenciales o contrarias al interés público.

La importancia de la investigación y de su fomento no genera dudas, pero cuando se toca el punto de quién paga y quién recibe, el escenario comienza a tornarse tormentoso, ya que en éste, como en la mayoría de los rubros presupuestales para los que se reclama la intervención gubernamental, los recursos son notoriamente insuficientes en relación con la demanda. Se impele a quienes toman las decisiones para establecer filtros o criterios de mérito para acceder a los recursos.

El enfoque neoliberal de las políticas públicas busca que los recursos se racionalicen y se focalicen; así, los demandantes con información suficiente y reglas claras podrán competir para recibir recursos. Este ejercicio premia las propuestas mejor sustentadas, más necesarias o potencialmente más benéficas, y elimina aquellas que son más débiles o que no logran consolidar a su alrededor el respaldo institucional, administrativo, político y científico suficiente.

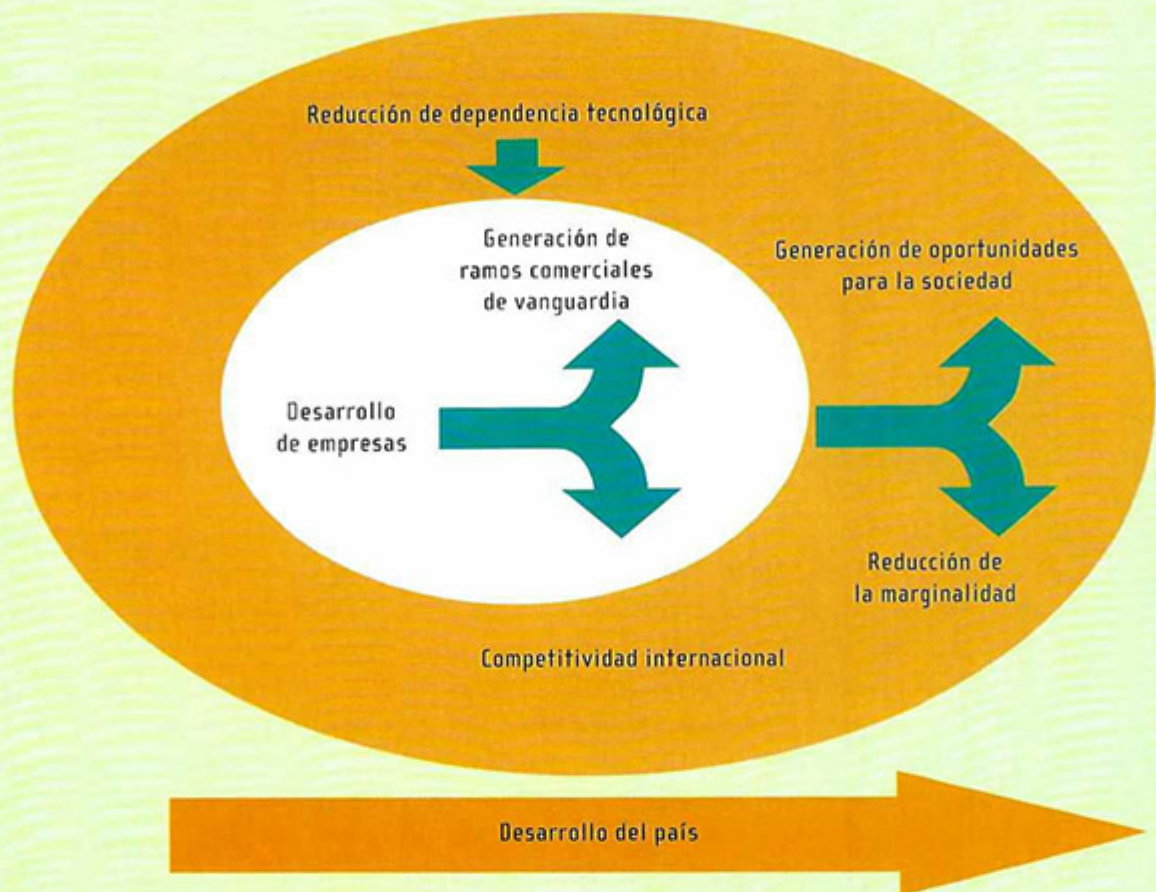
Todo problema de asignación de recursos implica necesariamente una dimensión ética, ya que la asignación ocurre con base en determinados criterios de valor que jerarquizan prioridades. Cuáles son esos criterios de valoración es materia propia de la ética, no de la economía o del derecho, ya que estas dimensiones poseen congruencia “local” en su propia esfera. Sin embargo, la ética asume cada una de esas esferas y las integra en un criterio único de decisión, ya que es propio del sujeto que toma la decisión escoger entre diferentes principios de valoración o, en otras palabras, jerarquizar los criterios de valoración, escoger uno de ellos e integrar de la mejor manera los restantes.

Los criterios de valoración se construyen con base en los elementos técnicos propios del ámbito particular sobre el que se decide. Cuentan también los criterios morales y políticos, que hacen parte de la decisión de los individuos involucrados y del ámbito de poder en el cual se construyen las decisiones.

Los autores debaten si la asignación de los bienes públicos se representa de manera adecuada en el juego político, el mercado o en la cultura política y sus valores.

El primer enfoque sostiene que lo político se define en el hecho de que se corresponda a la discusión de intereses plurales. Las decisiones y acciones —políticas (públicas)— son políticas por su origen, ya que surgen de la confrontación de grupos e intereses. La ponderación ocurre caso por caso.

Figura 1. Resultado de la investigación científica y tecnológica



Fuente: elaborado por el autor

y objetivos rivales del bien. La legislación y los programas gubernamentales materializan los acuerdos vinculantes relativos a los bienes que se perseguirán mediante asignaciones públicas. En ese mismo sentido se manifiesta Theodor Lowi con su enfoque de espacios de política. Para este autor, las políticas públicas son el resultado de que estén vinculadas al poder de alguno(s) de los actores social(es) para persuadir o imponer el conjunto de sus prioridades. En todos los escenarios existen rivalidades, pero el conflicto aparece sólo en la medida en que son incompatibles los objetivos, esto es, cuando los recursos son insuficientes y tienen que ser redistribuidos, lo que implica sacrificar el interés de alguna(s) parte(s). El enfoque de Lowi no reconoce mayor legitimidad a la posición de las partes predominantes, ni tiene en cuenta la eticidad o compatibilidad de los objetivos de la parte con aquellos albergados por la sociedad política en su conjunto, dado que se sostiene en el supuesto democrático de que no existen razones que no sean las que se conviene conforme a la regla de mayorías, donde la razón la tiene el (partido) más fuerte.

Además del mercado, la tercera alternativa para determinar las asignaciones es el marco cultural y axiológico fundamental del Estado, al que me he referido como mandato a priori de política (Serrano, 2001: 114) y también lo son los criterios de valor que prevalecen en la cultura, conforme al momento histórico actual y que sirven para formular las metas sociales sustantivas: no objetivas —propias de la administración— sino ideales. Tales metas son la precondition que determina cualquier política posible.

La idea de un mandato a priori de política nos dice que la sociedad, desde sus bases culturales, ya aprecia ciertos valores y principios, y desde ellos construye la política práctica y configura al Estado. Estos valores son parte de lo que podríamos llamar cultura política y determinan cómo, por ejemplo,

ante las cuales se confrontarán las acciones concretas o políticas públicas. No obstante, también determinan que una sociedad valore la corrupción, la disculpa o la mediocridad como parte de sus políticas públicas, lo que nos indica una distorsión en la comprensión de la naturaleza de la sociedad y de lo público.

El fomento a la investigación científica y tecnológica como objeto de políticas públicas desemboca entonces en tres interesantes dimensiones:

a) ¿Dónde se fijan los objetivos deseables para determinar la asignación de recursos en pro de ciertos proyectos científicos? No se trata, como podría alguien imaginar, de confrontar proyectos buenos o malos, fundamentados o infundados, sino entre buenos y mejores en condiciones de escasez de recursos.

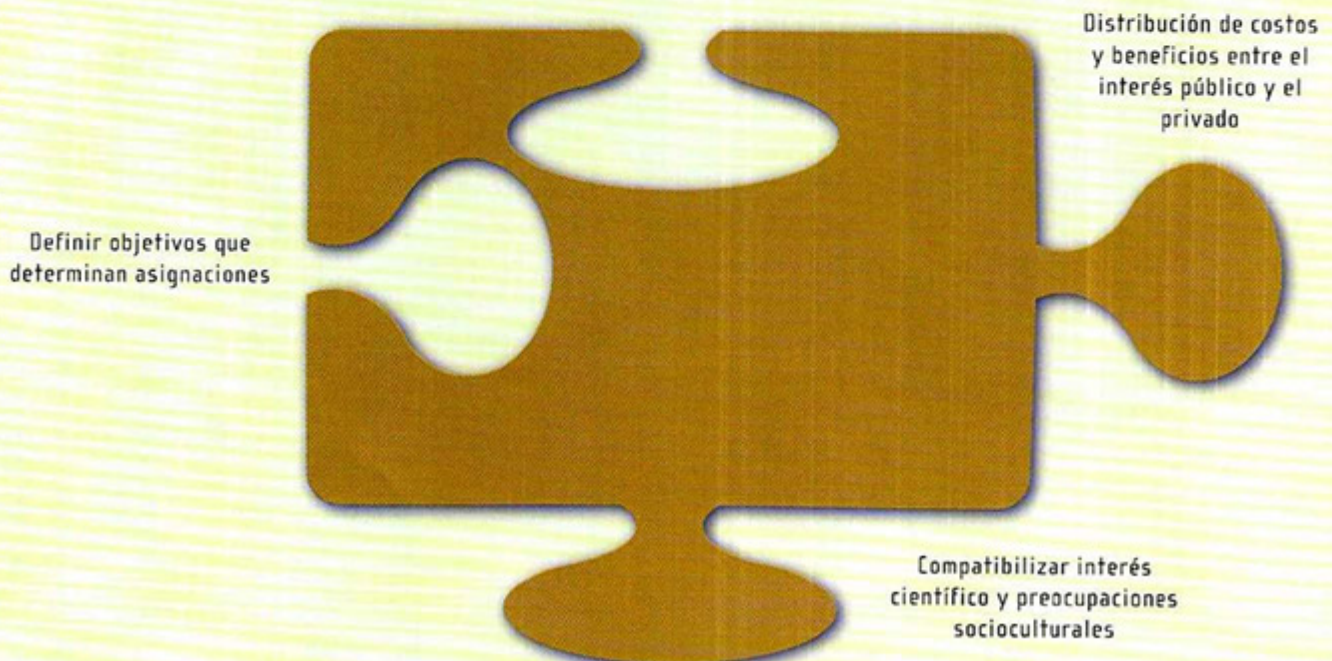
Este proceso de asignación implica necesariamente esclarecer, a los actores implicados, los objetivos social y políticamente relevantes, las reglas del juego para una competencia justa, la información necesaria para tomar decisiones y las bases para aceptar los resultados a la luz de que las decisiones de asignación correspondan a una acción del Estado y no sólo a una resolución administrativa.

b) A nivel de políticas privadas de focalización de la investigación existe también un problema de asignación. En el medio privado también se establecen prioridades con base en criterios de decisión. La empresa privada elige basada en criterios utilitaristas. En la organización esta modalidad de elección es perfectamente válida; no obstante, puede resultar que el interés de la organización implique un menoscabo del interés general.

Estas situaciones implican al menos un par de vertientes éticas que ya han sido expuestas anteriormente: en primer lugar, que un individuo sienta que su obligación ética es incompatible con determinadas decisiones o acciones de la empresa para la que trabaja y, en segundo lugar, que se requiera informar al público, de manera que se de una regulación social, ya sea informal o jurídica, del proceder de las empresas, protegiendo de esta manera el interés general.

c) El tercer aspecto por el cual se implica políticamente la ciencia es en virtud de la presión que recibe la autoridad de los sectores sociales, sea por los medios de comunicación, los consumidores o trabajado-

Figura 2. Dimensiones de la investigación científica como objeto de políticas públicas



res, etc., que se preocupan por las tendencias y los efectos resultantes de las actividades científicas, por lo general cuando la industria las aplica, pero no menos significativo, cuando grupos sociales manifiestan su preocupación por procedimientos cuestionables, como el uso de células madre de origen fetal.

Este tipo de presiones comúnmente terminan en inconvenientes y en la ausencia de soluciones, lo que deja insatisfecha a la comunidad científica. En las etapas previas y actuales de esta controversia, el investigador tiene que ser responsablemente consciente de que sus actividades están dentro de un contexto moral y político en el que se suscitan controversias reales y que en un régimen democrático las diferentes posiciones son igualmente dignas de consideración.

Con estas últimas consideraciones dejamos preparado el terreno para abordar los métodos éticos como respuesta al conflicto entre prácticas, estándares de conducta, ética política y moral, que hemos considerado en tres vertientes: individual, científica y ciudadana, así como en tres ámbitos: personal, institucional y político.

Metodología: algoritmo para la decisiones racionales éticas

La razón de ser de este algoritmo para la decisión racional ética es el hecho de que las decisiones éticas no corresponden a bienes o males puros, sino a complejas mezclas de bien y mal, que dejan perplejo al sujeto que debe elegir. Esta naturaleza dilemática de las decisiones éticas implica que se elija racionalmente y no movidos por buenas intenciones.

El algoritmo incluye la aplicación de métodos éticos extraídos de la historia y la tradición filosófica de occidente, y se aplican con base a una serie de preguntas orientadoras, para extraer un producto que forma parte del diagrama de flujo (figura 4) que se presenta más adelante.

En primer lugar (figura 4), se nos presenta una situación que es percibida como "insatisfactoria" o problemática (mediante un juicio de valor) en algún sentido moral. No es importante quién o por qué se percibe la situación. Como especialistas, nuestra responsabilidad es determinar si existe un verdadero problema, si éste es un problema moral, si es posible resolverlo y, en caso afirmativo, hacerlo.

El segundo paso nos indica que es necesario recopilar la mayor información posible acerca del caso y que ésta debe discriminarse: qué es importante y qué no para entender el problema. También se requiere en esta etapa identificar a los actores o agentes y, de cada agente, cuáles son sus intereses o preferencias y cuáles sus acciones actuales o potenciales.

Una vez establecida la información relevante (tercer paso), es posible concluir si se trata o no de un problema ético. En caso negativo, corresponderá a otra disciplina, sea tecnológica, jurídica o administrativa, la atención del asunto. Si se trata de un problema ético, significa que habrá que encontrarle una solución que sea al mismo tiempo tecnológica, jurídica o administrativa y ética, ya que la ética es una disciplina práctica vinculada siempre a las necesidades reales del hombre y la sociedad.

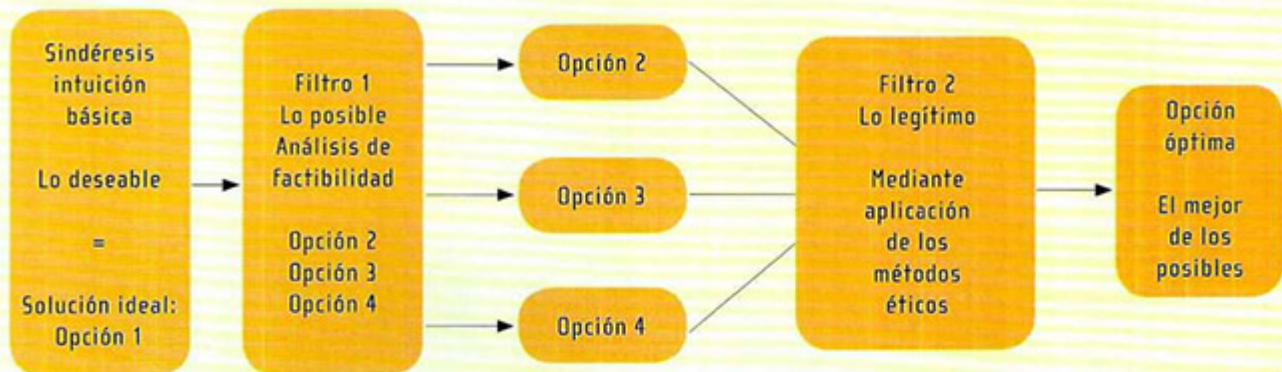
Para definir si algo es un problema ético se requiere, de manera indispensable, conocimiento de los principios permanentes de juicio, así como de los derechos y virtudes humanas y de los principios propios de la ética especial.

La cuarta etapa nos exige determinar cuáles son las causas del problema. En caso de que no podamos identificar con seguridad una o varias causas, establecer cuáles son las variables o factores implicados en el problema y, en lo posible, jerarquizarlos teniendo en cuenta cuáles pueden ser las causas. Sobre esos factores se va a actuar posteriormente.

La séptima etapa nos pide determinar si la(s) causa(s) o las variables se pueden cambiar mediante acciones voluntarias de uno o más agentes. Es decir, si es posible intervenir o si el problema carece de

Tenemos que plantearnos la validez ética del para qué y del cómo de nuestra investigación.

Figura 3. Ética es el mejor de los posibles
[preferir de lo bueno lo mejor]



Fuente: Serrano J. (2005), *Los métodos éticos*, México, Universidad Pontificia de México.

La factibilidad de una solución puede ser técnica, administrativa, legal, política y ética (una de éstas o combinaciones de varias). Por eso, en caso de que encontremos un problema de factibilidad, la quinta etapa nos pide reestructurar el problema, de forma que las variables queden dentro de la factibilidad de los agentes.

El caso debidamente estructurado con variables sobre las que un agente moral (es decir, consciente y libre) puede actuar pasa a la etapa de aplicación de los métodos éticos (etapa 8), que, según se ha estudiado anteriormente, operan como una batería para determinar la prioridad y legitimidad ética de las posibles decisiones/acciones de los agentes.

La aplicación de los métodos tiene que derivar en la preferencia de una decisión que será puesta en práctica (en la novena etapa) como solución del problema. Conforme se ha estudiado, la sindéresis implica una conexión entre conocer qué es el bien y elegirlo. No obstante, la ejecución exige indispensablemente un acto voluntario.

La décima etapa representa una muy particular característica de la acción moral. Ésta implica que la solución se puede plantear desde el punto de vista de la ética, aunque no necesariamente se resuelvan los problemas no éticos vinculados, por ejemplo, los administrativos. Por lo tanto, habrá que distinguir si el problema no ha sido resuelto éticamente (en la sexta etapa), entonces será necesario buscar otro tipo de decisión/acción como respuesta. Si el problema ha sido resuelto éticamente pero quedan aspectos de otra índole por atender, entonces el problema pasa a ser materia de la disciplina correspondiente o, si ha sido resuelto del todo, desaparece el problema.

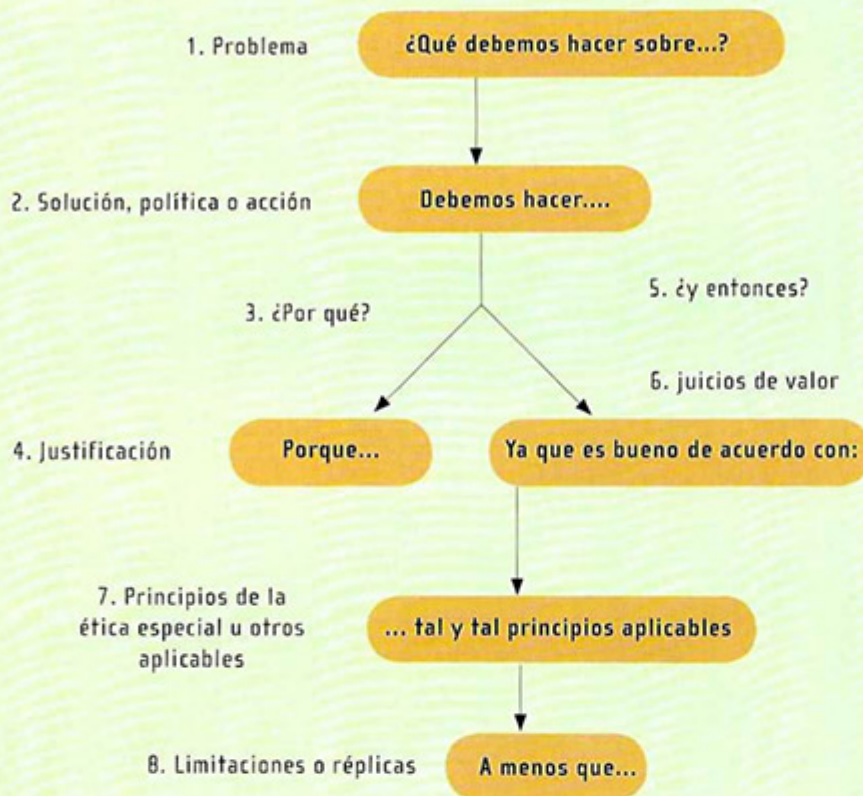
La solución

La aplicación de nuestra batería de métodos para la toma de decisiones éticas desemboca en una solución integradora, es decir, la óptima entre las alternativas que nos ofrecen.

En la formulación concisa de la solución del caso, conviene guiarse por la estructura que presentamos a continuación, añadiendo algunas variantes a la propuesta hecha por Brown (Brown, 1992: 253).

En resumen: establecemos cuál es el problema (1) desde el punto de vista de decisiones o políticas que se deben adoptar, la solución (2) pasa de un carácter prudencial a uno deontológico, es decir, adquiere un peso normativo a la luz de la evidencia razonada que se ofrece en (4) y que se califica moralmente como buena (6). De lo contrario, la solución no se puede ejecutar de acuerdo a los principios de juicio que pueden extraerse de la ética especial o de los conocimientos científicos —sociales o naturales— pertinentes (7) o, si los hubiera, de aspectos críticos o controvertidos, que pudieran orientar la deci-

Figura 4. Ética es el mejor de los posibles
[preferir de lo bueno lo mejor]



Elaborado por J. Serrano, *Ética y empresa*, Paidós, p. 253.

Bibliografía

- Apel, K. (1985), *La transformación de la filosofía II: el a priori de la comunidad de comunicación*, Madrid, Taurus.
- Brown, M. (1992) *Ética y Empresa*, México, Paidós.
- Castro Salas, M. A. (2003), Líneas fundamentales de toda ética para la ciencia, en *Inserciones*, México, septiembre.
- Dahl, R. y Lindblom, C. (1953), *Politics, Economics and Welfare*, Nueva York, Harper and Row.
- Kraus, A. (2002) <http://www.jornada.unam.mx/2002/dico2/021204/018a2pol.php?origen=opinion.html> (visto en septiembre de 2006).
- (2002) <http://www.jornada.unam.mx/2002/dico2/021211/024a2pol.php?origen=opinion.html> (visto en septiembre de 2006).
- (2002) <http://www.jornada.unam.mx/2002/dico2/021218/020a2pol.php?origen=opinion.html> (visto en septiembre de 2006).
- (2001) "Ética médica laica I", en *La Jornada*, México D. F., 25 de abril de 2001.
- Lowi, T. (1964), American Business and Public Policy Case Studies and Political Theory, en *World Politics*, 16.
- Aguilar, L., (1978), Estudio Introductorio, en *La hechura de las políticas*, México, Porrúa.
- Serrano, J. (2001), *La naturaleza ética de las políticas públicas*, México, Universidad Pontificia de México.
- Studdert, D. M. y Brennan, T. (1998) Clinical Trials in Developing Countries: Scientific and Ethical

sitios web

meteorología

http://www.globe.gov/globe_flash.html

GLOBE es un programa mundial de educación y ciencia, cooperativo y práctico, destinado a los estudiantes y profesores de enseñanza primaria y secundaria, que proporciona referencias, vínculos, datos, mapas y gráficos, imágenes, noticias e información sobre acontecimientos. Entre los numerosos temas científicos que abarca el programa cabe mencionar el tiempo y el clima, el medio ambiente y las ciencias de la Tierra (en inglés).



Innovación Tecnológica

<http://www.cepal.org/cgi-bin/getprod.asp?xml=/ddpe/noticias/paginas/2/12482/P12482.xml&xsl=/ddpe/tpl/p18f.xsl&base=/ddpe/tpl/top-bottomudit.xsl>

El programa computacional PADI (Programa de Análisis de la Dinámica Industrial) ha sido diseñado por la CEPAL, a fin de estudiar la evolución de la estructura industrial de los países de América Latina y el Caribe. Para alcanzar este objetivo, el PADI proporciona al usuario una base de datos industriales y un sistema de procesamiento adecuado para su análisis. La base de datos utilizada por el PADI fue desarrollada por la Unidad de Industria y Desarrollo Tecnológico a partir de 1993, con el fin de mejorar su capacidad de análisis sobre la evolución y los procesos de transformación que han caracterizado al sector manufacturero en la región (en español).



energías alternativas

http://www.fao.org/sd/en2_es.htm

El acceso a una energía limpia y de bajo costo es un factor crítico para elevar la productividad agrícola, alcanzar la seguridad alimentaria y mejorar las economías rurales. La bioenergía (al igual que otras fuentes de energía renovables, como la energía solar, eólica y geotérmica) puede ser un aporte fundamental para el incremento de la productividad de la fuerza laboral y la diversificación de las actividades económicas en áreas rurales, al proporcionar múltiples servicios de energía para la preparación de alimentos y calefacción, además de la energía necesaria para la producción de electricidad, la industria y los transportes.



juventud

<http://joveneslac.org/portal/>

El Portal de la Juventud está dirigido a todo público, pero especialmente a aquellas redes, organizaciones y grupos de jóvenes y de quienes trabajan con jóvenes en América Latina. El Portal quiere ser por medio de hechos una red de redes de organizaciones de jóvenes y de las que trabajan con jóvenes, públicas y privadas, nacionales e internacionales, relacionada con todas las temáticas vinculadas a la cuestión juvenil en América Latina y el Caribe.



química

<http://65.108.196.28/index.html?mode=preview>

La Fundación para la Enseñanza de la Química, una entidad privada sin ánimo de lucro que trabaja con la industria química para promover su importancia, cuenta con un sitio especial para niños, con enlaces, eventos, publicaciones, noticias, políticas y eventos.

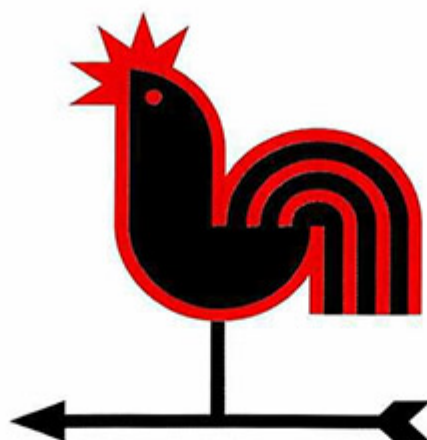


Botánica

<http://www.rbge.org.uk/rbge/web/index.jsp>

A los amantes de las plantas el Jardín Botánico Real de Edimburgo les da las novedades del sitio, noticias y todo acerca de la horticultura.





EL MUNDO EN BOGOTÁ

www.hjck.com

Desde 1950 una emisora para la inmensa minoría

Carrera 14 No. 85-24. Teléfonos: 236-3840. Fax: 256-5381. Email: hjck@etb.net.co. Bogotá. Colombia.



La Fundación Alejandro Ángel Escobar anuncia la apertura de inscripciones para sus concursos de Ciencias y Solidaridad, a partir del 15 de enero del 2007 y hasta el 30 de marzo del mismo año.

Tres premios en el área de Ciencias:

Ciencias exactas, físicas y naturales
Ciencias sociales y humanas
Medio ambiente y desarrollo sostenible

Dos premios en Solidaridad

Para mayor información ver Página Web: www.faae.org.co

NUEVA DIRECCION FAAE

Calle 26 N° 4A-45, Piso 10, Edificio KLM
Teléfono: 281 8711, Fax: 243 3104 • Correo Electrónico: faae@cable.net.co
Página Web: www.faae.org.co

Novedades editoriales

La ciencia y los científicos: una perspectiva psicológica



Rubén Ardila
Editorial Universidad
de Antioquia
2005, 78 p.

El presente libro trata de la creación de una comunidad científica, los procesos psicológicos de los científicos y la percepción social de la ciencia en nuestro país. Al profundizar en esta percepción, se analiza no sólo lo que piensan los colombianos acerca de la ciencia como parte integral de nuestro mundo, sino también las relaciones entre ciencia y tecnología, ciencia y religión, ciencia y política, el lugar de la ciencia en la educación, entre otros. Asimismo se estudian las motivaciones psicológicas, el desarrollo personal y las cogniciones, y el comportamiento de hombres y mujeres que dedican sus vidas a la ciencia, tópicos que no se habían investigado previamente en el contexto iberoamericano.

La ciencia y los científicos: una perspectiva psicológica se dirige a investigadores y profesionales de diversos campos, estudiantes de todas las disciplinas, psicólogos y al público en general que desee informarse acerca de la cultura científica colombiana, ya que en el siglo XXI la ciencia y su cosmovisión seguramente serán un motor clave en el desarrollo del país.

Conceptos básicos de mecánica Curso libre de física

En estudios superiores es frecuente encontrar a estudiantes con dificultades



Hilibrando Leal C.
Universidad
Nacional de Colombia
2005, 210 p.

finalmente optan por memorizar los conceptos (muchos de ellos erróneos e imprecisos), pero sin lograr comprenderlos. Esta situación se refleja en la dificultad para aplicarlos en la solución de problemas prácticos.

La enseñanza de las ciencias, particularmente de la física, debe hacer énfasis en la descripción de los conceptos utilizando un lenguaje preciso en el diseño y desarrollo de actividades que familiaricen al estudiante con el uso de recursos como el análisis de gráficas, el manejo de software, el experimento y las matemáticas. Éstas deben permitir expresar los conceptos físicos sin ambigüedad y facilitar la resolución algebraica de los problemas.

Actividades matemáticas para el desarrollo de procesos lógicos: clasificar, medir e invertir



Carlos Julio Duque, Lyda
Constanza Mora Mendileta y
Johana Andrea Torres Díaz
Universidad Pedagógica
Nacional
2005, 403 p.

Clasificar, medir e invertir son procesos ubicuos tanto en la vida cotidiana como en la ciencia; sin embargo, no siempre se tratan con el rigor que su abstracción matemática exige. Tales procesos han sido formalizados dentro de teorías matemáticas en conceptos como par-

números racionales y números negativos, que forman parte de un ambiente más general en la teoría de conjuntos y la de números reales. Estos números forman parte del currículo escolar de la educación básica, media y de los primeros semestres universitarios, pero su comprensión se limita a una manipulación mecánica alejada de su profundo significado.

Como propuesta de solución a este problema, este libro es un acercamiento intuitivo, fundamentado en preguntas y respuestas que surgen de manera natural en el aula de clase.

La representación espacial en invidentes congénitos con apoyo de un dispositivo



Omar López, Luis Carlos
Sarmiento, Luis Bayardo,
Jaime Ibáñez, Nilson
Valencia.
Universidad Pedagógica
Nacional y Colciencias
2006, 246 p.

Este libro es el resultado de la investigación "Diseño y desarrollo de un prototipo basado en visión artificial y lógica difusa, para identificar procesos de representación espacial en discapacitados visuales que utilizan este dispositivo como ayuda aumentativa". Los experimentos se realizaron con personas invidentes del Centro de Rehabilitación del Adulto Ciego, CRAC, de Bogotá. Como escenario experimental se utilizó un ambiente cerrado con objetos de diferentes colores y tamaños distribuidos en un espacio específico. La recolección de datos se realizó mediante la metodología de análisis de protocolos de reportes verbales.



Novedades editoriales

La didáctica del minicuento y su desarrollo en ambientes hipermediales



Henry González Martínez y
Nohora Patricia Duarte
Universidad Pedagógica
Nacional y Colciencias
2006, 149 p.

Una experiencia de aprendizaje en el aula, mientras se construye el discurso estético en niños de educación básica primaria.

PUBLICACIONES RECIENTES DE ACAC

Investigar, crear y jugar: clubes de ciencias



Rubén Ardila
Editorial Universidad
de Antioquia
2005, 78 p.

Es una guía para la conformación de los clubes de ciencias, grupos permanentes de trabajo que desarrollan actividades en ciencia, tecnología y arte. Crear un club de ciencia nos permite compartir experiencias e inquietudes, desarrollar un espíritu investigativo creativo, explorar el mundo de la ciencia, la tecnología y el arte, trabajar en equipo para buscar soluciones a los problemas de nuestras comunidades, socializar, apoyar proyectos e iniciativas propias y de otros, lide-

rar propuestas innovadoras, descubrir el desafío y la responsabilidad del trabajo científico y tecnológico, involucrar a la comunidad.

NOTAS DE CLASE Universidad Nacional De Colombia

Manual de guía de laboratorio genética mendeliana, poblaciones, citogenética y genética molecular



Eugenio Andrade, Martha Lucía Bueno, Consuelo Burbano, Alejandro Chaparro, Luis Fernando García, Nubia Matta, Guiomar Nates, William Usaquén
Universidad Nacional de Colombia
2006, 211 p.

La unidad de genética, biología celular y molecular del Departamento de Biología en la Facultad de Ciencias presenta un compendio de guías y talleres de laboratorio que se usan en las prácticas de las asignaturas de genética molecular, citogenética, genética mendeliana y de poblaciones del plan curricular de la carrera de Biología.

Manual de farmacognosia



Ahmed M. Salama
Universidad Nacional de Colombia
2006, 87 p.

La farmacognosia es el estudio científico de la historia, cultivo, recolección, tratamiento, caracteres sensoriales, morfológicos, macroscópicos, microscópicos y químicos; incluye el aislamiento, caracterización e identificación de los principios activos de las drogas de origen vegetal, animal y mineral.

Optimización estática y dinámica en economía



Arsenio Pecha
Universidad Nacional de Colombia
2006, 276 p.

El presente texto es el resultado de la depuración de las notas de clase del curso de Matemáticas III de la Facultad de Ciencias Económicas. Se presentan las bases sobre los conjuntos, topología, funciones, grafos, contornos, convexidad, optimización estática no restringida y restringida, y se exponen los teoremas sobre optimización estática, base de la microeconomía.

EXPOCIENCIA 7

EXPOTECNOLOGÍA 2007



BOGOTÁ
27/6
SEPT A OCT

CTS+C
ciencia · tecnología · sociedad
+ COMUNICACIÓN

 ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

 cfe
CORFERIAS

 COLCIENCIAS
COLOMBIA

INFORMES WWW.ACAC.ORG.CO/3150728

Tarifa postal reducida 769



Colombia \$9,500

