

Innovación y Ciencia

VOLUMEN X, No. 1, 2002

Los derrames de petróleo

**Cambio
climático
global**

**La muerte
de las estrellas**

TARIFA POSTAL REDUCIDA 769. Precio: \$5.100.00



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



Un paso adelante en ciencia y tecnología

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

...Lea
**INNOVACIÓN
Y CIENCIA**

Suscribase ya por sólo \$ 21.000 al año

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





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

Misión

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

Actividades

Programa de política científica y tecnológica

Programa Nacional de Actividades Científicas:

Asesoría para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias

Encuentro con el Futuro - Conferencias

Expociencia Juvenil - Feria Nacional de la Creatividad

Clubes de ciencia y tecnología

Ferias de ciencia

Teatro de la ciencia

Correo de la ciencia

Campamentos y excursiones científicas

Encuentros de formación - Talleres y seminarios

Comunicación y Publicaciones

Revista *Innovación y Ciencia*

Programa de televisión - UNIVERSOS

Boletín Informativo

Centro de documentación

Programas especiales

Expociencia - Expotecnología

Convención Científica Nacional

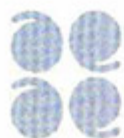
Premio Nacional al Mérito Científico

Cursos - Seminarios - Talleres

Administración de Convenios

Sede: Cra 50 N° 27 - 70
Ed. Camilo Torres, Blq. C - Mód. 3
A.A. 92581 - Fax 221 6950
Tels: 2213313-3155898-3155899
e-mail: acac@col.net.co
Bogotá - Colombia
www.acac.org.co

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



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

Presidente
Eduardo Posada Flórez

Editor
Mauricio Pérez Gil

Coordinación editorial
Rosario Martínez
Diana Patricia Mora

Comité editorial
Moisés Wasserman
Horacio Torres
Nahora Elizabeth Hoyos
Alberto Ospina
Carmen H. Carvajal
Luis Carlos Arboleda
Edgar Alberto Páez
Carlos Corredor
Guillermo Hoyos

**Consejo editorial
internacional**
Leon Lederman
Isabel Llano
Rodolfo Llinás

Corresponsal
Andrés M. Pérez-Acosta

Producción editorial
Vesalius, Arte y Ciencia Ltda

Ilustración
Olga Lucía Daza M.

Asistente coord. editorial
Yuliett Arias

Corrección de estilo
Néstor Clavijo

Fotografía
PhotoDisc, ABC Stock, Slide
Depot

Prerensa electrónica
Fotolito Editores

Impresión
Icfes

Distribución
Distribuidoras Unidas S.A.

Innovación y Ciencia
es la revista de divulgación
científica y tecnológica de la
Asociación Colombiana para el
Avance de la Ciencia, A.C.A.C.
DERECHOS RESERVADOS.

Prohibida su reproducción
parcial o total sin autorización
expresa del Consejo Editorial.
La publicación no es
responsable legal del contenido
de la publicidad de 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.
Venc. dic. 2002.
Impresa en Colombia.

A.C.A.C. Cra. 50 N° 27-70,
Edificio Camilo Torres.
A.A. 92581. Fax: 2216950.
Tels: 3150734 - 3155898 -
3155900. e-mail:
ocac4@col1.telecom.com.co
Bogotá - Colombia.
Precio de venta al público:
\$5.500.
Suscripción (4 números
al año): \$21.000.

Innovación y Ciencia



Portada. Los derrames de petróleo en
ecosistemas tropicales, un atentado contra
el futuro.

7 EDITORIAL ¿CONTINUAMOS AL 'FILO DE LA OPORTUNIDAD'?

NOTICIAS

8 DE LA CIENCIA A LA TECNOLOGÍA EN ELECTRICIDAD Horacio Torres Sánchez y Fernando Herrera León

10 MODELO COGNITIVO DE LOS SÍNTOMAS POSITIVOS DE LA ESQUIZOFRENIA Andrés Posada, Nicolas Georgieff y Nicolas Franck

14 EL PARÁSITO DE LA MALARIA Y SU CABALLO DE TROYA Moisés Wasserman Lerner

18 EL PACÍFICO ECUATORIAL DURANTE EL ÚLTIMO GLACIAL Y EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL José Ignacio Martínez

WEB

22 SITIOS DE INTERÉS

CONTENIDO

Volumen X, No. 1 - 2002

VISTAZOS

26

Células madre embrionarias: pluripotentes.

El riesgo "gordo" de la obesidad.

Avances en investigaciones sobre la malaria.

Primer genoma de plantas. Descifran los mecanismos utilizados por los genes.

La anorexia parece predispuesta por altos niveles de ansiedad materna.

Una enfermedad traída por el hombre pudo haber extinguido a los mamuts americanos

Descubrimiento o coincidencia.



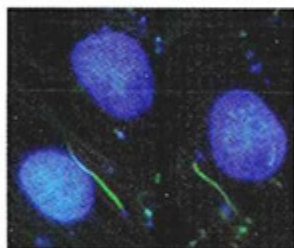
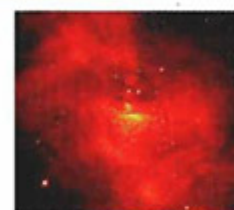
ARTÍCULOS

32

LA MUERTE DE LAS ESTRELLAS

Juan Guillermo Díaz Ochoa

Se presenta un panorama general sobre estrellas compactas (es decir, estrellas que reúnen una gran masa en un pequeño volumen) que se halla en un ciclo de decaimiento. En particular explica cómo es la materia que compone estas estrellas, luego se expone la conexión que existe entre estos objetos y la teoría de la relatividad general y finalmente se presentan las tendencias actuales de investigación.



38

LISTERIA. SORPRENDENTE INTERACCIÓN ENTRE UNA BACTERIA Y LAS CÉLULAS DE NUESTRO CUERPO

Adriana Renzoni

Listeria monocytogenes es el nombre de la bacteria responsable de recientes epidemias en países industrializados. Este microorganismo mortal ataca a las mujeres embarazadas, a los recién nacidos, a los sujetos inmunosuprimidos y a personas de la tercera edad. La sorprendente interacción entre ella y las células humanas permite que la bacteria entre y se establezca en nuestro cuerpo.



44

LOS DERRAMES DE PETRÓLEO EN ECOSISTEMAS TROPICALES, UN ATENTADO CONTRA EL FUTURO

Darío Miranda R. y Ricardo Restrepo M.

Los derrames de petróleo son una amenaza latente contra los diversos ecosistemas tropicales. En este artículo se presentan los efectos de los atentados a los oleoductos sobre los ecosistemas naturales tanto en su aspecto físico como biológico, y se muestran alternativas para su limpieza y recuperación.

52

COMPUTACIÓN, PSICOLOGÍA Y EDUCACIÓN

José I. Navarro Guzmán

Las ciencias cognitivas tratan de abordar el conocimiento humano desde distintos puntos de vista. La Psicología y las ciencias de la computación han encontrado en la Inteligencia Artificial un campo de análisis del razonamiento humano. Los cambios producidos por la informática están modificando los sistemas de aprendizaje. Desde esta perspectiva, el autor analiza la importancia de la informática en el sistema educativo.



LIBROS

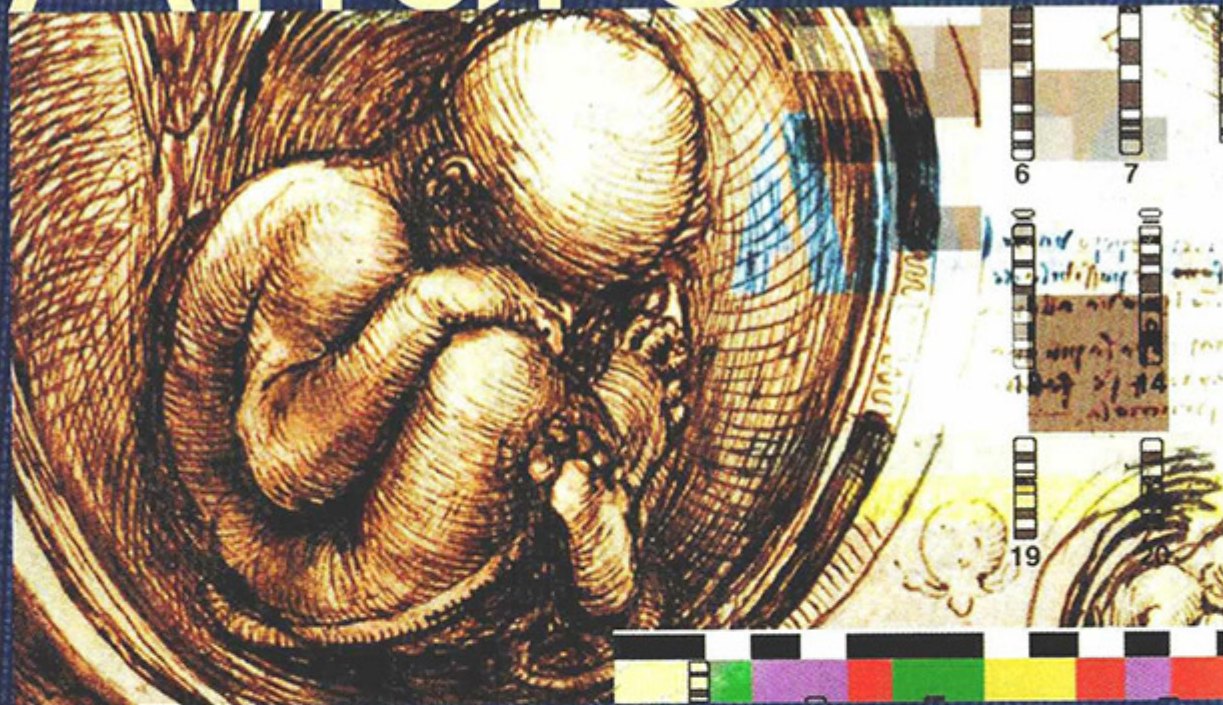
60

NOVEDADES EDITORIALES

A LA INVESTIGACIÓN
MÉDICA 2002

Premio

Afidro



Con el fin de reconocer y exaltar el aporte científico de la investigación médica colombiana, la Asociación de Laboratorios Farmacéuticos de Investigación ha creado el "Premio Afidro a la Investigación Médica".

Condiciones generales

- La investigación debe ser realizada en Colombia.
- Resultados definitivos.
- No estar publicada como artículo original en revistas de referencia.
- Profesionales en Ciencias de la salud.
- El Premio será otorgado cada dos años.
- Acumulable si se declara desierto.

Premios GANADOR

- US\$ 50.000 en efectivo, Galardón honorífico y apoyo para publicación en una revista de referencia.

FINALISTAS MÁXIMO CINCO

- US\$ 3.000 en efectivo. Mención honorífica y apoyo para publicación en revista de referencia.

Fecha límite
para la presentación
de la documentación:
31 de mayo de 2002



Informes:
www.afidro.com

¿Continuamos al 'filo de la oportunidad'?

En los albores del tercer milenio, buen número de países de América Latina enfrentan una situación de mucha gravedad que podría, en el peor de los casos, provocar un retorno a la época de los regímenes totalitarios de los años setenta. Argentina, Venezuela y Colombia, por no citar sino los tres en estado más crítico, se hallan inmersos en una crisis, económica en los dos primeros, y de orden público en el último, cuyo desenlace es muy difícil de prever.

Cabe preguntarse, en circunstancias tan complejas, cuál debe ser el papel de la comunidad científica de nuestras naciones para contribuir de alguna manera a aportar soluciones y, sobre todo, qué actitud debe asumir ante los inminentes recortes presupuestales y las previsible dificultades para adelantar su labor en los próximos años.

La ciencia nunca ha hecho parte de las prioridades de nuestro continente, a pesar de que en algún momento, especialmente en Argentina gracias a los premios Nobel de Leloir y Houssay, se pensó que las cosas iban a cambiar. Desafortunadamente, las circunstancias políticas, las crisis económicas recurrentes y la falta de conciencia social sobre la importancia de estos temas hizo que la mayor parte de los esfuerzos adelantados se viera frustrada prematuramente. Los indicadores de ciencia y tecnología que publican entidades como la RICYT son una clara demostración de lo que afirmamos. Tanto la inversión en I&D como el número de investigadores o el de publicaciones científicas por millón de habitantes siguen siendo lamentablemente bajos en promedio para toda la región, si se comparan con los valores correspondientes en países industrializados o en los de reciente industrialización. Como resultado de este hecho, en los estudios sobre competitividad que publica periódicamente el Foro Económico Mun-

dial, nuestros países ocupan siempre los últimos lugares, en buena parte a causa de su pobre desarrollo en ciencia y tecnología.

Esta situación va claramente en contravía de la evolución del resto del mundo, ya que es universalmente aceptado que la sociedad del siglo XXI será la del conocimiento y que un país que no sepa comprenderlo no tendrá ninguna posibilidad de alcanzar un nivel de desarrollo adecuado.

Hoy más que nunca, es indispensable que nuestros países otorguen a estos temas la prioridad que merecen, considerándolos como factores esenciales de supervivencia. Una altísima prioridad debe darse a la consolidación de una capacidad propia de producción de conocimiento, a la formación de recursos humanos altamente calificados y a la transformación del sector productivo basada en la creación de nuevas empresas y en la modernización de las existentes.

Ante el proceso irreversible de globalización que vivimos en este momento, nuestros países deben encontrar un espacio que, sin llevarlos a sacrificar sus riquezas étnicas, culturales y biológicas, les permita integrarse en el vertiginoso mundo del siglo XXI. Dentro de ese marco, dar la prioridad que merecen la ciencia y la tecnología, es permitirse pensar de manera independiente, y es, sin duda, garantizar un futuro para nuestros hijos.

La comunidad científica debe tomar conciencia de su obligación de asumir un papel mucho más activo, no sólo en lo que se refiere al ejercicio de su labor como generadora de conocimiento o en lo relativo a la búsqueda de fuentes de financiación distintas de las tradicionales, sino en el papel social y político que debe desempeñar. En una sociedad en donde el problema más serio ha sido, tal vez, la falta de líderes prominentes y de grandes estadistas, capaces de proyectar una visión global de lo que

debería ser nuestro continente, otros sectores de la comunidad deben asumir papeles que normalmente no les corresponden o que les corresponden de manera menos clara. Tal es el caso de nuestra comunidad científica, que tradicionalmente se ha mantenido al margen de los grandes problemas políticos por considerar quizá que no son de su incumbencia. Creemos que en el momento actual, esta actitud debe cambiar radicalmente y que los investigadores y el sector académico en general deben liderar los procesos de cambio.

Cómo no pensar, por ejemplo, en el papel decisivo que deben jugar las ciencias sociales en el análisis sistemático de los problemas que nos aquejan, en la construcción de soluciones o en el diseño de modelos de desarrollo que, sin comprometer nuestra identidad cultural, permitan a nuestras regiones integrarse de manera eficaz al mundo moderno. Por qué no gestar en las universidades y centros de investigación una reconversión del sector industrial, dándole la importancia que merece a la modernización del sector industrial actual y promoviendo la creación de nuevas empresas de base tecnológica, en sectores tan importantes como la biotecnología, la informática o la automatización industrial.

Generalizando lo que afirmó la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo hace siete años, nuestro continente ha estado desde hace mucho tiempo 'al filo de la oportunidad'. Estamos convencidos de que para que esa oportunidad por fin se concrete es necesaria la intervención de actores completamente distintos de los que hasta hoy han ocupado el centro de la escena, y de que, en ese contexto, la comunidad científica y académica debe jugar un papel preponderante. □

Eduardo Posada Flórez
Presidente A.C.A.C.

Horacio Torres Sánchez
Fernando Herrera León

Profesores,
Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá, D.C., Colombia.
e-mail: htorres@bacata.usc.unal.edu.co

De la ciencia a la tecnología en electricidad



A partir de los paradigmas científicos sobre las fuerzas electromagnéticas de Faraday, Volta, Ampere, Henry, Maxwell y Hertz, se muestra el paso a la tecnología de la electricidad y la electrónica, mediante los inventos de Edison, Tesla, Westinghouse y Marconi. Se presenta cómo el afán de imponer un criterio tecnológico o una patente que representa poder económico lleva a grandes inventores como Edison a especular sobre el peligro de la corriente alter-

na sobre la corriente continua, en lo que se llamó en los Estados Unidos "la guerra de las corrientes". Así mismo, cómo el inventor serbio Nikola Tesla tuvo que desistir, por problemas meramente económicos, de probar su hipótesis sobre la transmisión de voz e imágenes sin hilos y cómo años más tarde el ingeniero italiano Marconi toma esta idea y la presenta como suya, lo cual hace que sea demandado ante las cortes estadounidenses. El juicio resulta tan largo que cuando el juez recono-

ce la patente de invención de la radio a Tesla, ya Marconi tenía suficiente fama y dinero.

Tesla desarrollaba el motor de corriente alterna, mientras Edison perfeccionaba la lámpara eléctrica. Los protagonistas de la batalla de las corrientes fueron Tesla, Edison y Westinghouse, entre otros. Westinghouse fue quien desarrolló la corriente alterna para instalaciones comerciales. Edison atacó el empleo de ésta en febrero de 1888 cuando publicó *A warning*,

un panfleto de 83 páginas que incluía una revisión de los peligros de las altas tensiones y una lista de supuestas muertes por corriente alterna. El sistema de corriente alterna podía utilizar altas tensiones (inicialmente 1000 voltios) con muy pequeñas corrientes, gracias al transformador, que sólo podía ser utilizado con aquélla; Mientras que la corriente continua utilizaba más corriente (con 240 voltios) para la misma carga, por ejemplo una lámpara de 100 vatios.

Tesla publica en AIEE (hoy la IEEE) en 1888 su artículo *A new system of alternate current motors and transformers*. Westinghouse capta inmediatamente las ventajas de la teoría de Tesla y muchas otras y le ofrece un millón de dólares por su patente. Tesla

acepta con la condición de que se le pague un dólar por cada *horsepower* de motores fabricados. Westinghouse acepta y el contrato es firmado.

Tesla inventa el motor de corriente alterna y escoge la frecuencia de 60Hz como frecuencia estándar del sistema de corriente alterna. La batalla entre Edison y Westinghouse se torna más dura cuando Westinghouse inventa un medidor de energía para corriente alterna y genera de 40 a 80 por ciento más de potencia para el mismo número de lámparas (con medidores) que la compañía de Edison. Éste acuña entonces el término "death current" (corriente de la muerte), que se conjugaba con la idea del estado de Nueva York de realizar la pena de muerte por electrocución como una forma más humana de llevar a cabo la pena capital. Edison ofreció sus laboratorios para adelantar experimentos con animales. Un generador de corriente alterna tuvo que ser conectado para elevar la

tensión a 1200 voltios para la electrocución.

Westinghouse se opuso a los experimentos por el resultado de una publicidad en contra de la corriente alterna. Sin embargo, aquéllos fueron llevados a cabo a satisfacción de los involucrados. Hubo argumentos en pro y en contra y en no pocos casos exagerados. El estado de Nueva York continuó con su plan y la primera víctima por electrocución fue William Kemmler, el 6 de agosto de 1890, en la prisión de Auburn, Nueva York.

Los protagonistas de la batalla de las corrientes fueron Tesla, Edison y Westinghouse

Edison llevó la batalla hasta los estrados judiciales en el estado de Albany para limitar la tensión de corriente alterna hasta 800 voltios. La propuesta no fue aceptada por los legisladores.

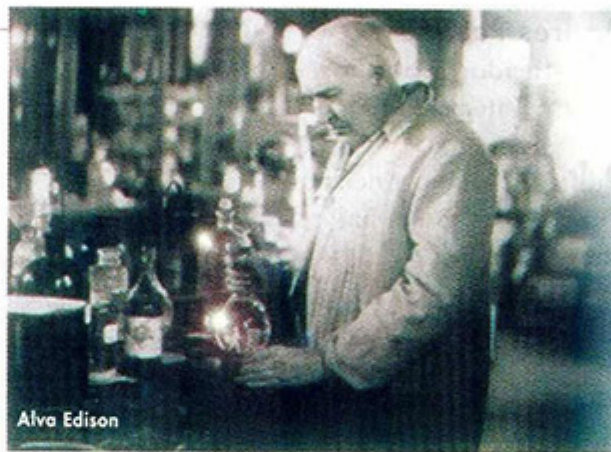
Westinghouse se dedicó entonces a publicar escritos y dar conferencias acerca de la seguridad de la corriente alterna. Por suerte, siempre tuvo la asesoría del Profesor Anthony, de la Universidad de Cornell, y por supuesto de Nikola Tesla, quien había trabajado en la idea desde el comienzo.

Westinghouse, en compañía de los hermanos Nunn, construyó la primera hidroeléctrica en Ames, Colorado en 1891, con un generador diseñado por él de 3000 voltios, 133Hz y 100hp. En la feria de exposición de Chicago en 1893, la com-

pañía Westinghouse promocionó la venta de energía de corriente alterna a 4,32 dólares por lámpara contra 18,50 dólares por lámpara de la compañía de Edison.

Trás el éxito de la planta hidroeléctrica de Ames, Colorado, los bajos costos comparativos de la corriente alterna contra la continua y el sistema polifásico instalado en Alemania por Westinghouse, éste se declaró victorioso en la "Batalla de las corrientes".

En Colombia, las primeras manifestaciones de la energía eléctrica llegan con el tren para alumbrado de las lámparas de arco y el telégrafo, en 1865. Los primeros generadores eléctricos de corriente continua para iluminación de mi-



Alva Edison

nas y plantas Diesel eléctricas llegaron a las ciudades de Cartagena y Barranquilla entre 1888 y 1892, y en 1879 para la Casa de la Moneda en Bogotá, casi a la par que Edison puso en operación la iluminación pública con electricidad en la ciudad de Londres en 1880.

Estos hitos tecnológicos nos sitúan a la entrada del siglo XX, en el cual se desarrolla totalmente las ingenierías eléctrica y electrónica, al punto de que el mundo pasa a depender tecnológicamente de ellas. □



Modelo cognitivo de los síntomas positivos de la esquizofrenia

Andres Posada

Investigador asociado,
Centro Internacional
de Física,
Edificio Manuel Ancizar,
Universidad Nacional
de Colombia,
Bogota D.C., Colombia.
email: posada@isc.cnrs.fr

Nicolas Georgieff

Instituto de Ciencias
Cognitivas, ISC
Francia

Nicolas Franck

Instituto de Ciencias
Cognitivas, ISC
Francia

Los desórdenes de la esquizofrenia son una patología de la mente con una frecuencia de aproximadamente 0,1%. Esta enfermedad se manifiesta a través de una serie de signos positivos y/o negativos. Se dicen positivos los signos que se manifiestan en los pacientes y no en los sujetos sanos y, en oposición, los signos negativos son los comportamientos normales que no aparecen en los pacientes. Dentro de los signos positivos se incluyen el delirio, las alucinaciones (esencialmente auditivas), las alteraciones del curso del pensamiento y los comportamientos anormales. En cambio, los signos negativos son la apatía (aplanamiento afectivo), la abulia (perdida de la voluntad) y la alogia (problemas de conceptualización). La esquizofrenia posee una multitud de facetas: los síntomas mencionados anteriormente se combinan de diferentes formas en cada paciente sin que exista un signo característico o patognomónico. Esta enfermedad se caracteriza por ser de larga duración y estar acompañada

frecuentemente de una importante invalidez.

Actualmente, las teorías científicas de la esquizofrenia proponen que habría anomalías durante el desarrollo del cerebro en el segundo trimestre del embarazo. Estas anomalías se localizarían en la corteza frontal del cerebro, pero se manifestarían solamente después de la pubertad. Es precisamente durante la adolescencia que la región frontal y las complejas funciones del hombre tales como la noción de identidad y la personalidad alcanzan su máxima expresión. La investigación científica que se realiza hoy en día busca comprender la relación entre esas anomalías y los signos positivos o negativos observados. En cuanto a los tratamientos, los únicos eficaces actualmente son la farmacoterapia y la rehabilitación psicosocial. Estos tratamientos disminuyen la manifestación de los síntomas pero no contribuyen a una curación definitiva.

Cabe resaltar que los signos de la esquizofrenia implican el pensamiento humano. Su estudio puede ser abordado a través de modelos

cognitivos que, contrariamente a otros modelos (por ejemplo los biológicos), conciernen a las propiedades y características del pensamiento del hombre (por ejemplo la atención, el lenguaje, la memoria, etc.). Estas características son abstractas y por lo tanto intangibles, contrariamente a un órgano como el cerebro que puede ser visto y tocado. Esto hace que su estudio sea mucho más difícil como vamos a ver mas adelante.

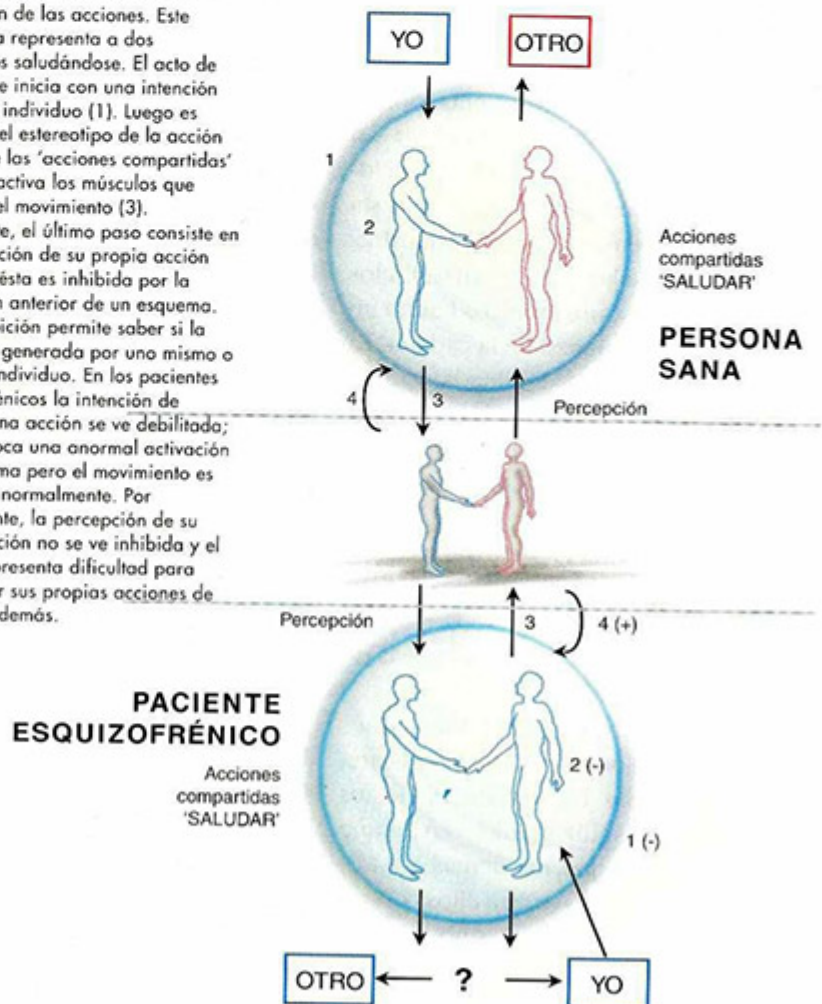
Una de las observaciones clínicas de esta enfermedad es el problema de fronteras entre lo que el paciente hace y piensa y lo que los demás hacen y piensan. Es decir, una anomalía en lo que hace que un individuo pueda diferenciarse del medio que lo rodea. Según Kurt Schneider, esta característica se manifestaría a través de síntomas tales como el *burto del pensamiento*, las *alucinaciones auditivas* y las *influencias del pensamiento y los actos*; es decir, anomalías en la *sensación del Yo*. Schneider propone que ésta característica sería típica de la esquizofrenia. Actualmente existen dos modelos cognitivos que intentan explicar esta observación de tipo clínico. Según el primero de ellos, propuesto por Christopher Frith, los pacientes esquizofrénicos tendrían un déficit en el control de sus propios actos o acciones. Esto causaría una incapacidad para predecir las consecuencias de sus actos y por lo tanto de reconocerlos como propios. Este modelo supone que toda acción generada produce además del movimiento muscular un pensamiento de lo que será el producto de la acción. De este modo, al percibir la acción una vez realizada, es posible no sólo comparar el objetivo con el producto final sino también afirmar que una acción nos pertenece. Este modelo es muy preciso y se acopla perfectamente a la teoría neurobiológica del sistema

motor responsable de las acciones, pero tiene algunas lagunas en lo que concierne a la sintomatología. Sólo incluye el sujeto y no explica por qué los pacientes pueden atribuir a la voluntad de otros sus propios actos o, en algunos casos, controlar con su voluntad las acciones o los pensamientos de otros.

El otro modelo, propuesto por Jeannerod y Georgieff, introduce justamente el concepto del *otro* agregando la noción de atribución de las acciones a sí mismo o a otro. Para ello, el modelo utiliza el concepto de las *acciones compartidas*. Este concepto se desarrolló a partir de observaciones a nivel del cerebro, de algunas regiones que poseen la particularidad de activarse de igual

manera cuando el sujeto produce una acción que cuando observa la misma acción ejecutada por otro. Estas observaciones son el fruto de estudios realizados con métodos de visualización de la actividad cerebral en el ser humano (por ejemplo PET o fMRI). Además, estudios electrofisiológicos en animales observaron neuronas que se activan de igual manera cuando el animal realiza una acción que cuando observa a otro animal, o a un experimentador humano, hacer esa misma acción. Estas neuronas se denominan *neuronas espejo*. En otras palabras, tendríamos el mismo pensamiento cuando observamos una persona que se 'toma un café' que cuando somos nosotros los que lo hacemos;

Figura 1: Modelo teórico de la atribución de las acciones. Este diagrama representa a dos individuos saludándose. El acto de saludar se inicia con una intención ligada al individuo (1). Luego es activado el estereotipo de la acción dentro de las 'acciones compartidas' (2). Esto activa los músculos que generan el movimiento (3). Finalmente, el último paso consiste en la percepción de su propia acción (4), pero ésta es inhibida por la activación anterior de un esquema. Esta inhibición permite saber si la acción es generada por uno mismo o por otro individuo. En los pacientes esquizofrénicos la intención de generar una acción se ve debilitada; esto provoca una anormal activación del esquema pero el movimiento es generado normalmente. Por consiguiente, la percepción de su propia acción no se ve inhibida y el paciente presenta dificultad para diferenciar sus propias acciones de las de los demás.



el pensamiento compartido podría denominarse: 'tomar un café'. La manera de diferenciar nuestras acciones de las de los demás se haría por cronología. Antes de iniciar una acción tenemos la intención de hacerla (1). Esta intención activa un esquema de la acción a nivel de las 'acciones compartidas' (2) y el movimiento muscular correspondiente a la acción es generado (3). Lo intere-

de reconocer su propio discurso interno como siendo de ellos y atribuirían ese discurso a voces externas que les hablan.

De todos los experimentos realizados para examinar estos modelos, dos incluyeron la noción del *otro*. En estos dos experimentos los sujetos realizaban acciones simples con una mano (por ejemplo mover un joystick) y simultáneamente veían

atribuían a ellos las acciones realizadas por el experimentador (experimento 1) o las acciones alteradas por la computadora (experimento 2). A través de esos experimentos, es posible observar la alteración de la facultad del pensamiento humano para distinguir sus propias acciones de las de los demás en los pacientes esquizofrénicos. Esta alteración se manifestaría más o menos intensamente en cada paciente y podría observarse a través de los síntomas de Schneider.

La mayor contribución de este tipo de observaciones es la de estudiar de manera objetiva y experimental manifestaciones puramente subjetivas. Los modelos descritos anteriormente explican las anomalías en la atribución de las acciones a sus correspondientes autores pero solamente cuando éstas son ejecutadas. Aún falta comprender cómo ciertos pacientes tienen la impresión de que pensamientos ajenos se introdujeron en ellos. Las reflexiones alrededor de un posible modelo de la atribución de las acciones, ayuda a comprender no solo el déficit en los pacientes esquizofrénicos sino también cómo es realizada la distinción entre sus propias acciones y las de los demás en individuos sanos.

Los resultados de ambos experimentos mostraron que los pacientes esquizofrénicos tienen una capacidad reducida para discriminar sus propias acciones de las de los demás o de sus propias acciones alteradas.

sante viene del hecho de que la percepción de nuestra propia acción se ve inhibida (a nivel de las 'acciones compartidas') por la activación previa del esquema por la intención (4). Esta última etapa no ocurre cuando percibimos las acciones de otras personas, y de esta forma podemos diferenciar nuestras acciones de las de los demás. En los pacientes esquizofrénicos habría un déficit al comienzo de la cadena. La intención estaría debilitada, lo que provocaría una activación anormal del esquema de la acción aunque el movimiento se haría normalmente. El esquema estando mal activado, no provocaría la inhibición de la percepción de su propio movimiento y, por tanto, no sería posible diferenciar su propia acción de la de otro sujeto (Figura 1).

Este déficit en las atribuciones de las acciones, no solo explicaría los síntomas de *influencia* de los pacientes esquizofrénicos en los que manifiestan que los demás controlan sus acciones (o que ellos controlan las de los demás), sino también las alucinaciones. En este último caso, los pacientes serían incapaces

una imagen de video de esa acción proyectada en un espejo. Esa imagen podía ser la de su acción o la de otra acción, y los sujetos debían evaluar si lo que veían correspondía a lo que hacían. El dispositivo estaba montado de tal forma que el sujeto tenía la impresión de ver su mano a través de un vidrio. En el primer experimento la imagen de video podía corresponder a la del sujeto o a la de un experimentador que introducía variaciones. En el segundo experimento la imagen era virtual y con una computadora podía ser alterada de forma muy precisa. Los resultados de ambos experimentos mostraron que los pacientes esquizofrénicos tienen una capacidad reducida para discriminar sus propias acciones de las de los demás (experimento 1) o de sus propias acciones alteradas (experimento 2). Un hecho interesante es que los pacientes con los síntomas descritos por K Schneider (el *burro del pensamiento*, las *alucinaciones auditivas*, las *influencias del pensamiento y los actos*) presentaban resultados significativamente diferentes de los de los demás pacientes esquizofrénicos. En otros términos, los pacientes con esos síntomas se

Lecturas sugeridas:

Georgieff N, Jeannerod M:

Consciousness of External Reality: A 'who' system for consciousness of action and self-consciousness. Consciousness and Cognition. 7: 465-477. 1998.

Frith CD: *Consciousness is for other people. Behavioral and Brain Sciences*. 18: 682-683. 1995.

Frith CD: *The cognitive neuropsychology of schizophrenia*, Lawrence Erlbaum Associates, Hove. 1992.

Franck N, Farrer C, Georgieff N, Marie-Cardine M, Daléry J, d'Amato T, Jeannerod M: *Defective recognition of one's own actions in patients with schizophrenia. American Journal of Psychiatry*, 158: 454-459. 2001. □

Prepárese ...



**XIV CONVENCION
CIENTÍFICA NACIONAL**

**APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS
Y FORMACIÓN EN VALORES**

17,18 Y 19 DE OCTUBRE DE 2002



El parásito de la malaria y su caballo de Troya

Moisés Wasserman Lerner

Investigador Principal,
Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.
Marta Renza (Redactora, Oficina de
Comunicaciones, INS),
Bogotá, Colombia.
e-mail: mwasserman@ciencias.unal.edu.co

La malaria es una de las enfermedades que ha acompañado al hombre desde tiempos remotos. Su nombre, del italiano "mal aire", refleja la creencia que durante mucho tiempo se mantuvo de que el mal era causado por climas malsanos o, en otra versión quizá más acertada, por los efluvios de los pantanos y que explica la denominación de paludismo con la que también se la ha conocido.

Hoy día, naturalmente, se tiene un conocimiento más exacto de su causa: un protozoo unicelular que, a pesar de la aparente simplicidad de su estructura, tiene un ciclo de vida complejo que ocupa la atención de equipos de investigación en todo el mundo. Este parásito, que tiene por costumbre hospedarse en los vertebrados y que utiliza como insecto vector o "transbordador" a *Anopheles*, recibe el nombre científico de *Plasmodium* acompañado de diferentes denominaciones según el tipo de que se trate.

Está el *Plasmodium vivax*, que produce una malaria crónica; el *Plasmodium ovale* y el *Plasmodium malariae*, más frecuentes en África que en América, y el *Plasmodium falciparum*, el más virulento de todos ellos y el de mayor ocurrencia en Colombia. Este último, por las razones expuestas, es el que ha ocupado la atención del equipo de investigadores del Laboratorio de Bioquímica del Instituto Nacional de Salud durante los últimos 15 años, tiempo que a primera vista podría parecer excesivo, pero que se justifica cuando se sabe que este diminuto y agresivo habitante del reino liliputiense de los microorganismos infecta cada año a 500.000 nuevas personas en el país.

¿Qué hace que el parásito de la malaria tenga tan siniestra efectivi-

dad? ¿Cuáles son las características que le permiten burlar las defensas del organismo humano y postrarlo? Como ya se había mencionado, el *Plasmodium* utiliza al insecto como vector, pero éste es también su hospedero fundamental, pues es en el insecto donde se lleva a cabo su ciclo sexual. Durante la última fase de su desarrollo allí, el parásito se deposita en las glándulas salivares del insecto y cuando éste pica al hombre, los esporozoítos se introducen en el torrente sanguíneo en una operación relámpago que sólo dura 10 minutos, durante los cuales los esporozoítos desaparecen de la circulación y quedan atrapados en las células hepáticas. En esta casa propicia se cumple el así llamado ciclo hepático del parásito durante el cual 20.000 nuevos parásitos se reproducen hasta romper la célula hepática que finalmente libera los merozoítos, nombre del parásito extracelular.

Es en este punto del proceso en el que el parásito encuentra su caballo de Troya, el eritrocito. Los merozoítos están en circulación solos únicamente durante unos pocos minutos, al cabo de los cuales invaden al eritrocito o glóbulo rojo. Allí se multiplican por 20, los cuales invaden al eritrocito o glóbulo rojo. Allí de nuevo se multiplican por 20 y al cabo de 48 horas producen el rompimiento del glóbulo y salen a invadir otros eritrocitos, fase en la que se manifiesta la enfermedad. Esta especie de carrera de obstáculos que el parásito desarrolla en el organismo culmina cuando, ante la picadura de un nuevo insecto no infectado, aquellos parásitos que se han convertido en gametos (células sexuales) lo infectan, y cierran un círculo que a su vez da inicio a un nuevo ciclo. Así, no es el hombre quien transmite la enfermedad, sino que como hospedero constituye una

escala más de la circulación del parásito.

El caballo de Troya de que se sirve el *Plasmodium* en esta etapa de su tránsito devastador por el organismo humano no podía tener mejores condiciones como medio de transporte. El glóbulo rojo humano transporta oxígeno y tiene una forma hidrodinámica que le confiere la elasticidad necesaria para movilizarse con rapidez y fluidez por el torrente sanguíneo, lo que le brinda al parásito un mecanismo muy efectivo para avanzar y realizar en su interior la etapa de su desarrollo conocida como ciclo asexual eritrocítico. La invasión del *Plasmodium* al eritrocito ha sido el principal objeto de estudio del grupo de investigadores del Laboratorio de Bioquímica del Instituto Nacional de Salud, pues conociendo los mecanismos que rigen esos 30 segundos cruciales en los que se verifica la entrada del parásito al eritrocito, se abre la esperanza de encontrar formas posibles de detener su avance y, por ende, un remedio para la enfermedad.

Son varios los interrogantes en torno a este proceso invasivo que ocupan a los investigadores. Cuando el parásito se une al glóbulo rojo, éste (que es una célula bastante inerte abocada a la muerte una vez realiza la única función que cumple) comienza a presentar un comportamiento extraño: en un primer momento, y ante el contacto del parásito, inicia una serie de "temblores" de los cuales se recupera para pasar a "engullir" al microorganismo que finalmente queda alojado en su interior dentro de una vesícula. Durante las siguientes 48 horas, el parásito madura y se convierte en un esquizonte, el cual contiene 20 nuevos parásitos que quedan libe-

rados al romperse la membrana del glóbulo rojo que le ha dado albergue.

Ese comportamiento atípico del glóbulo rojo al entrar en contacto con el *Plasmodium* lleva a plantearse la pregunta sobre el tipo de comunicación que se establece entre uno y otro y que conduce a un comportamiento "suicida" por parte del eritrocito. Los fenómenos que se observan en éste ante la

trata de dos cuerpos que flotan en un fluido. En este momento del proceso vuelve a aparecer el calcio como molécula que juega un papel muy importante en ese ejercicio de fuerza necesario para el rompimiento del citoesqueleto del glóbulo rojo.

El conocimiento de esta información ha llevado a los investigadores del Laboratorio de Bioquímica del Instituto a plantear

la hipótesis de que el calcio opera como mensajero del parásito. Éste induciría la entra-

eritrocito con la entrada del calcio, las cuales, según se demostró, explicaban la ruptura del citoesqueleto. Es de anotar que las funciones descritas son latentes y propias de la célula hospedera, en este caso el eritrocito, y que el parásito las subvierte a fin en el estudio de las actividades dependientes de calcio en el parásito, por medio de las cuales se ha podido establecer que la calmodulina (proteína mediadora de las actividades dependientes de calcio) juega un papel crucial en el proceso de invasión. Para arribar a esa conclusión se ha seguido un protocolo riguroso que incluyó la

purificación o aislamiento de la proteína; la clonación del gen a fin de definir su expresión; y el aislamiento y definición de muchas de las proteínas que se unen a actina, fibra determinante de la actividad de fuerza, una de las cuales, la miosina, es análoga a las que actúan en el tejido muscular. En esta etapa se pudo aislar un fragmento

del gen de la miosina y determinar su secuencia completa.

Éste es el estado actual de la investigación que ahora se aboca a una mejor caracterización de las proteínas descritas, de sus genes y sus secuencias. La esperanza es que el estudio permita algún día aplicar sus resultados al tratamiento de la malaria a través de fármacos que inhiban la calmodulina o la miosina y se logre así encontrar una cura para este "mal aire" que desde tiempos inmemoriales ha perseguido al hombre. □

La esperanza es que algún día a través de fármacos que inhiban la calmodulina o la miosina se pueda mejorar el tratamiento de la malaria y se logre así encontrar una cura para este mal.



invasión del parásito son naturales en otros procesos biológicos; por ejemplo, la fusión que se produce en el momento en que el parásito se invagina dentro del glóbulo rojo. Se ha comprobado que en la fusión juega un papel muy importante el calcio como molécula. También, la deformación que sufre el glóbulo rojo es muy curiosa, ya que para mantener su forma hidrodinámica, el eritrocito está provisto de un enrejado de fibras muy tupido adherido a su membrana, cuyo nombre es citoesqueleto, y que en condiciones normales impediría el paso del parásito, pero que ante la presencia del *Plasmodium* se rompe para luego recomponerse y permitir que el eritrocito siga movilizándose. Así pues, en el momento de la invasión del parásito, éste ejerce fuerza para entrar al eritrocito, operación que, por lo demás, es normal cuando se piensa que se

da de calcio en el eritrocito, el cual, así sensibilizado, facilitaría la acción de fuerza y permitiría la invasión. Para validar la hipótesis, el equipo del Laboratorio de Bioquímica ha llevado a cabo varias etapas experimentales por medio de las cuales pudo comprobar, primero, que al eliminar el calcio se inhibía la invasión; segundo, que el calcio se encontraba contenido en el parásito mismo; el tercer paso consistió en demostrar que el calcio entraba en el eritrocito en el momento de la invasión y determinar su comportamiento en la célula infectada; en cuarto lugar, se procedió a definir las actividades y funciones que se activaban en el

porque tu piel hoy y siempre, será el primer contacto con el mundo...

Centro Dermatológico Federico Lleras Acosta E.S.E. Líderes en prevención y recuperación dermatológica.

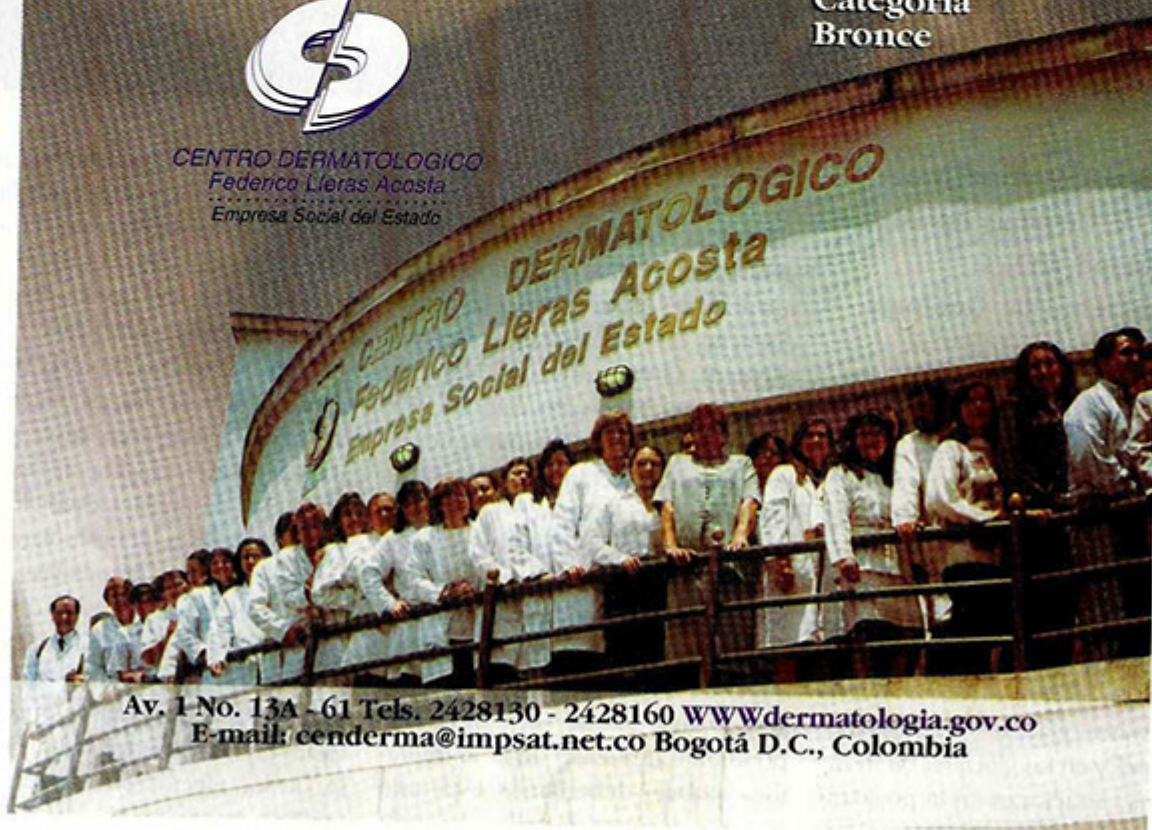
Servicios:

- Consulta dermatológica
- Consulta en cirugía plástica, anestesiología, oftalmología y ortopedia mano - pie
- Junta médico - quirúrgica, Ateneo
- Programas especiales Hansen, Leishmaniasis, ETS y diagnóstico precoz HIV
- Laboratorio de Fotobiología y Fototerapia
- Programa en cirugía ambulatoria: dermatológica, oftalmológica, cirugía plástica reconstructiva y estética, ortopedia mano - pie
- Fisioterapia
- Farmacia especializada
- Laboratorio de Dermatopatología
- Laboratorio clínico general y especializado
- Investigación y docencia

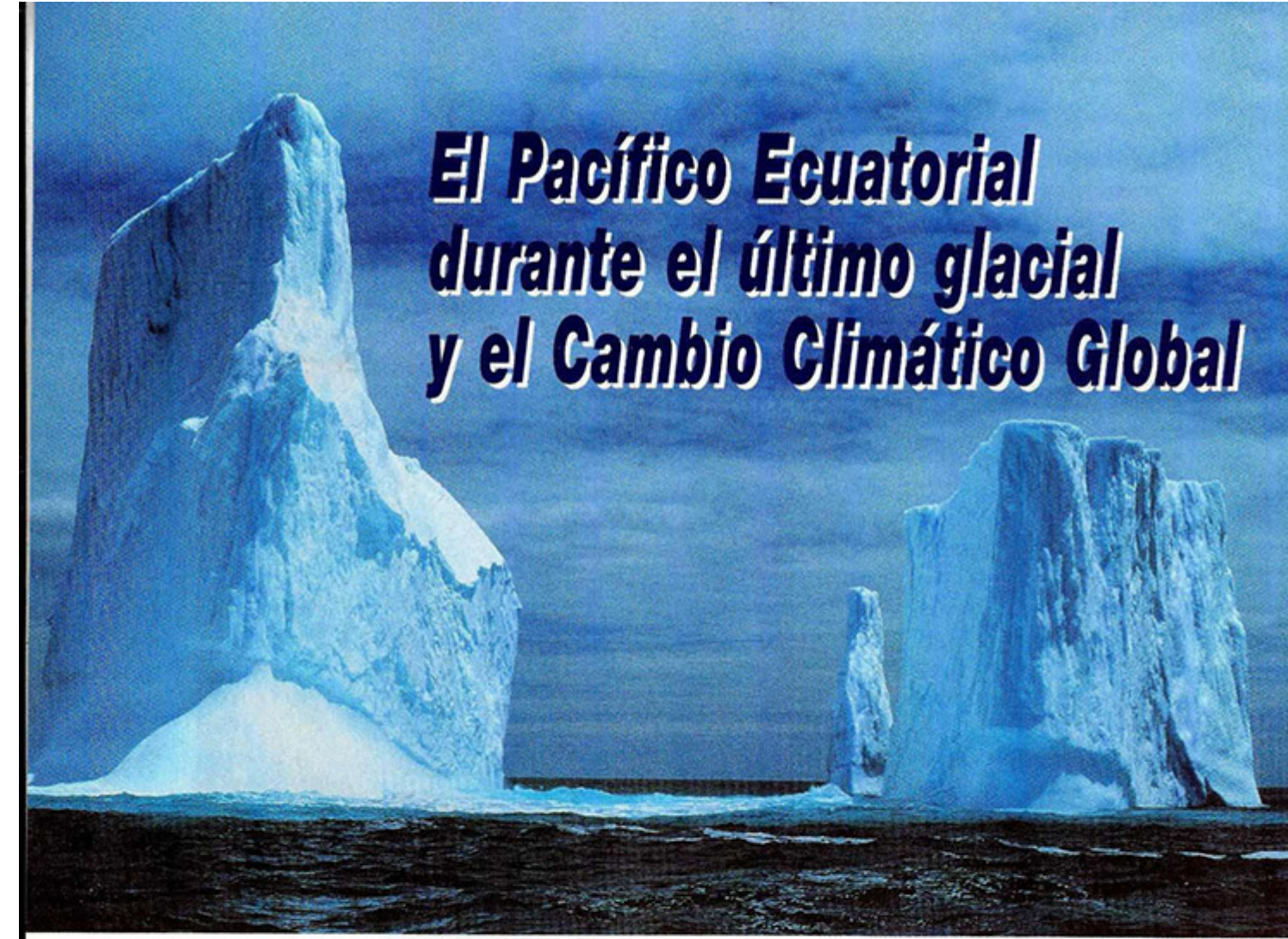
**Premio
Calidad
Salud
Colombia
2001
Categoría
Bronce**



CENTRO DERMATOLOGICO
Federico Lleras Acosta
Empresa Social del Estado



Av. 1 No. 13A - 61 Tels. 2428130 - 2428160 WWWdermatologia.gov.co
E-mail: cenderma@impsat.net.co Bogotá D.C., Colombia



El Pacífico Ecuatorial durante el último glacial y el Cambio Climático Global

José Ignacio Martínez
Grupo de Ciencias del Mar,
Universidad EAFIT,
Departamento de Geología,
Medellín, Colombia.
e-mail: jimartin@eafit.edu.co

El clima terrestre durante el período cuaternario, cuya duración comprende desde ~1,6 millones de años hasta el presente, se caracteriza por fluctuaciones dramáticas de carácter cíclico de los avances glaciales en los casquetes polares y en los glaciares de montaña. Las variaciones en la posición relativa del sistema Sol-Tierra controlan la cantidad de radiación calórica recibida del Sol y funcionan como un marcapasos que controla

el ritmo de los cambios climáticos. De esta forma, las variaciones climáticas contenidas en el registro geológico, o ciclos de Milankovitch, resultan de: (1) la sumatoria de frecuencias de ~100.000 años (excentricidad), 41.000 años (oblicuidad) y 19 a 23.000 años (precesión) y, (2) de la respuesta del sistema atmósfera-océano-biosfera a las variaciones en la irradiación solar.¹ Dentro de este esquema, los mayores avances glaciales-interglaciales ocurren cada 100.000 años. El último glacial máximo ocurrió hace tan sólo 18.000 años, de tal forma que el próximo gran avance glacial –con el correspondiente descenso de la temperatura global– deberíamos esperarlo en unas decenas de miles de años. Tales expectativas, sin embargo, se han visto afectadas por los efectos negativos –y aún pobremente com-

prendidos– de la emisión de gases de invernadero de origen antrópico; es decir, gases industriales como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), entre otros, cuya acumulación en la atmósfera impide que el calor reflejado por la superficie de la Tierra, en forma de radiaciones infrarrojas de onda larga, retorne al espacio. Adicionalmente, estudios detallados de núcleos de hielo recuperados en las regiones polares y en los glaciares de las montañas tropicales han puesto de manifiesto la existencia de variaciones climáticas con frecuencias mucho más cortas del orden de las decenas de años y de varios grados de temperatura.² A causa de los efectos devastadores que tendrían estos cambios climáticos repentinos (cambios del nivel del mar e inundación de numerosas ciudades costeras, alteración en las cosechas,

etc), la predicción del clima terrestre es una tarea apremiante. El éxito de la predicción climática depende de la comprensión de las respuestas dinámicas del sistema atmósfera-oceano-biosfera a las relaciones orbitales del sistema Sol-Tierra y a los efectos antrópicos. La tarea predictiva se conoce como *Cambio Climático Global*, toda una empresa que incluye científicos de las más diversas disciplinas, que colectan datos empíricos o modelan el clima. El último glacial máximo, en particular, ha sido seleccionado como tajada de tiempo con la cual

mos planctónicos contenidos en los sedimentos de los fondos marinos ha permitido la reconstrucción de las temperaturas de la superficie del océano durante el último máximo glacial. Dentro de estos microfósiles, se destacan los foraminíferos, organismos unicelulares planctónicos (protistas) cuya conchilla de CaCO_3 (carbonato de calcio) es fácilmente fosilizable en el registro geológico. Los foraminíferos vivos son constituyentes importantes del plancton y sus conchillas fosilizadas son supremamente abundantes, pues cubren



Figura 1. *Globorotalia menardii*, microfósil de Protista planctónico (foraminífero) típico de aguas ecuatoriales y constituyente importante de los lodos de globigerinas.

El próximo gran avance glacial, con el correspondiente descenso de la temperatura global, deberíamos esperararlo en unas decenas de miles de años.

comparar el presente y como posible escenario para poner a prueba los modelos de simulación climática. En otras palabras: los modelos de simulación climática se consideran confiables sólo si son capaces de "predecir" las condiciones operantes durante el último glacial.

Se destacan en este artículo dos aspectos: (1) los resultados paleoceanográficos (reconstrucción de los océanos del pasado) y paleoclimáticos (reconstrucción de los climas del pasado) sobresalientes del Océano Pacífico durante el último glacial, y (2) la importancia del estudio de la región colombiana como aporte al conocimiento del Cambio Climático Global.

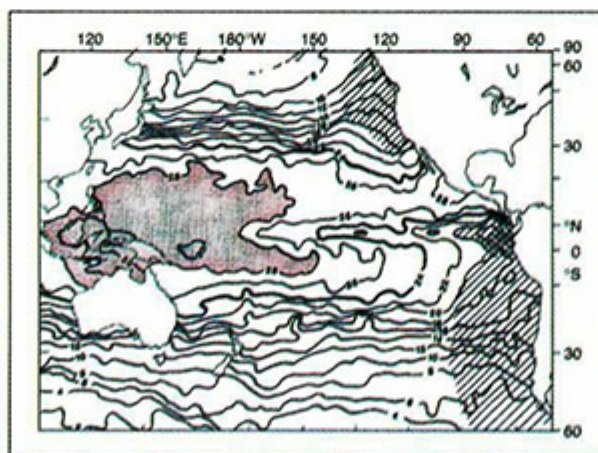
Los microfósiles como indicadores paleoclimáticos y el proyecto CLIMAP

El conocimiento de los requerimientos ecológicos de microfósiles de organis-

más del 70 por ciento de los fondos marinos ("ooze" o lodos de globigerinas). Los foraminíferos planctónicos muestran una estrecha relación con la temperatura superficial del océano, de tal forma que es posible reconstruir la temperatura superficial del mar en un punto con base en las diferentes asociaciones de especies recuperadas de los sedimentos del fondo marino. El algoritmo matemático para la

reconstrucción de las paleotemperaturas se conoce como "funciones" o "ecuaciones de transferencia". En los años setenta, el novedoso método matemático motivó el interés internacional que se derivó en el proyecto CLIMAP (*Climate Long-Range Investigation Mapping and Prediction*) para la reconstrucción de las temperaturas superficiales del océano durante el último máximo glacial.³

A causa del dramático avance de los casquetes polares y el descenso de los glaciares de montaña, se esperaban, para el último glacial máximo, temperaturas superficiales del océano considerablemente más bajas que las actuales. CLIMAP acertadamente predijo un descenso de temperatura del orden de $\sim 7^\circ\text{C}$ para las latitudes altas de los océanos, pero sorprendentemente, el descenso de la temperatura en las regiones ecuatoriales fue $< 2^\circ\text{C}$. La reconstrucción de CLIMAP inmediatamente entró en conflicto con las predicciones palinológicas basadas en los registros del polen fósil en los continentes, particularmente en



Mapa global de las temperaturas superficiales del océano mostrando la distribución de la "piscina caliente" del Pacífico Occidental indicada por la isoterma de los 28°C .



Globigerinoides sacculifer, microfósil de Protista planctónico (foraminífero) típico de aguas ecuatoriales y constituyente importante de los lodos de globigerinas.

Colombia, Nueva Guinea y África ecuatorial, que sugerían un descenso de la temperatura superficial del océano del orden de los 4° a 6°C.⁴ La controversia aun continúa a pesar de que nuevas herramientas cuantitativas han sido desarrolladas y aplicadas ampliamente, e.g. isótopos de oxígeno en foraminíferos y corales, cetonas Uk37, Sr/Ca en corales, isótopos en arcillas, etc.^{1,5}

La "piscina caliente" del Pacífico occidental: pasado y presente

Las márgenes occidentales de los océanos del mundo en las regiones ecuatoriales se caracterizan por la acumulación de aguas cuya temperatura excede los 28°C. Tales "piscinas calientes" juegan un papel importante en la regulación del clima global. La temperatura superficial del océano y la nubosidad muestran una relación directamente proporcional hasta que se alcanzan los 28°C. Por encima de esta temperatura, la relación ya no existe más a causa del exceso de nubosidad que impide la entrada de radiación solar al océano. Por tanto, se considera que las "piscinas calientes" actúan como un termostato que regula el clima en las regiones ecuatoriales.⁶ La "piscina caliente del Pacífico occidental" es la más importante del océano global por su tamaño y por su

intervención en el fenómeno ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*).

Del proyecto CLIMAP es aparente la existencia de la "piscina caliente" en el Pacífico occidental durante el último glacial. Entre tanto, evidencias del fenómeno de El Niño se remontan tan sólo a los últimos ~5.000 años.⁷ Sin embargo, el modelamiento del sistema acoplado océano-atmósfera sugiere que el fenómeno de El Niño se remonta por lo menos al inicio de las glaciaciones del plioceno-pleistoceno hace unos 2,4 millones de años.⁸ Investigaciones recientes han demostrado que la "piscina caliente" posiblemente se redujo en tamaño y fue, tal vez, más dinámica durante el último glacial.⁹ A causa de la inmensa acumulación de agua en los casquetes polares, el nivel del mar fue ~130m más bajo que el actual durante el último glacial,¹⁰ mientras que el área continental de la región de Indonesia, y por tanto el flujo de agua del Océano pacífico al Océano Índico, se hizo mucho más restringido¹. Si aceptamos que, entre otros, durante el último glacial: (1) los vientos eran más intensos en ~30%; (2) el ascenso de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes (surgencia oceánica) era más dinámico; y (3) los niveles de CO₂ eran 80 ppm más bajos que hace 10.000 años¹, entonces esperaríamos un escenario en el que el fenómeno de El Niño habría sido mucho más activo que hoy.⁸

La "cinta transportadora" del Atlántico Norte

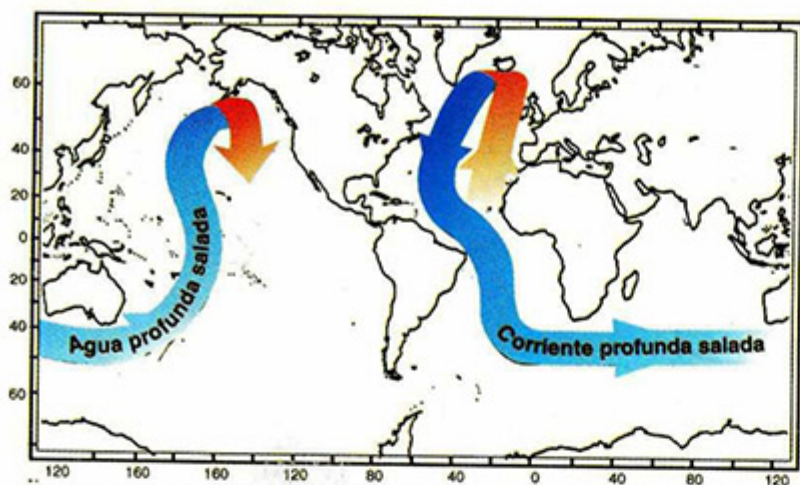
La circulación del océano global aparentemente está controlada desde el Atlántico Norte. Allí, las aguas salinas y cálidas de la Corriente del Golfo son enfriadas —lo que libera grandes cantidades de calor—, aumentan de densidad y descienden para viajar por el fondo del océano circunavegando primero el Atlántico, luego el Índico y

finalmente el Pacífico. El ciclo se completa cuando estas aguas de fondo retoman a la superficie a través de diferentes puntos en los océanos Índico y Pacífico Norte para volver al Atlántico como agua superficial. El pasaje de Indonesia, y asiento de la "piscina caliente" del Pacífico occidental, es un punto de retorno importante para estas aguas superficiales. Al ciclo completo del océano se conoce como la "cinta transportadora" del Atlántico Norte, por analogía con la cinta transportadora de maletas en los aeropuertos.¹¹

Evidencias geoquímicas y paleontológicas han demostrado que la "cinta transportadora" se habría detenido prácticamente durante el último glacial. La "cinta transportadora" funciona gracias a la diferencia de salinidad existente entre los océanos Atlántico y Pacífico. El primero es más salado que el segundo a causa del gran volumen de agua dulce transportada por la atmósfera a través del Istmo de Panamá y la región del Darién. Se pensaba que la diferencia de salinidad entre los dos océanos era mayor durante el último glacial, al implicar un mayor volumen de transporte atmosférico de humedad.¹² Datos recientes cuestionan tal suposición.⁹

El Pacífico colombiano, la "piscina caliente" y la "cinta transportadora"

La "piscina caliente" se desplaza episódicamente del Pacífico occidental al oriental en los años de El Niño. Con este evento, se interrumpe el patrón "normal" de circulación oceánica del Pacífico oriental, caracterizado por el contacto entre las aguas frías y saladas de la Corriente del Perú y las aguas cálidas y más frescas de la Contracorriente Ecuatorial. A este contacto se conoce como Frente Ecuatorial y es el asiento de la intensa productividad biológica responsable de la abundante pesca frente al Ecu-



Circulación global del océano a través de la cinta transportadora. Note que el inicio de la cinta se produce en el Atlántico Norte y que la circulación está animada por la mayor salinidad del Atlántico con respecto al Pacífico.

dor. Al norte del Frente Ecuatorial, el Pacífico colombiano recibe grandes volúmenes de agua dulce producida de la intensa precipitación tanto en Panamá como en la región del Darién.

Durante el último glacial, las tierras bajas de las regiones ecuatoriales experimentaban un período de sequía intenso. El alto porcentaje de polen de gramíneas (pastos) y la presencia de dunas de arena en los Llanos de Colombia y Venezuela son evidencias aparentes de este clima seco. Por tanto, sería de esperarse que el transporte de humedad atmosférica a través del Istmo de Panamá hubiera sido mucho menor en el último glacial que hoy, a pesar de la mayor intensidad de los vientos alisios que soplan desde del Atlántico hacia el Pacífico. Esto implicaría que la diferencia de salinidad entre los dos océanos no fuera mayor, como fue sugerido por Wallis Broecker,¹² pero tal vez similar al presente.⁹

Los cambios en la cinta transportadora en el Atlántico Norte como mecanismo para explicar los cambios climáticos globales podría tener su asiento en la mayor concentración de científicos en Estados Unidos y Europa. Notoriamente, otras áreas análogas al Atlántico Norte, donde podría formarse agua de fondo más densa

como alrededor de la Antártica, no han recibido la atención debida. Igualmente, las áreas tropicales como la piscina caliente y el Pacífico colombiano no han sido estudiadas en el debido detalle. Sin embargo, un estudio reciente iniciado por la Universidad EAFIT y COLCIENCIAS (Programa del Medio Ambiente y Hábitat), con base en la recuperación de microfósiles de sedimentos del fondo marino del Pacífico colombiano, por ejemplo, han permitido la reconstrucción de: (1) las temperaturas superficiales del océano y su comparación con el gran volumen de información palinológica colectada por Thomas van der Hammen y la Universidad de Amsterdam en las cordilleras colombianas, (2) las presiones parciales de CO₂,¹³ y (3) la paleoproduktividad superficial.¹⁴ Las correlaciones paleoclimáticas océano-continente son consideradas prioritarias por el IGBP (*International Geosphere and Biosphere Program*) y la región colombiana resulta ideal para estos propósitos. Con una investigación futura liderada por la Universidad EAFIT se intenta reconstruir la salinidad superficial del Océano Pacífico Oriental, lo que proveyería claves sobre sus diferencias interoceánicas, la magnitud del transporte de humedad atmosférica, y su posible relación

con los cambios registrados en el Atlántico Norte y el funcionamiento de la cinta transportadora. Esto por mencionar solo algunas de las posibles inferencias paleoambientales de significado global que provee el excitante estudio paleoceanográfico de los mares colombianos.

Referencias

1. Crowell, T.J.; North, G.R.: *Paleoclimatology*. Oxford University Press, 349 pp. 1991.
2. Taylor, K.: *Rapid climate change*. *American Scientist*, v. 87, p. 320-327. 1999.
3. CLIMAP Project Members: *The surface of the ice-age Earth*. *Science*, v. 191, p. 1131-1137. 1976.
4. Rind, D.; Peteet, D.: *Terrestrial conditions at the last glacial maximum and CLIMAP sea-surface temperature estimates: Are they consistent?* *Quaternary Research*, v. 24, p. 1-22. 1985.
5. Mora, G.; Pratt, L. M.: *Isotopic evidence for cooler and drier conditions in the tropical Andes during the last glacial stage*. *Geology*, p. 519-522. 2001.
6. Ramonathan, W.; Collins, V.: *A thermostat in the tropics?* *Nature*, v. 361, p. 410-412. 1993.
7. Sandweiss, D. H.; Richardson III, J. B.; Reitz, E. J.; Rollins, H. B.; Moersch, K. A.: *Geochronological evidence from Peru for a 5000 year B.P. onset of El Niño*. *Science*, v. 273, p. 1531-1533. 1996.
8. Clement, A. C.; Seager, R.; Cane, M. A.: *Orbital controls on the El Niño/Southern Oscillation and the tropical climate*. *Paleoceanography*, v. 14, p. 441-456. 1999.
9. Martínez, J. I.; De Deckker, P.; Chivas, A. R.: *New estimates for salinity changes in the Western Pacific Warm Pool during the Last Glacial Maximum: oxygen-isotope evidence*. *Marine Micropaleontology*, v. 32, p. 311-340. 1997.
10. Yokoyama, Y.; De Deckker, P.; Lambeck, K.; Johnston, P. y Fifield, L. K.: *Timing of the Last Glacial Maximum from observed sea-level minima*. *Nature* 406, 713-716. 2000.
11. Broecker, W. S.; Denton, G. H.: *The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 53, p. 2465-2501. 1989.
12. Broecker, W. S.: *The salinity contrast between the Atlantic and Pacific Oceans during glacial time*. *Paleoceanography*, v. 4, p. 207-212. 1989.
13. Martínez, J. I.: *Reconstrucción de las presiones parciales de CO₂ y nitrato en el Pacífico Oriental para los últimos 150.000 años*. *Dyna* [en prensa]. 2001.
14. Betancur, M. J.; Martínez, J. I.: *Productividad y oxigenación en la Cuenca de Panamá, Pacífico Colombiano, durante el Pleistoceno tardío - Holoceno: el registro de los Foraminíferos Bentónicos*. *Geología Colombiana* [en prensa]. 2001. □

WWW

SITIOS DE INTERÉS



Momentos estelares: Exhibición del telescopio Hubble

www.stsci.edu/resources

En este lugar podemos apreciar las mejores fotos obtenidas por el telescopio Hubble y se presentan videos cortos con temas como el ciclo de vida de las estrellas y la colisión del cometa Shoemaker-Levy contra Júpiter. Se muestra también una excelente película corta que nos remonta hasta doce billones de años y la cual fue realizada mediante el uso de 350 imágenes y 300 filtros diferentes.



Temas educativos en Astronomía y Astrofísica

www.astrosociety.org/

Este lugar fue desarrollado por la Sociedad Astronómica del Pacífico (ASP). Contiene excelente material adecuado para educadores interesados en cubrir temas recientes sobre astronomía.

www.colorado.edu/physics/2000

Aquí se presenta un proyecto educativo en el cual se desarrollan temas de mecánica cuántica y relatividad utilizando demostraciones interactivas novedosas y atractivas.



WEB

Física - Electricidad - Superconductividad

Superconductividad

www.superconductors.org



En el año de 1986 se descubrió que algunos metales perdían la resistencia a la electricidad cuando la temperatura en que se encontraban era superior a cero absoluto. Aunque este sitio en internet es para neófitos, sus enlaces lo llevarán a conectarse con interesantes lugares relacionados con el tema. Se describe la historia de la superconductividad; se muestra cómo una mezcla de cinco elementos puede superconducir a temperaturas de 133 grados Kelvin; se presentan las aplicaciones derivadas de la superconducción, las patentes existentes, las compañías que trabajan en este campo y hasta se explica cómo desarrollar superconductores en la casa o en el aula.

Conceptos de Física

www.soda.co.uk/soda/constructor

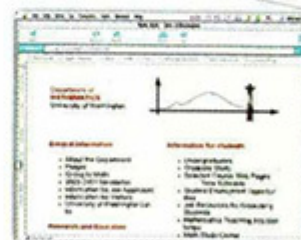
Aun cuando es más que todo un lugar de entretenimiento, los estudiantes pueden también entender mejor los conceptos básicos de Física visitando esta página, en la cual las figuras hechas de resortes y de masas ambulan libremente por la pantalla. Observe detenidamente qué pasa cuando usted les añade gravedad, fricción, fuerza y amplitud de movimiento a estas figuras.

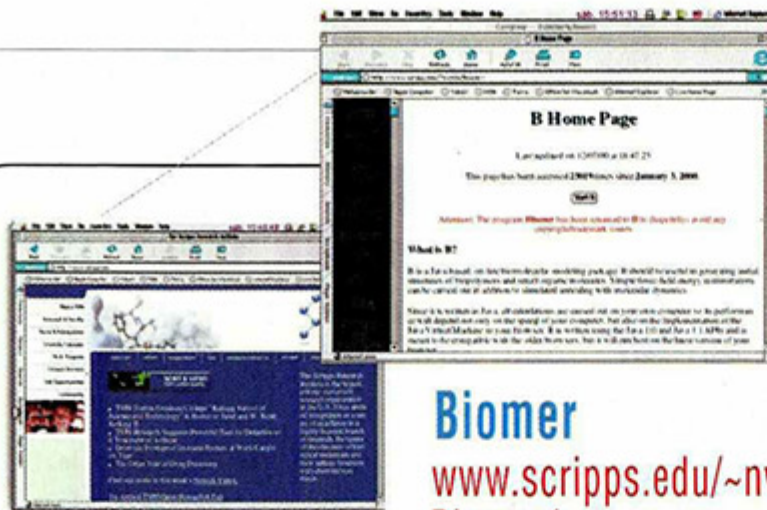


La teoría de la relatividad

www.math.washington.edu/

De acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein, un viajero interestelar que viaja a velocidades cercanas a la velocidad de la luz envejece más despacio que una persona que permanece en la Tierra. Siguiendo la teoría relativista, se deduce igualmente que la masa de una galaxia puede torcer un rayo de luz. ¿Está confundido? Pues usted no es el único; son muchas las personas que no entienden todavía las implicaciones de esta teoría. Precisamente con el fin de dar alguna luz sobre este tópico, un grupo de investigadores de la Universidad de Washington, en Estados Unidos, creó este lugar en internet.





Biomer

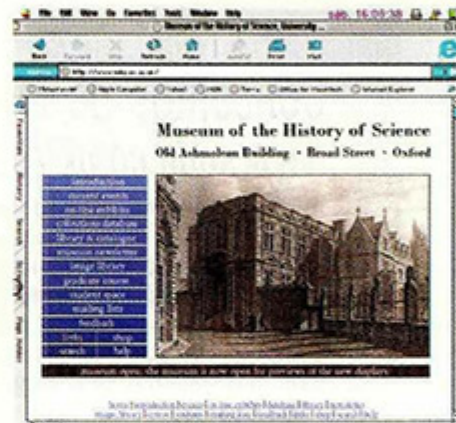
www.scripps.edu/~nwhite/Biomer/

En este lugar podemos encontrar un programa, BIOMER, con el cual se pueden diseñar moléculas pequeñas de carbohidratos, ácidos nucleicos y proteínas. Es un programa que se puede bajar completamente e instalar en el PC sin ningún costo. BIOMER puede instalarse en plataforma Windows, Unix y Mac teniendo las opciones correspondientes a cada una de ellas. Con este programa se puede construir una molécula y presentarla en forma de esqueleto (backbone), como espacio de esferas, etc. El programa incluye también un menú que permite realizar mecánica popular y dinámica molecular. Calcula distancias, ángulos, energía de minimización, etc.

Información cerebral

www.brainconnection.com

Esta página busca interesar al público en todos los temas relacionados con la investigación sobre el cerebro. Se presentan reseñas de libros sobre este tema, ilusiones ópticas, dibujos de la anatomía del cerebro y mucho más. Este lugar les ayudará a los lectores interesados a entender mejor este complejo órgano.



EPACT: Instrumentos científicos de Europa del Medioevo y del Renacimiento

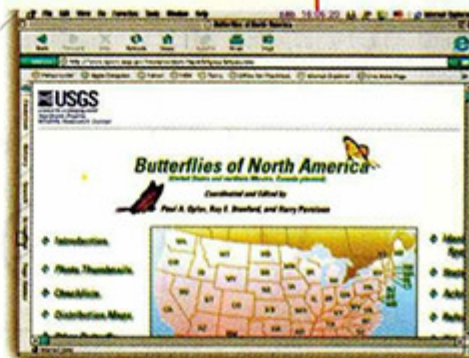
www.mhs.ox.ac.uk/

EPACT es un catálogo electrónico que reúne los instrumentos científicos de cuatro grandes museos: el Museo de Historia de la Ciencia, de Oxford; el Museo de Historia de la Ciencia, de Florencia; el Museo Británico de Londres y el Museo Boerhaave, de Leiden. Cada instrumento del catálogo está descrito minuciosamente y viene acompañado de fotografías. Adicionalmente, se presentan ensayos sobre las artes y ciencias medievales y renacentistas y se publican artículos que describen la función de los distintos tipos de instrumentos. Se incluye también una explicación sobre los vocablos usados y una bibliografía relacionada con el tema.

Mariposas por doquier

www.npwrc.usgs.gov/resource/distr/lepid/bflyusa/bflyusa.htm

Los amantes de las mariposas pueden ahora deleitarse con un precioso lugar en internet en donde se presentan fotos e información general sobre estos insectos: hábitos de alimentación, rutas de migración y conservación de cerca de setecientas cincuenta especies. Se presenta, igualmente, información sobre identificación y cultivo de mariposas.



Imágenes del fondo del océano

www.mbayaq.org/

Este lugar es una verdadera galería de los habitantes del mar. Contiene cerca de cien moradores del océano, desde microscópicos hasta ballenas.



Embriología digital

<http://Embryo.soad.umich.edu/>

En sólo 56 días un huevo humano fertilizado pasa de ser un conjunto de células a convertirse en un embrión del tamaño de una nuez que ya tiene órganos, orejas, extremidades y dedos. Este lugar de internet nos presenta un atlas con espectaculares cortes seccionales de embriones en diferentes estados de gestación. Existe un link para la visualización de embriones de ratones, pollos y zarigüeyas.

Microbiología

www.microbeworld.org

Un lugar creado por la Asociación Americana de Microbiología donde encontrará espectaculares representantes del mundo microscópico, sus características, actividades, etc.



Mundo microscópico

www.microscopyu.com

El grupo Molecular Expressions, de la Universidad Estatal de la Florida, ha creado este lugar en internet donde se presentan imágenes de gran interés para todos los públicos: cursos, glosario e imágenes y películas cortas que destacan la belleza y el enigma que rodean al maravilloso mundo microscópico.

VISTAZOS

MEDICINA

Células madre embrionarias: pluripotentes

Las células madre embrionarias (*embryonic stem cells*) son aquellas que se derivan de blastocitos de cinco días de gestación y que tienen la capacidad de convertirse en cualquier tipo de célula y es, precisamente, gracias a esta facultad que se están investigando recientemente para el tratamiento de varias enfermedades. Grupos de científicos alrededor del mundo están tratando de convertir estas células en músculo, tejido nervioso o células pancreáticas, por ejemplo, para vencer enfermedades como el Parkinson, la diabetes, las enfermedades coronarias y la esclerosis múltiple, entre otras. El gobierno del presidente Bush se ha opuesto hasta el momento a apoyar estos estudios dado el origen de estas células: fetos abortados.

Han transcurrido más de dos años desde que estas células fueron cultivadas en el laboratorio, pero los resultados de investigación han sido muy escasos pues las células madre son difíciles de desarrollarse *in vitro* y tienen la tendencia a diferenciarse. En la actualidad, los investigadores están trabajando activamente con el fin de conseguir un medio sintético en el cual no se diferencien.

Recientemente, ha aumentado la investigación derivada de células

madre provenientes de tejidos de adultos y no de embriones abortados pues se ha encontrado que son más versátiles de lo que se creía y, adicionalmente, no hay tanto rechazo por parte de la comunidad. Por ejemplo: las células madre sanguíneas de tejido adulto son precursoras de células especializadas de la sangre y del sistema inmunológico. La investigación en ratones adultos ha demostrado que las mismas células sanguíneas se pueden convertir en células hepáticas, musculares y neuronales cuando se las trasplanta a esas partes del cuerpo. Naturalmente no se puede decir que las células madre adultas sean equivalentes a las embrionarias: estas últimas son pluripotenciales, mientras que las que provienen de adultos son multipotenciales, o sea que las primeras pueden dar lugar a cualquier tipo de célula y las segundas pueden producir muchos tipos de células, pero no todos. Durante muchos años, los científicos consideraban que el desarrollo de las líneas celulares era de una sola vía: una vez convertidas en algún tipo de célula, no podían echar reversa. Hoy se sabe que esto no es así. Por ejemplo, las células sanguíneas pueden convertirse en células cerebrales y viceversa.

Según reporta la revista *Science* del 20 de abril de 2001, un grupo de científicos de la Universidad de Wisconsin ha encontrado la forma de transformar las células embrionarias humanas en células neuronales, precursoras de otros tipos de células del cerebro. La investigación se centra ahora en lograr que estas líneas de células no sean rechazadas por el sistema inmune humano, lo cual puede requerir que sea necesario alterarlas genéticamente. Otro grupo de investigadores reportó haber cultivado células pancreáticas productoras de insulina que provenían de células madre adultas del páncreas pero la investigación es aún incipiente.

Por ahora, grupos de científicos están investigando los dos tipos de células, pues posiblemente ambas clases de células madre puedan ser usadas en un futuro cercano para el tratamiento de enfermedades y para la generación de órganos completos como el riñón o el hígado. □

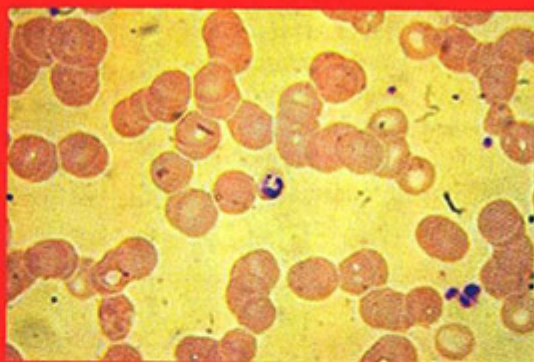


El riesgo "gordo" de la obesidad

En los Estados Unidos se ha determinado –según recientes encuestas– que treinta y seis por ciento de los adultos tienen sobre-peso (más de veinte a treinta por ciento del peso normal) y veintitrés por ciento son obesos (más de treinta por ciento del peso normal). En contraste, sólo veinte por ciento de los adultos son fumadores diarios y seis por ciento son alcohólicos. De acuerdo con un estudio publicado en la revista inglesa *Public Health*, el comportamiento que conduce a la obesidad, esto es, la falta de ejercicio y los malos hábitos alimentarios, representan una amenaza a la salud pública mayor que la producida por el cigarrillo, la pobreza o el alcohol.

La obesidad ha sido asociada con condiciones crónicas como la diabetes, el asma, las enfermedades coronarias, la artritis y, adicionalmente, su incidencia en la actividad diaria de las personas es enorme. La pregunta es, ¿cómo parar esta epidemia? Los economistas han relacionado el aumento de la obesidad con los empleos más sedentarios y con el hecho de que no han subido los costos de la alimentación. Los autores del estudio sugieren que es fundamental realizar una campaña de educación pública similar a la que se ha venido haciendo contra el cigarrillo en las últimas décadas. □

Avances en investigaciones sobre la malaria



La malaria afecta a unos quinientos millones de personas en el mundo, y mueren como consecuencia de esta enfermedad cerca de dos millones de niños al año. A pesar de la amplia investigación realizada por grupos de científicos en el mundo, todavía no se conoce a ciencia cierta cómo sale de los glóbulos rojos el *Plasmodium falciparum*, parásito que causa la enfermedad.

En estudios reportados en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, los investigadores del Instituto Médico Howard Hughes encontraron que al inhibir las proteasas (o enzimas que clivan las proteínas) los parásitos perdían su capacidad infecciosa. Los científicos han establecido que cuando el parásito penetra los glóbulos rojos se recubre de una envoltura proveniente de la membrana interna de la célula sanguínea y queda protegido por un saco. Descubrieron que con el uso de la droga E 64 –medicamento que bloquea la actividad de ciertas proteasas–, los parásitos salían del glóbulo rojo en sus cápsulas; pero no podían salir de éstas y, en consecuencia, perdían su capacidad infecciosa. Estos descubrimientos ayudarán a dilucidar el proceso de invasión a las células y a la vez servirán para estudiar el potencial de medicamentos que bloqueen el mecanismo de salida de los parásitos de sus envolturas. □

Primer genoma de plantas

Recientemente se terminó de secuenciar el ADN de la planta *Arabidopsis thaliana*, hecho que ofrece una verdadera ventana al conocimiento del genoma de otras plantas y que demuestra que éstas son mucho más

s sofisticadas de lo que se pensaba.

Un consorcio formado por laboratorios de Europa, Estados Unidos y Japón determinó el orden de las 115 millones de bases contenidas en los cinco cromosomas de esta planta. *Arabidopsis thaliana* contiene 25.000 genes, un número superior al de la mosca de la fruta y más cercano a los 30.000 genes del genoma humano. Según palabras de James Watson, co-descubridor de la doble hélice del ADN en 1946: "Tendremos que tener más respeto por las plantas". Otros datos interesantes derivados de esta investigación: cincuenta y

ocho por ciento del genoma está duplicado y unos cien genes de esta planta existen también en el ser humano y son responsables de enfermedades como el cáncer de mama y la fibrosis quística. Los avances en la dilucidación del genoma de las plantas conducirán al mejoramiento de la agricultura y al uso de las plantas como fuente de energía o para limpieza del medio ambiente. □



Descifran los mecanismos utilizados por los genes

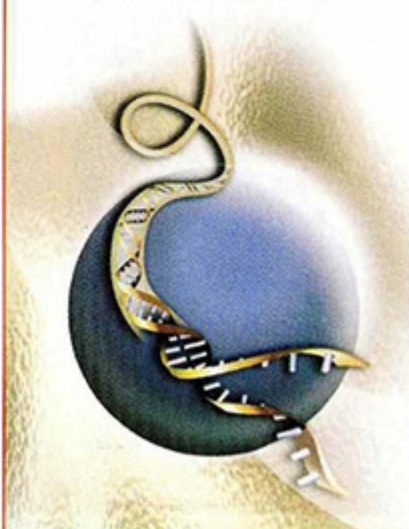
En 1968 unos investigadores de la Universidad de Johns Hopkins en Baltimore descubrieron que ciertas bacterias producían unas moléculas que fueron denominadas enzimas restrictivas. La función de éstas era cortar las moléculas

de ADN (ácido desoxirribonucleico) en sitios muy específicos, y su razón de ser era combatir el ADN de los virus que normalmente las atacaban. Este descubrimiento dio lugar a tecnologías muy importantes tales como poder identificar las huellas de ADN dejadas por los asesinos en el lugar del crimen.

En los dos últimos años, los investigadores han comenzado a utilizar un mecanismo usado por las bacterias contra los virus, conocido como ARNi: interferencia antiviral del ARN (ácido ribonucleico) y el cual presenta un gran potencial para las células de los mamíferos incluyendo las humanas. Hasta hace poco tiempo, este mecanismo -cuya función es bloquear la acción de los genes individuales- no se había podido utilizar en células de mamíferos, pero recientemente los investigadores del Instituto Max Planck de Alemania lograron hacerlo.

El ácido ribonucleico es la molécula mensajera que transfiere la información genética del núcleo de la célula al citoplasma, lugar donde se realizan las funciones de la célula. Las copias individuales de ARN son copias editadas de los genes nuclea-

res, y lo que hace el ARNi es evitar que los genes envíen sus mensajes. El ARN que sirve de mensajero tiene una sola cadena y en la naturaleza los virus son los únicos que producen una versión doble (dos cadenas) de la molécula. Tiene entonces mucho sentido que la célula actúe en contra de las cadenas dobles de ARN destruyendo cualquier material parecido dado que éste podría ser de origen viral. En consecuencia, los investigadores producen ácido ribonucleico artificial de doble cadena que corresponda a un gen específico y lo introducen en la célula: los ácidos ribonucleicos mensajeros son atacados y el gen queda inactivo. Utilizando el genoma de la lombriz *C. Elegans*, los científicos han logrado atacar cerca de cinco mil de un total de 19.000 genes, y así han podido esclarecer las funciones de los genes que codifican el desarrollo de este organismo desde la etapa del huevo hasta la edad adulta. Esta información es de suma importancia ya que esta lombriz es muy similar -genéticamente hablando- al hombre, y de los resultados obtenidos se podrá obtener información muy valiosa para el ser humano. □



PSICOLOGÍA

La anorexia parece predispuesta por altos niveles de ansiedad materna

La anorexia es uno de los cuadros clínicos que más preocupa a los psiquiatras y psicólogos por el alto riesgo de mortalidad a la que está asociada. Se define como un desorden en la alimentación (por defecto, en oposición a la bulimia, caracterizada por el exceso de ingesta) cuyo origen aún se discute. No obstante, un estudio publicado este año en *British Journal of Psychiatry* nos ofrece una pista más sobre la causa de esta enfermedad.

Según los investigadores P. Shoebridge y S. Gowers, la anorexia nerviosa que típicamente se encuentra entre mujeres jóvenes, parece predispuesta por altos niveles de ansiedad de las madres. La hipótesis de Shoebridge y Gowers es que existe una peculiar relación anoréxica madre-hija, caracterizada por actitudes y comportamientos de intensa preocupación y cuidado. Para demostrar esta hipótesis de sobreprotección materna, los autores del estudio compararon dos grupos de participantes: 40 pacientes diagnosticadas de anorexia nerviosa y 40 personas sin diagnóstico psiquiátrico. Las categorías de comparación fueron las siguientes:

1. Historial obstétrico de la madre: mediante la consulta directa de los procesos médicos de obstetricia, complementados con datos de una entrevista semiestructurada a la madre, en la que se indagó sobre posibles preocupaciones o problemas de fertilidad, abortos, graves enfermedades congénitas en hijos anteriores, aspectos del embarazo de la participante, parto prematuro, muerte a las primeras horas de vida y otras informaciones significativas.

2. Cuidados tempranos en la infancia; también en la entrevista se recogen datos relativos a:

- Dificultades matrimoniales dos años antes del nacimiento de la madre y hasta 5 años después.
- División de tareas de cuidados a los hijos (entre la pareja).
- Período de amamantamiento.
- Depresión post-parto.
- Problemas de alimentación de la participante.
- Tiempo que durmió en el dormitorio de los padres.
- Preocupaciones acerca de dificultades en el desarrollo.
- Experiencia de enfermedades de alto riesgo, en los primeros 5 años de vida.
- Grado de angustia de separación sentida por la madre y por la participante en situaciones escolares, en la guardería, etc.
- Edad en la que pasaron, por primera vez, una noche fuera del hogar.

3. Ansiedad de la madre: medida por el cuestionario STAI (iniciales en inglés de "Inventario de Ansiedad de Estado y de Rasgo" de Charles Spielberger).

Los resultados de la investigación mostraron, en cuanto a los datos obstétricos, que un número significativamente mayor de madres de anoréxicas refieren que han tenido gran preocupación por

abortar durante el embarazo. Sin embargo, la evidencia más clara se vio en los cuidados en la infancia:

- Las madres de anoréxicas se encargaban del cuidado de su hija, con casi total exclusión del padre.
- En el grupo de anoréxicas se informa de más problemas de sueño del bebé.
- En este grupo se registran también más dificultades de la madre para dejar el bebé al cuidado de otra persona, por primera vez.

Las pacientes anoréxicas eran significativamente de más edad cuando pasaron por primera vez un fin de semana fuera de los cuidados de los padres.

Finalmente, los resultados de la aplicación del STAI mostraron que las madres de las anoréxicas registraron niveles bastante más elevados de ansiedad. Pero ¿cómo interpretar estos resultados? Si bien la estadística es favorable a la hipótesis de Shoebridge y Gowers, es importante para los autores no llegar a la conclusión simple de que la ansiedad materna es la causa de la anorexia nerviosa de sus hijas. Es apenas un factor predisponente junto a otros como los rasgos de personalidad de la anoréxica, su socialización, etc.

Lo que se deduce de esta investigación con miras a la intervención clínica es que el tratamiento de la anorexia debe involucrar a la madre y a otros familiares. Desde un punto de vista práctico, la unidad que deberán tratar los psiquiatras y/o psicólogos es la familia, con el fin de superar el funcionamiento patológico que contribuye al desarrollo de la anorexia nerviosa. □

Una enfermedad traída por el hombre pudo haber extinguido a los mamuts americanos

El conocimiento científico tiene sus paradojas: mientras los paleontólogos parecen tener claro que hace 65 millones de años la extinción masiva de los dinosaurios se debió a las consecuencias de un meteorito sobre nuestro planeta, la desaparición, hace apenas 11.000 años, de la megafauna americana sigue siendo motivo de fuerte controversia.

La extinción de los mamuts, de los perezosos gigantes y de otras grandes especies que habitaban nuestro continente al final del

de 2001 de *Scientific American*, que incluye una entrevista sobre el tema, de Kate Wong a Ross MacPhee, curador de mamíferos del American Museum of Natural History en Nueva York. El contenido de la revista está disponible en internet (<http://www.sciam.com>).

¿De qué manera los humanos pleistocénicos pudieron haber extinguido la megafauna? Para MacPhee, se debió a que los recién llegados *Homo sapiens* transmitieron a estos grandes mamíferos un agente patógeno le-

ron expertos cazadores, pero también su condición de especie nueva en el territorio los hace candidatos perfectos para haber contagiado la megafauna de agentes novedosos para el sistema inmunológico.

A pesar de esta igualdad empírica, MacPhee considera teóricamente improbable que los primeros americanos estuvieran lo suficientemente organizados como para acabar tan rápidamente a especies del tamaño de un mamut; los restos arqueológicos correspondientes a ese tiempo sólo pudieron haber pertenecido a pequeñas bandas que mataban sólo lo necesario para subsistir.

Para este investigador, la rapidez ya demostrada de la extinción sólo puede ser explicada por una epidemia letal. Por esta razón, Alex Greenwood, un colega suyo del *American Museum of Natural History*, se dedica en la actualidad a analizar el ADN de mamuts encontrados tanto en América como en Asia, estos últimos como evidencia de contraste o grupo de control.

Las conclusiones definitivas, como explica MacPhee, se darán a conocer a lo largo de esta década mientras se mejoran las técnicas de análisis de ADN en fósiles. El equipo neoyorquino confía en hallar diferencias significativas entre los mamuts americanos (extintos desde hace diez mil años) y los asiáticos, probablemente más resistentes a los patógenos, que lograron sobrevivir hasta hace menos de cinco mil años. □



pleistoceno ocurrió en un período muy rápido y coincide con un dramático cambio climático, hecho que se propuso inicialmente como causa de la desaparición. Sin embargo, la evidencia existente muestra que el clima ha cambiado en momentos en que no hubo extinciones masivas, y se dieron extinciones masivas en momento de clima relativamente benigno.

Las nuevas hipótesis apuntan sorprendentemente al hombre como causa del fenómeno, como se explica en el número de febrero

tal; en cambio, para otros científicos como Paul Martin, los nativos americanos acabaron estas especies "a punta de lanza", es decir, mediante la cacería masiva.

El debate MacPhee-Martin sigue vivo porque cada hipótesis tiene sustentos empíricos. Por ejemplo, se sabe que nuestra especie está detrás de la desaparición de muchos animales en todo el planeta por ambas vías: transmisión de enfermedades y cacería. La evidencia arqueológica en América muestra que los nativos fue-

ARQUEOLOGÍA

Descubrimiento o coincidencia

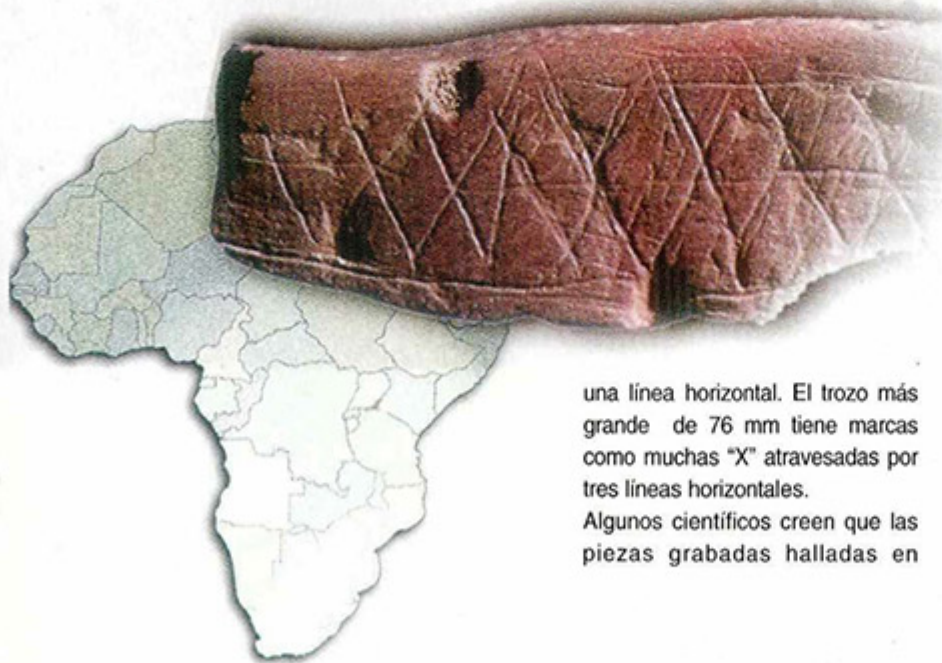
Arqueólogos en Sur África han encontrado la que podría ser la más antigua muestra de arte, que data de 40.000 años antes de las pinturas rupestres más antiguas de Europa. Los artefactos, dos trozos de ocre rojo gravados con líneas entrecruzadas, fueron recuperados de cavernas de 77.000 años de antigüedad. Aún no es claro lo que el antiguo artista trataba de representar con esas marcas. Sin embargo, algunos investigadores arguyen que el hallazgo de la Caverna Blombos refuerza la teoría de que el comportamiento del humano moderno es anterior a lo que se pensaba, y que este tuvo lugar en África mucho antes de su expansión por Europa. Otros se muestran cautos frente a las conclusiones que arrojan los dibujos, pues consideran que es un raro hallazgo.

La mayoría de los científicos creen que el *Homo Sapiens* apareció hace cerca de 130.000 años en África, cuando los humanos anatómicamente modernos debutaron en un registro fósil. Sin embargo, el equipo liderado por el arqueólogo Christopher Henshilwood del Museo Surafricano en Ciudad del Cabo desenterró la caverna Blombos que se creyó, era la prueba de que el inicio del comportamiento humano moderno ocurrió durante el periodo medio de la edad de piedra, de 250.000 a 40.000 años atrás. Los gravados en ocre, desenterrados en 1999-2000, podrían ser la mejor evidencia de que los humanos fueron capaces de hacer representaciones simbólicas desde hace más tiempo. La pieza más pequeña, de 53 mm tiene una serie de marcas como "X", algunas atravesadas por

Blombos, aunque son arte, no pueden considerarse como prueba incontrovertible del nacimiento del comportamiento humano moderno. Hay investigadores que están dispuestos a aceptar la afirmación del equipo de Henshilwood de que el artista intentaba simbolizar algo, pero pocos están listos para abrazar una nueva teoría radical para la extensión del comportamiento moderno.

Henshilwood cuenta con que surjan más descubrimientos como el de Blombos en otras excavaciones en África, pues hay otros sitios que podrían tener información pero que fueron excavados en 1920, 30 o 40 y no fueron explorados apropiadamente.

Si lo de la Caverna Blombos es un error, el objetivo es tratar de explicar porqué el comportamiento moderno no apareció simultáneamente a través de África. Henshilwood sugiere que la localización de la caverna indica que estaba cubierta por el océano Índico – donde la dieta era rica en comida de mar – y ahí está la clave. ¿Podría ser mejor anatómicamente la gente que se desarrollaba en un ambiente costero? Se pregunta él. Este puede ser visto como un patrón. En la búsqueda de éstos, algunos expertos dicen que sí puede ser el punto de partida para precisar el inicio del comportamiento humano moderno aunque plantean que la pregunta interesante es, si este es el más antiguo, ¿porqué está allí? ▣



una línea horizontal. El trozo más grande de 76 mm tiene marcas como muchas "X" atravesadas por tres líneas horizontales. Algunos científicos creen que las piezas grabadas halladas en



La muerte de las

ESTRELLAS

Juan Guillermo Díaz Ochoa

Físico,

Observatorio Nacional de Colombia,

Bogotá, Colombia

e-mail: guillermodiaz@yahoo.com

Desde niños nos hemos encontrado ante un espectáculo que nos sobrecoge y nos impresiona, tanto por lo hermoso como por lo inquietante: estrellas que brillan en medio de la oscuridad de la noche. Las estrellas han ocupado la mente de la humanidad desde centurias, pero solamente desde hace unas pocas décadas disponemos de estudios formales que intentan explicar la estructura de estos objetos. Sin embargo, ya desde la Grecia clásica se había planteado que las estrellas podrían ser soles distantes. Pero fue gracias al desarrollo del telescopio que se pudo traspasar la frontera que nos impone el sistema solar y de esta manera iniciar sistemáticamente observaciones que han permitido formalizar una teoría de estructura estelar (o estructura de estrellas) basada en la aplicación de las leyes físicas conocidas.

Es así que el interés académico abarca tanto la parte observacional como la parte teórica. La observación astronómica es el laboratorio de la astrofísica, y su refinamiento se ha resumido en el desarrollo de nuevas herramientas basadas en principios de óptica, electrónica y mecánica cuántica que agudizan tanto la profundidad de observación como la ampliación del espectro de radiación que se detecta de las fuentes: estrellas, galaxias y cuásares no solamente emiten luz visible sino también en longitudes de onda que corresponden a otras regiones del espectro electromagnético como rayos gamma, rayos X, infrarrojos, etc. Naturalmente, estos avances han ido de la mano con los desarrollos en tecnología de comunicaciones y en tecnología de satélites para la puesta en órbita de observatorios, como el

famoso telescopio Hubble, puesto en funcionamiento en 1990.

Teóricamente, la estructura estelar se entiende como la interacción entre una parte macroscópica y una parte microscópica: la primera referida a la relación entre la estrella y el espacio, y la segunda entendida como las fuerzas que se generan por las interacciones que se originan en la materia que compone dicha estrella. La existencia de la estrella se debe al equilibrio que se establece entre la parte macroscópica y la parte microscópica.

Sin embargo, hay estrellas que en su fase final pueden tener campos gravitacionales tan intensos que generan fuerzas que hacen que del equilibrio se pase al colapso. El interés de este artículo es mostrar estas estrellas, llamadas estrellas compactas, como un caso muy particular entre toda la gama de fenómenos

La existencia de la estrella se debe al equilibrio que se establece entre la parte macroscópica y la parte microscópica.

que abarca la astrofísica. Se describirá, en primer lugar, la materia que compone las estrellas en su fase final, y luego se describirá el papel que juega la relatividad general en la construcción de teorías sobre objetos compactos. Se mostrará el panorama actual y, finalmente, se presentarán algunas reflexiones alrededor de este tema.

La materia de las estrellas compactas

Al estudiar la estructura de las estrellas, debemos enfrentar el hecho de que éstas se hallan continuamente en evolución. Esto significa

que figurativamente podemos decir que una estrella nace, crece, decae y muere. Cada estado, durante este ciclo evolutivo, puede ser estudiado en el equilibrio, y las estrellas en colapso con campos gravitacionales intensos son un ejemplo de una fase de decaimiento y muerte: al agotar éstas su "combustible" nuclear, las colisiones de origen térmico entre partículas disminuyen considerablemente y, por tanto, la presión decrece. Esto implica que la estrella que antes existía gracias al equilibrio entre la presión y las fuerzas gravitacionales se contrae por su propio peso y llega a un estado mínimo de energía, en donde todo el calor ha sido extraído.

Las estrellas compactas son, entonces, configuraciones estelares frías: una estrella de neutrones o una enana blanca. La composición nuclear se especifica únicamente por la densidad, y dado que aquí el proceso termodinámico se puede entender como un proceso politrópico (un proceso en donde la energía necesaria para elevar un grado Kelvin la temperatura de un gramo de una sustancia es una constante), la presión podrá ser expresada en función de la densidad: en este caso, la presión será proporcional a la densidad de masa elevada a un coeficiente que se denominará el exponente politrópico. La anterior relación sirve para describir sistemas estelares en colapso compuestos de electrones o de neutrones que generan una presión hacia fuera de la estrella; en el primer caso la configuración se denomina enana blanca, y en el segundo caso la configuración se denomina estrella de neutrones.

En el caso de una enana blanca, el núcleo posee una masa menor de 1,44 veces la masa del Sol, masa esta conocida como el límite de Chandrasekhar (si la estrella fuese

sólo de He_4 , C_{12} , O_{16}); el equilibrio se establece cuando el movimiento de los electrones en su interior ejerce una presión hacia fuera (presión de degeneración); dichas estrellas tienen un diámetro similar al de la Tierra, su densidad es 10'000.000 de veces superior a la densidad del agua (alrededor de 10^7 gr/cm^3) y su luminosidad es mil veces inferior a la luminosidad del Sol. Si la masa excede las 1,5 masas solares, el colapso continúa hasta que el sistema adquiere una gran densidad: miles de toneladas por centímetro cúbico. A estas densidades, los electrones colisionan con los protones y producen neutrones: Este proceso llega a producir tal cantidad de neutrones que los núcleos de los átomos se desintegran y al final sólo quedan neutrones, lo cual origina una estrella cuya densidad es del orden de 10^{13} gr/cm^3 y cuyo diámetro es proporcional a la longitud de una ciudad, es decir, alrededor de 30 km. Nuevamente, en este caso la presión de la estrella se debe a la presión de degeneración. En los dos casos anteriores, las propiedades de la materia del sistema se resumen en el índice politrópico, teniendo en cuenta qué tan relativista es dicha

materia: si el movimiento de las partículas posee una velocidad muy inferior a la velocidad de la luz, entonces el índice politrópico será $5/3$; pero si la velocidad es muy cercana a la velocidad de la luz, entonces el índice politrópico será $4/3$. De esta manera, se observa que las estrellas que resultan de un colapso son compactas y tan densas que sus campos gravitacionales alrededor son intensos (figura 1).

Sin embargo, la verdadera ecuación de estado que gobierna el interior de las estrellas compactas es desconocida; los modelos aquí descritos son esferas de gas de partículas que desprecian las interacciones de éstas. Ello se debe a la inhabilidad para poder verificar experimentalmente las teorías que describen las interacciones fundamentales entre los neutrones y las teorías de muchos cuerpos a densidades próximas a la densidad nuclear (es decir $5 \times 10^{14} \text{ gr/cm}^3$). En el caso particular de las estrellas de neutrones, se ha propuesto recientemente materia de quarks (partículas fundamentales que componen los protones y los neutrones); Otras investigaciones apuntan a considerar estrellas que se hallan en una fase mixta entre

materia de nucleones y materia de quarks, sin que hasta el momento se tengan resultados concluyentes.

La relatividad general y las estrellas compactas

La teoría de la relatividad general formulada por Einstein en 1916 se basa en el principio de equivalencia entre la masa inercial (es decir, la masa que adquiere un estado de movimiento cuando se le aplica una fuerza) y la masa gravitacional (que es la masa que adquiere un estado de movimiento cuando vence al campo gravitacional). Bajo este principio, la teoría es única para describir el movimiento de cualquier masa en presencia de un campo gravitacional. Adicionalmente, es una herramienta para entender cómo es el campo alrededor de un objeto con alguna configuración geométrica que posee un potencial gravitacional y que posee o no una distribución de energía en su interior (el anterior ejercicio no difiere en esencia de los ejercicios que se enfrentan en un curso de electrostática para entender el campo eléctrico). El problema se plantea de tal forma que sea independiente de cualquier sistema

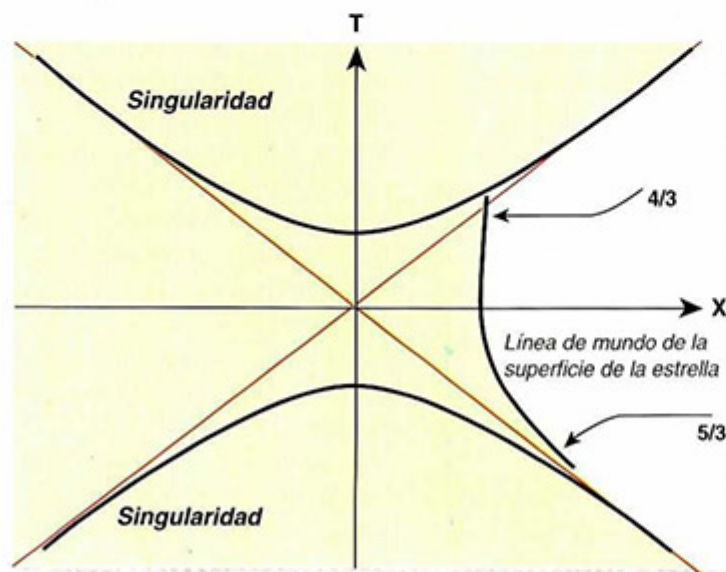


Figura 1

Diagrama de Kruskal para el colapso gravitatorio en el espacio tiempo. Las líneas rojas son rayos de luz y la región fuera del sombreado amarillo es la única que posee significado físico, pues dentro del sombreado las velocidades pueden ser mayores a la velocidad de la luz (es sabido que nada puede ser más veloz que la velocidad de la luz). Una estrella puede decaer en un agujero negro (que corresponde a las líneas de singularidad), de tal forma que la línea de la estrella tiende hacia una de las líneas negras marcadas como singularidad, situada en la región amarilla. Por lo tanto la materia que la compone puede ser más o menos relativista según se acerque a este límite: en el primer caso el índice politrópico es $4/3$ (se observa que la línea de la estrella está más cercana al límite de la velocidad de la luz) mientras que en el segundo caso el índice politrópico es $5/3$. Cuando la estrella tiende hacia la singularidad la intensidad del campo tiende a ser mayor, lo cual implica que la densidad del sistema tiende también a aumentar, por lo que una configuración con índice $4/3$ es más densa que una configuración con índice $5/3$.

coordinado para así obtener leyes físicas y no soluciones aisladas. En resumen se tienen, por tanto, dos partes: la primera, que proporciona información sobre la geometría del espacio (que depende de los potenciales de gravitación), y la segunda, que depende de la energía contenida en la geometría

El término asociado a la energía deberá describir por completo la distribución material o energética en movimiento (en donde la masa es también energía, según la relatividad espacial). Este término contendrá diferentes clases de energía: energía cinética, energía procedente de las tensiones, del campo electromagnético, etc. Ya que el espacio no se rige por el conjunto de movimientos de la geometría euclidiana (la geometría que aprendemos en el colegio), no será posible esquematizar las masas por medio de ciertas figuras (como se hace en la mecánica celeste clásica) sino por medio de modelos de la hidrodinámica (que es una parte de la física que estudia el movimientos de los fluidos). Dado que el término de energía es conservativo en todo el fluido, la variación de éste ha de ser nula en todo el espacio, lo cual implica que no hay transporte de energía a través de él (las interacciones internas en el fluido son despreciables). Así, las variables asociadas a un fluido perfecto son la densidad del fluido, la presión isotrópica respecto a un sistema en reposo de éste y su número de partículas.

Ahora bien, la presión en el interior de una estrella compacta es tan elevada que allí la materia se comporta como un fluido perfecto (un fluido cuyas interacciones internas son despreciables). Por ello, el problema de una estrella en relatividad general consistirá simplemente en entender el campo circundante de su configuración

geométrica, la cual se supone esférica y en cuyo interior se tiene un fluido perfecto. Bajo las anteriores condiciones, resulta por ello natural que podamos aplicar la relatividad general en la construcción del modelo para una estrella. Dicho modelo podrá ser elaborado desde lo más simple hasta lo más complejo. En este sentido, el modelo más simple que podemos construir en relatividad general es para una estrella estática y estacionaria, el cual fue construido por Oppenheimer y Volkoff en 1939. El siguiente grado de complejidad es hacer que el sistema sea estacionario (posee un estado, por ejemplo, de movimiento, que no varía en el tiempo) pero no estático; ello excluye estrellas pulsantes o estrellas en explosión, mas no estrellas con movimientos rotatorios y estacionarios.

Sin embargo, queda en el aire la pregunta: ¿por qué es necesaria la relatividad general para entender la estructura de una estrella compacta? La respuesta es muy simple: usando la relatividad general es posible describir campos gravitacionales intensos, y de esta manera modelar estrellas que poseen una masa muy grande en un volumen pequeño (figura 1), como, por ejemplo, estrellas de neutrones (una cucharada de estrella de neutrones pesaría el equivalente de lo que pesa el monte Everest), que se hallan en una fase de decaimiento.

Predicciones teóricas para los modelos de estrellas de neutrones

El desarrollo teórico alrededor del tema de estrellas compactas, y más exactamente alrededor de las estrellas de neutrones, ha seguido un camino contrario al convencional: aquí la teoría ha predicho la estrella antes de haber realizado cualquier observación. Cuando Oppenheimer y Volkoff propusie-

ron su modelo en 1939 construyeron la idea de una estrella compuesta de un gas de neutrones libres no rotante. A pesar de este trabajo, la investigación exhaustiva sobre las estrellas de neutrones no recibió la suficiente atención, salvo por algunos trabajos durante la década de los sesenta sobre la ecuación de estado de las estrellas de neutrones. La razón para haber despreciado durante tanto tiempo la investigación sobre las estrellas de neutrones fue que, a causa de que el área predicha era pequeña, la radiación térmica residual debía ser muy pequeña para ser observada a distancias astronómicas con telescopios convencionales. ¿Cómo fue posible,

¿por qué es necesaria la relatividad general para entender la estructura de una estrella compacta?

entonces, poder confirmar la existencia de estos objetos? La respuesta la proporcionaron las observaciones en regiones del espectro distintas del visible, y más específicamente, la observación de fuentes estelares de rayos X.

En efecto, en 1962 Giacconi y colaboradores descubrieron fuentes de rayos X que no provenían del Sol, las cuales, se especuló, tenían origen en estrellas de neutrones. El interés se afirmó finalmente en 1967 cuando Hewish, Pilkington, Scott y Collings descubrieron los púlsares: objetos rotatorios que giran con un período de aproximadamente 0,28 ms (milisegundos) y que se admiten como estrellas de neutrones rotatorios cuyo campo magnético se halla desalineado respecto al eje de rotación. A partir de este momento se ha volcado la atención sobre el

estudio de las estrellas de neutrones, tanto en el desarrollo de ecuaciones de estado más realistas como en el desarrollo conceptual de la teoría de la relatividad general. Sin embargo, ¿qué es lo que exactamente se puede corroborar con respecto a los modelos de estructura estelar?

Las observaciones de fuentes binarias de rayos X (dos estrellas que rotan una alrededor de la otra y cuyos procesos hacen que emitan principalmente rayos X) han permitido determinar las masas de las estrellas de neutrones en algunos sistemas. Si se tiene en cuenta que el radio puede ser observable, entonces deberá haber alguna manera de expresar la masa en función del radio. Mediante el modelo no rotatorio de Oppenheimer-Volkoff, es posible llegar en efecto a tal relación funcional; para ello es necesario solucionar cuatro ecuaciones simultáneas: una es la ecuación OV (Oppenheimer Volkoff) de equilibrio hidrostático; otra asociada a la solución de la geometría alrededor de la estrella (que es la solución de

Schwarzschild); otra asociada a la ecuación de estado de la materia del sistema; y finalmente una ecuación que permita calcular la masa total a partir de la densidad.

Si bien la masa y el radio se convierten en las fuentes de información sobre las estrellas de neutrones, la existencia de los púlsares nos coloca frente al problema de la medición de una velocidad angular asociada al púlsar. Para una primera aproximación, es posible despreciar el hecho de que el objeto se halla cargado, y se propone un conjunto de ecuaciones simultáneas que siguen la misma línea de pensamiento del caso anterior: se calcula un conjunto de ecuaciones para las funciones asociadas a la geometría de la estrella rotatoria (en total cuatro ecuaciones acopladas), una ecuación para equilibrio hidrostático, una ecuación para la ley de rotación, una ecuación de estado (que reduce un total de ocho ecuaciones acopladas que hay que solucionar a simplemente siete ecuaciones) y una ecuación que permita calcular la masa

total del objeto. A diferencia del caso anterior, para este caso se obtiene un conjunto de ecuaciones acopladas y no lineales, lo cual implica que la solución no podrá ser analítica; por ello, es necesario diseñar rutinas de cálculo para el computador y así aproximar la solución deseada. Naturalmente, en este caso la masa no será la única variable dinámica que hay que considerar: el momento angular se hallará asociado a la rotación de la estrella pues ésta es en principio un cuerpo rígido. Los cálculos para ambos casos se efectúan en el equilibrio. Sin embargo, el radio posee una cota inferior, que es el llamado *radio de Schwarzschild*, y el momento angular posee una cota superior que permite considerar que el sistema que se ha calculado pueda pasar a un estado fuera de equilibrio. Si las anteriores cotas se cumplen para el radio y para el momento entonces el objeto acabará colapsando en un agujero negro.

Actualmente se trabaja en tres frentes de investigación: en la elaboración de códigos que afronten eficazmente el conjunto de ecuaciones de campo que se derivan de las ecuaciones de campo gravitacional, en la elaboración de ecuaciones de estado realistas y en la oscilación de las estrellas. Si las oscilaciones son inestables, se pueden producir ondas gravitacionales: una estrella de neutrones rápidamente rotatoria es inestable con la emisión de ondas gravitacionales detectables, las cuales podrían permitir la determinación de la masa y del radio de ésta y

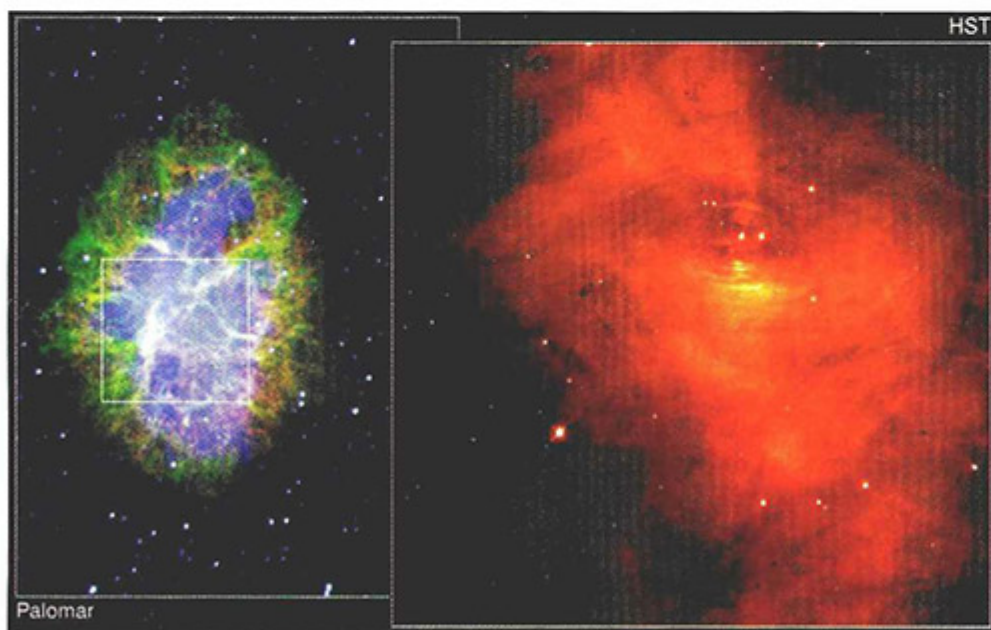


Figura 2. Imagen tomada por el telescopio espacial Hubble de la Nebulosa del Cangrejo. En el núcleo de ésta se halla un púlsar, el cual es una estrella de neutrones rotante con campo magnético desalineado respecto al eje de rotación, lo cual genera pulsos regulares de radiación.

ayudar de este modo a la reconstrucción de la ecuación de estado para tales sistemas. El principal problema es que las oscilaciones de estrellas relativistas es un fenómeno no lineal, y su cómputo numérico requiere un código que afronte la hidrodinámica relativista desde una perspectiva de tres dimensiones, el cual se encuentra hasta ahora en proceso de desarrollo.

Somos incapaces de comprender en este momento todas las alternativas de aplicación práctica que el estudio de la estructura de estrellas compactas pueda tener en el futuro.

Reflexiones alrededor del tema

El estudio de las estrellas relativistas parece ser la puerta de entrada para el estudio de una teoría unificada de campos. Tal unificación ha sido el sueño de los físicos desde hace cerca de setenta años, cuando Einstein propuso que debía existir la posibilidad de hallar un esquema de unificación para el campo electromagnético y gravitacional (los únicos que, hasta la época en la que Einstein propuso el problema, se habían logrado determinar). En primer lugar, la construcción de los modelos estelares exige la consideración de las interacciones fundamentales de la física: la interacción débil, que media los procesos de decaimiento de los núcleos, la interacción fuerte, que explica la cohesión y estabilidad de los núcleos, la electromagnética, que explica interacciones con campos eléctricos y magnéticos, y la interacción gravitacional, que media el comportamiento de las masas; es decir, es una receta con todos los ingredientes básicos de una teoría unificada. En segundo lugar, los

procesos en los interiores estelares son de altas energías y, por tanto, se convierten en recipientes de experimentación naturales que testifican procesos que hasta ahora se han sugerido en laboratorios en la Tierra. Sin embargo, la consideración de una teoría unificada de campos a partir de los anteriores puntos se halla limitada por las energías inferiores a la energía teórica necesaria

para lograr un campo unificado. Así, la estructura estelar es interesante para un estudiante como alternativa teórica para entender qué sucede cuando todos los campos actúan en un mismo problema sin que importe la escala de interacción (el campo gravitacional tiene una intensidad más pequeña que la intensidad del campo fuerte; además, actúa a escalas mucho mayores que la escala de las interacciones nucleares) y de este modo adquirir la formación para explorar un posible esquema de unificación, a pesar de que éste no sea realmente el camino adecuado para hallar tal esquema.

En particular, la astrofísica, y por ende el estudio de la estructura estelar de objetos compactos, proporciona una estructura de pensamiento, la cual puede tener una aplicación más amplia que la que se propone a través de nociones cosmológicas. Usualmente se piensa que las aplicaciones prácticas de algunos temas de trabajo no pueden ser vistas en un corto lapso. Este es un ejemplo de esta reflexión: tanto en la astrofísica misma como en las otras ramas de la física, somos incapaces de comprender en este mo-

mento todas las alternativas de aplicación práctica que el estudio de la estructura de estrellas compactas pueda tener en el futuro.

Referencias

1. **Stergioulas, N.:** <http://www.livingreviews.org/Articles/Volume1/1998-stergio>.
2. **Komatsu, H.; Eriguchi, Y.; Hachisu, I.:** *Rapidly Rotating Neutron Stars. Mon. Not. R. Astron. Soc.* 237: 355, 1989.
3. **Butterworth, E. M.; Ipsier, J.:** *On the Structure and Stability of Rapidly Rotating Fluid Bodies in General Relativity. Ap J.* 204: 200, 1976.
4. **Díaz, J.G.:** "Politropas rotantes en aproximación no newtoniana", Tesis de grado, U.N., 2000.
5. <http://opsite.stsci.edu>

Lecturas recomendadas

1. **Misner, C.W.; Thorne, K.S.; Wheeler, J.A.:** *Gravitation.* San Francisco: Freeman: 1973.
2. **Shapiro, S.L.; Teukolsky, S.A.:** *Black Holes, White Dwarfs & Neutron Stars. Wiley-interscience:* 1983.
3. **Karttunen M.; Donner, K.; Kröger, P.; Oja, H.; Poutanen, M.:** *Fundamental Astronomy.* Springer Verlag: 1996. □

Adpostal



Llegamos a todo el mundo!

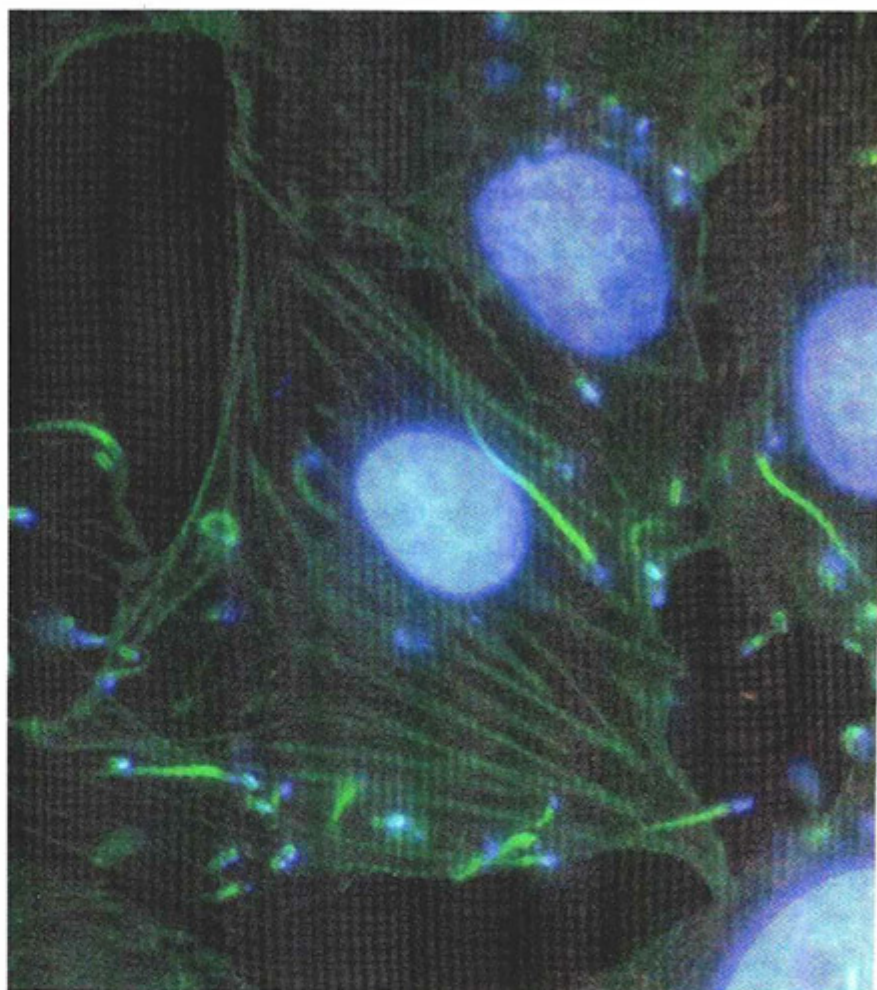
**CAMBIAMOS PARA SERVIRLE MEJOR
A COLOMBIA Y AL MUNDO
ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS**

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

**LE ATENDEMOS EN LOS TELEFONOS
2438851 - 3410304 - 3415534
980015503
FAX 2833345**

LISTERIA

**Sorprendente
interacción
entre una
bacteria
y las células
de nuestro
cuerpo**



Adriana Renzoni

Investigadora,
Centro Internacional
de Física,
Edificio Manuel Ancizar,
Universidad Nacional
de Colombia
Bogotá, Colombia
e-mail: arenzoni@pasteur.fr
arenzoni@yahoo.com

Un consorcio europeo formado por diferentes grupos de investigación de Francia, España y Alemania reveló este año la composición de la estructura molecular del genoma de *Listeria monocytogenes*, germen responsable de la listeriosis. La listeriosis es una enfermedad que ha resurgido en países como Francia, y ha causado la muerte de personas ancianas, de personas inmunosuprimidas, de fetos en gestación o ha producido secuelas neurológicas graves en el recién nacido. La reciente descripción del genoma de *Listeria monocytogenes* abre nuevas perspectivas para la investigación de este patógeno contra el cual aún no se dispone de una vacuna eficaz. Hasta el momento, sólo se ha podido revelar una cadena fantástica de interacciones entre la bacteria y las células de nuestro cuerpo. Veamos cómo esta interacción lleva al establecimiento de la enfermedad o a la destrucción bacteriana por parte de nuestro cuerpo.

Algunas enfermedades son causadas por errores en la química de nuestro organismo, mientras que otras resultan de la actividad de ciertos microorganismos como los virus, protozoos, hongos o bacterias. ¿Cómo causa un microorganis-

mucosas como las del intestino y las vías respiratorias y urinarias. Las membranas mucosas son más vulnerables que la piel y es por allí por donde generalmente comienza una infección. *Listeria monocytogenes* produce enfermedad después de penetrar el cuerpo por la membrana del intestino.

Listeria monocytogenes se caracteriza por su notable capacidad de crecer y multiplicarse en medios que se encuentran a temperaturas entre los 4°C (temperatura del refrigerador) y 37°C, en medios que contengan altas concentraciones de cloruro de sodio o en medios tanto ácidos como básicos. Gracias a esta amplia resistencia, la bacteria se encuentra así en el suelo, el agua y los vegetales como dentro de numerosas especies animales, incluido el hombre.

¿Cómo se disemina *Listeria monocytogenes* en nuestro cuerpo?

La transmisión al hombre se produce por ingestión de alimentos contaminados. El sitio de entrada de la bacteria a nuestro cuerpo es muy probablemente el tubo digestivo, desde donde penetra a las células intestinales, y a través del sistema linfático se dirige hacia la circulación sanguínea. La circulación sanguínea transporta la bacteria hasta llegar al hígado y al páncreas. En estos órganos,

mo una enfermedad? Para causar una enfermedad, algunos microorganismos (denominados patógenos) producen toxinas (u otras sustancias) que rompen procesos fisiológicos específicos, mientras que otros invaden las células de nuestro cuerpo. Las vías de invasión o infección pueden ser la piel (que normalmente actúa como barrera natural a los patógenos pero que, al estar lesionada, permite la entrada de éstos), las membranas

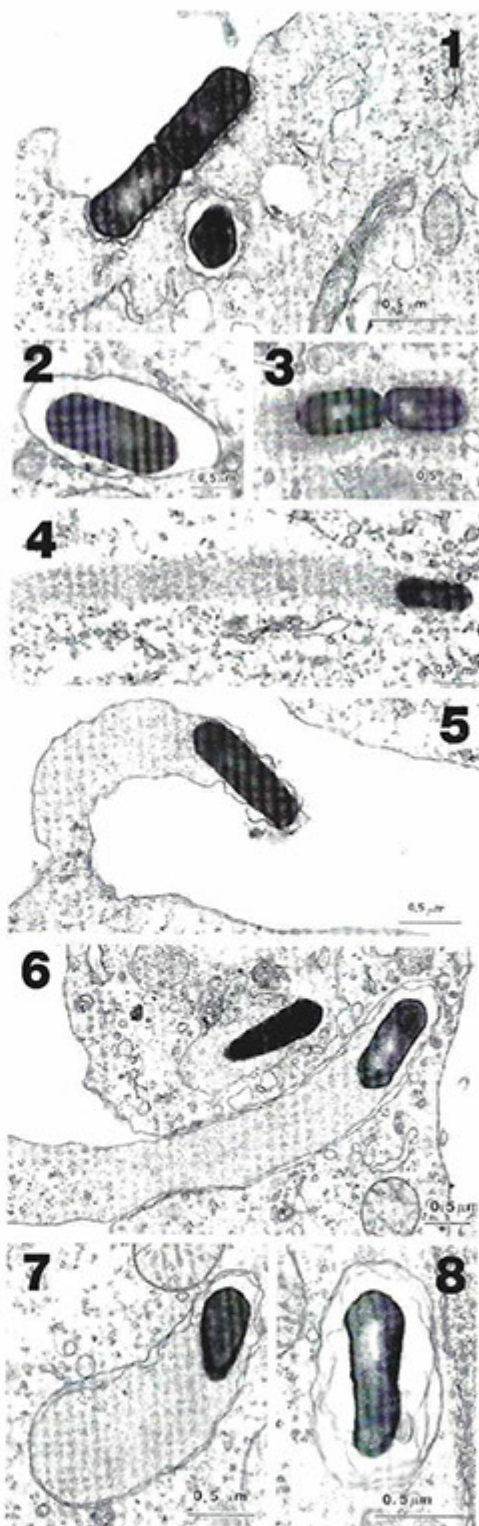


Figura 1. Etapas del ciclo de infección celular. Estas etapas han sido observadas mediante microscopía electrónica, tras infectar células de nuestro cuerpo *in vitro* con *Listeria monocytogenes*. 1. La bacteria se adhiere a la célula humana. 2. Después de entrar, la bacteria se encuentra dentro de una vacuola. 3. La bacteria rompe la membrana de la vacuola y se encuentra en el citoplasma celular donde se multiplica. 4. La bacteria se mueve en el citoplasma celular gracias a la formación, en su parte posterior, de una cometa de moléculas de Actina. 5. Al llegar a la membrana celular la bacteria empuja esta membrana e induce la formación de una protrusión. 6. La protrusión es endocitada por una célula adyacente. 7. La bacteria se encuentra en la nueva célula dentro de una vacuola de doble membrana. 8. La bacteria rompe de nuevo esta doble membrana para encontrarse otra vez libre en el citoplasma celular. Tomado de: Cossart, P. Y Lecuit, M., 1997.

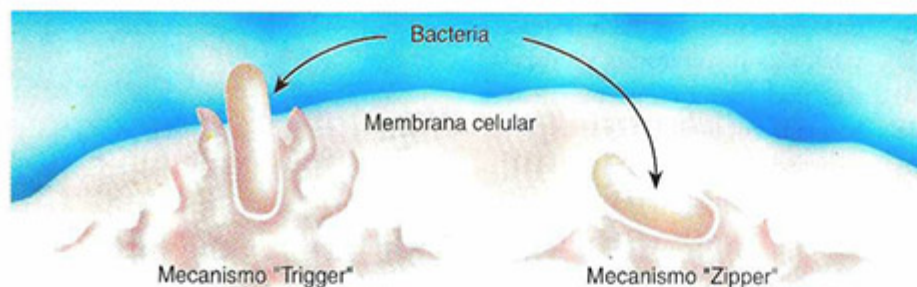


Figura 2. Mecanismos de entrada de diferentes bacterias. A. Mecanismo "Trigger", utilizado por ejemplo por la *Salmonella* en el cual se inducen unas extensiones de la membrana de la célula humana. B. Mecanismo "Zipper", utilizado por ejemplo por la *Listeria monocytogenes* en el cual la bacteria penetra la membrana sin inducir las extensiones de la membrana.

unas células especializadas del hígado (llamadas células de Kúpffer) y los macrófagos del páncreas destruyen parte de las bacterias; las bacterias sobrevivientes, sin embargo, penetran y se multiplican en las células del hígado. Este momento es crucial para el desarrollo de la enfermedad: si las defensas de nuestro cuerpo logran evitar que las bacterias se multipliquen, la enfermedad no se desarrolla. Sin embargo, en personas con defensas inmunológicas deficientes o bajas, las bacterias logran multiplicarse dentro de las células del hígado y posteriormente salen a la circulación sanguínea hasta llegar a los órganos que son blancos de la enfermedad: El cerebro y la unidad ma-

terno-fetal. Las bacterias, según el caso, causan problemas cerebrales (septicemia, meningitis, meningoencefalitis) o la muerte del feto.

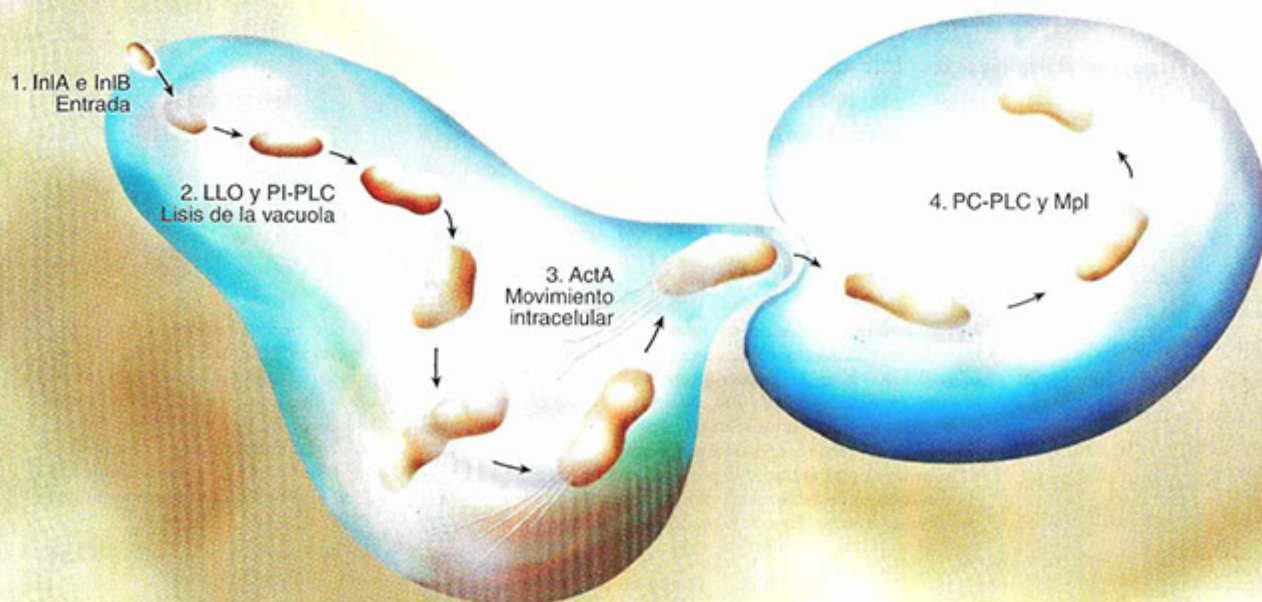
Ciclo de infección celular

Vimos cómo la *Listeria monocytogenes* entra en las células del intestino, pasa a la sangre y se sitúa luego dentro de los diferentes órganos de nuestro cuerpo. Esta penetración, también llamada infección celular, ha sido estudiada gracias al cultivo en laboratorio de células *in vitro* provenientes de los diferentes órganos. La infección de los diferentes tipos de células (como células intestinales o hepáticas) con *Listeria monocytogenes* ha permitido esta-

blecer las diferentes etapas del ciclo de infección celular (figura 1). La primera etapa es el contacto entre la bacteria y la célula. En este momento ocurre lo que se denomina adhesión; luego la bacteria comienza a penetrar la célula y posteriormente se localiza en un compartimento llamado vacuola. La bacteria es capaz de liberarse de esa vacuola

gracias a la producción de unas enzimas que desintegran la membrana de ésta y permiten su salida al citoplasma de la célula humana, donde se multiplica. Pero esto no es todo. Además de utilizar la célula humana como medio para multiplicarse, la bacteria utiliza la *actina*, un compuesto proteico del citoplasma celular, para formar unas largas colas o cometas gracias a las cuales puede moverse en el citoplasma a una velocidad de 1 mm/s. Durante su recorrido, encuentra de nuevo la membrana plasmática, la empuja y forma una protrusión y esta protrusión es endocitada (es decir, capturada) por la célula adyacente (figura 1). En esta nueva célula, la bacteria se encuentra dentro de una nueva vacuola formada

Figura 3. Factores de virulencia bacterianos implicados en cada etapa del ciclo de infección celular. 1. InlA e InlB utilizados en la entrada a la célula humana. 2. LLO y PI-PLC utilizados en la lisis de la vacuola. 3. ActA utilizada en la formación de la cometa de Actina que permite el movimiento de la bacteria en el citoplasma celular. 4. PC-PLC y Mpl utilizados en la lisis de la doble membrana una vez la bacteria ha entrado en la segunda célula.



esta vez de dos membranas que van a ser desintegradas por la bacteria. Este ciclo de infección continúa, pasando de célula en célula, y evitando de esta forma estar libre en el medio extracelular donde se encuentran las defensas inmunológicas del cuerpo humano, que son capaces de destruirla.

Factores de virulencia de la *Listeria monocytogenes* implicados en el ciclo de infección celular

Diferentes grupos de investigación en el mundo se han interesado especialmente en comprender cuáles son los factores bacterianos importantes para que la *Listeria monocytogenes* logre interactuar con las células de nuestro cuerpo. Muchos años de estudio han conducido a identificar ocho factores bacterianos, llamados factores de virulencia.

1. Factores involucrados en la entrada

La etapa de adhesión de la bacteria a la célula de nuestro cuerpo es una etapa esencial si se considera que el sitio de infección es la mucosa intestinal. Allí, la bacteria se enfrenta a fuertes movimientos del intestino y a continuos lavados de secreciones que pueden dificultar su contacto con las células del intestino. La adhesión es mediada generalmente por la interacción entre moléculas localizadas en la superficie del patógeno y moléculas de la célula de nuestro cuerpo. Numerosos patógenos son capaces de desarrollar una enfermedad sólo permaneciendo adheridos a la superficie de la célula humana (por ejemplo, *Vibrio cholerae*, bacteria responsable del cólera). Por el contrario, hay otros que tras adhesión necesitan invadir o penetrar las células, como es el caso de la *Listeria monocytogenes*. Gracias a las técnicas

de microscopía electrónica, se han podido observar diferentes mecanismos de invasión. El mecanismo *trigger*, en el cual el contacto entre la bacteria (como *Salmonella*) y la célula humana dispara una señalización que incita a la formación de unas extensiones de la membrana celular humana que rodean el patógeno y que lo engullen rápidamente. Por el contrario, el contacto entre otras bacterias (como *Listeria monocytogenes* o *Yersinia*) y la célula humana dispara el mecanismo llamado *zipper*, que produce un hundimiento localizado de la membrana sin que se observen esas extensiones extraordinarias de la membrana (figura 2).

En el caso de la *Listeria monocytogenes*, desde 1986 se conoce el mecanismo por el cual la bacteria logra entrar a las células. Se mostró que dos moléculas situadas en la parte exterior de la bacteria eran factores necesarios durante la etapa de entrada a ciertas células del cuerpo humano. Estas moléculas o proteínas son la InlA y la InlB (figura 3.1).

La proteína InlA (también llamada Internalina) está involucrada en la entrada a las células de tipo epitelial (llamadas Caco-2). La ausencia de InlA impide la entrada de la bacteria a estas células. La entrada implica una interacción entre la proteína InlA y un compuesto anclado a la membrana de la célula: la E-Cadherina. Actualmente se están realizando estudios para comprender el mecanismo que conduce a la penetración de la bacteria tras el

reconocimiento entre la E-Cadherina y la InlA.

La proteína InlB, por su parte, está involucrada en la entrada a diferentes tipos de células como los hepatocitos (células del hígado) y los fibroblastos, entre otros. Hasta el momento no se ha identificado una proteína de la célula que sea reconocida por InlB y que permita la entrada de la bacteria a estas células.

2. Factores involucrados en la lisis de la vacuola

La desintegración de la vacuola se produce gracias a la acción de dos proteínas secretadas por la bacteria: La LLO (también llamada Listeriolisina O) y la PI-PLC (fosfolipasa específica del fosfatidilinositol). La Listeriolisina O es una hemolisina que ataca las membranas celulares que contienen colesterol. Por el momento se sabe que esta hemolisina es una toxina que se fija a la membrana de la vacuola, forma un poro y rompe así la membrana. La ausencia de esta proteína permite la entrada a las células.

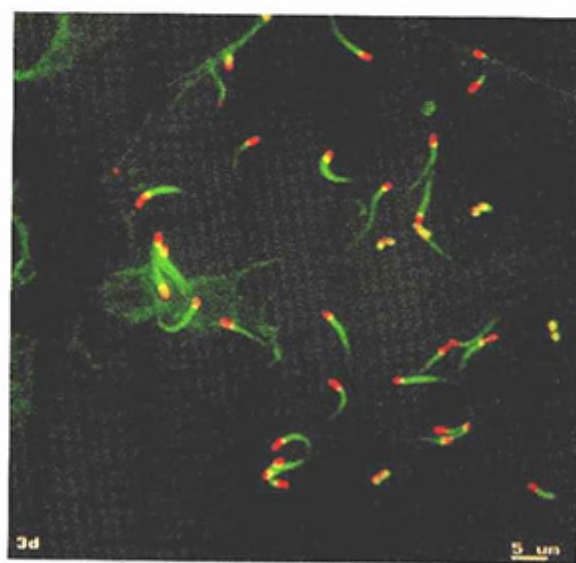


Figura 4. Cometa de Actina formado por *L. monocytogenes* gracias a la proteína ActA. La visualización de la cometa y de la bacteria se hace gracias a la técnica de inmunofluorescencia. Se puede observar la cometa en verde y la bacteria en rojo. La cometa se genera a un extremo de la bacteria, al lado opuesto hacia donde se dirige la bacteria. Tomado de: Kocks, C.; Heliou, R.; Gounon, P.; Ohayon, H. and Cossart, P.: 1993.

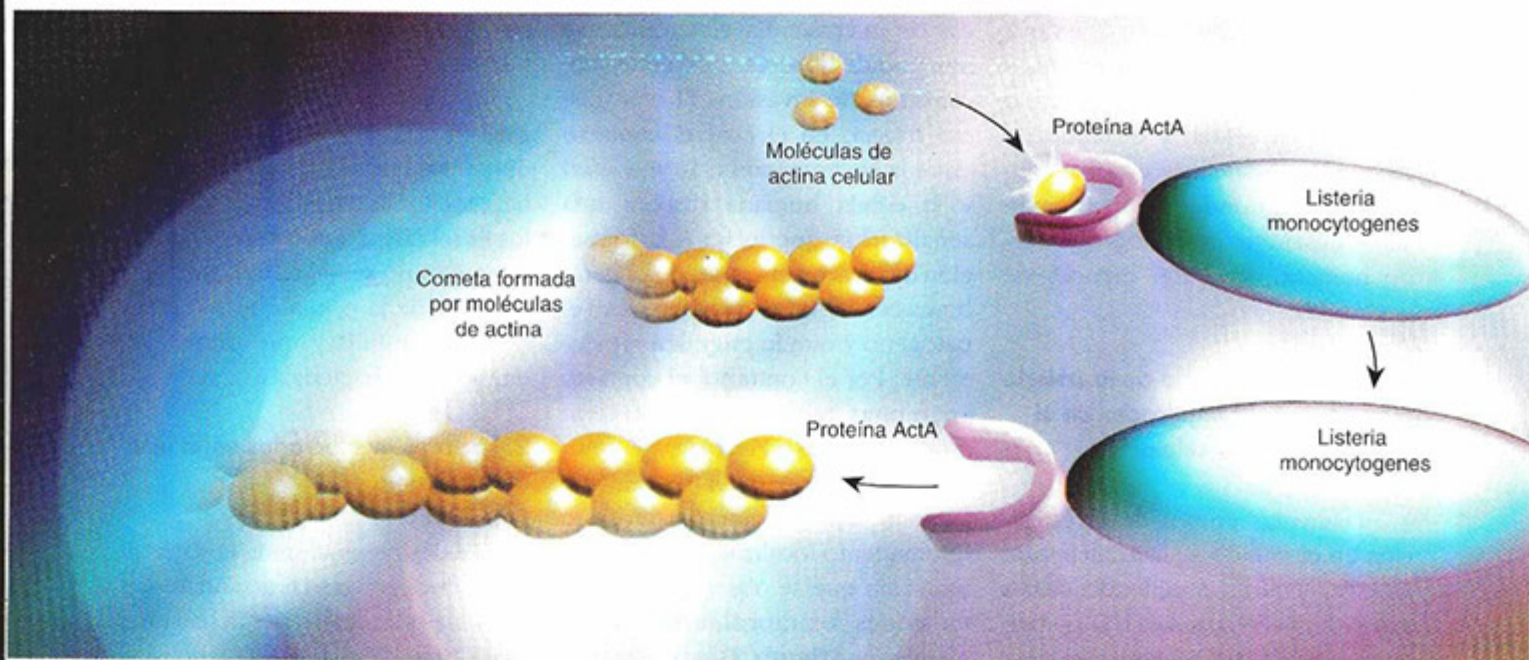


Figura 5. Modelo del ensamblaje de las moléculas de Actina celular gracias a la proteína ActA de *Listeria monocytogenes*. Las moléculas de Actina situadas en el citoplasma celular son reclutadas por la bacteria gracias a la proteína ActA. Una vez reclutadas, estas moléculas de Actina son añadidas progresivamente a la cometa. La bacteria utiliza esta cometa como apoyo para impulsarse y moverse por el citoplasma celular. En este mecanismo, muchas otras moléculas celulares intervienen pero no están representadas en este modelo.

las del organismo pero impide la salida de la vacuola y por tanto la multiplicación de las bacterias. Al igual que la Listeriolisina O, la PI-PLC ataca la membrana de la vacuola; su ausencia también impide la salida de la bacteria de la vacuola (figuras 3.2).

3. Factor implicado en el movimiento intracelular

Es sorprendente observar cómo se moviliza esta bacteria dentro del citoplasma celular. En 1989 Tilney y colaboradores⁶ mostraron que la *Listeria monocytogenes*, al moverse, dejaba tras de sí una cometa o cola formada de *actina*, una proteína de la célula humana (figuras 3.3 y 4). Para inducir su movimiento, la bacteria se apropia de las moléculas de *actina* de la célula humana y las añade progresivamente para formar una cometa (figura 5). El crecimiento progresivo de la cometa en el extremo posterior de la bacteria se realiza gracias a una proteína bacteriana llamada la proteína ActA.

La identificación de ActA se hizo gracias al aislamiento de bacterias mutantes incapaces de formar esta cometa. Más sorprendente aún es ver cómo, si se induce la producción de ActA en bacterias naturalmente inmóviles, (como *Listeria innocua* y *Streptococcus pneumoniae*), éstas son capaces de moverse y dejar en su parte posterior una cometa de Actina. Este mecanismo de movimiento utilizado por la *Listeria monocytogenes* ha llamado mucho la atención puesto que es un mecanismo de movimiento parecido al utilizado por los neutrófilos (células del sistema inmune de nuestro cuerpo que son atraídas a los sitios donde se presenta una infección) o al utilizado en el movimiento de las células cancerosas. El estudio de este mecanismo de movimiento, utilizando como modelo la *Listeria monocytogenes*, podrá llevar a comprender más en detalle el movimiento de las células cancerosas.

4. Factores implicados en el paso

de célula a célula

Como se describió, la bacteria, al pasar de una célula a otra, se encuentra dentro de una vacuola de doble membrana. Sólo dos factores de virulencia juegan un papel importante en la lisis de esta vacuola: la proteína PC-PLC (fosfolipasa específica para la fosfatidilcolina) y la proteína Mpl (metaloproteasa) (figuras 3.4). La PC-PLC es una enzima que se produce en forma inactiva pero que cambia a su forma activa gracias a la acción de la metaloproteasa. Una vez activa, la enzima PC-PLC es capaz de romper los fosfolípidos presentes en las membranas de las células de nuestro cuerpo y romper así la vacuola de doble membrana.

5. Factor implicado en la regulación de la producción de los factores de virulencia

Cada uno de los factores de virulencia está codificado por un gen, y todos juntos hacen parte del genoma de la *Listeria monocytogenes* (figura 6). La producción de

cada factor de virulencia se puede controlar al regular la expresión del gen correspondiente. La regulación de la expresión del gen se hace gracias a proteínas especializadas llamadas activadores transcripcionales (entre otras) que se unen a una porción del ADN (ácido desoxirribonucleico) situada en proximidad del gen en cuestión. En la *Listeria monocytogenes*, la expresión de los genes que codifican los factores de virulencia está regulada por un activador transcripcional llamado PrfA. Éste tiene la capacidad de fijarse directamente a una secuencia específica de ADN situada frente a cada uno de los genes de virulencia (figuras 7A y 7B). Al estar presente el activador transcripcional PrfA, los factores de virulencia son expresados y la bac-

teria es capaz entonces de invadir y multiplicarse en las células del cuerpo humano. Si PrfA es mutada o no es producida, la bacteria ni invade ni se reproduce. La importancia de este activador es crucial para el establecimiento de una infección. Recientemente se demostró que en el momento de la adhesión de la bacteria a la célula humana se induce la producción de PrfA, gracias a lo cual también se induce la producción de todos los demás factores de virulencia. Esto nos indica que durante la adhesión existe probablemente un mecanismo que señala a la bacteria que se encuentra en presencia de una célula humana y que es el momento apropiado para producir los factores de virulencia y poder así invadir la célula. Este mecanismo de señalización está siendo objeto de investigación.

Conclusión

Las epidemias recientes de listeriosis en los países industrializados han revelado el peligro potencial de este patógeno aún poco conocido. El control de la *Listeria* en el medio es difícil a pesar del control sanitario drástico que se lleva a cabo. Esto se debe en parte a la capacidad de esta bacteria para adaptarse al medio industrial aséptico y refrigerado. La era post-genoma nos ofrece el material para progresar en la comprensión de los misterios que aún envuelven a este patógeno.

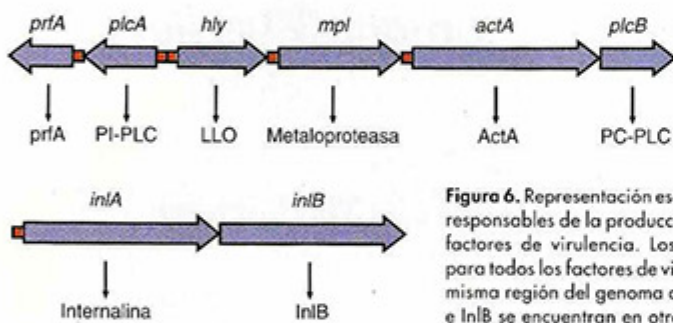


Figura 6. Representación esquemática de los genes responsables de la producción de cada uno de los factores de virulencia. Los genes que codifican para todos los factores de virulencia se sitúan en la misma región del genoma de la *Listeria*. Sólo InlA e InlB se encuentran en otra región.

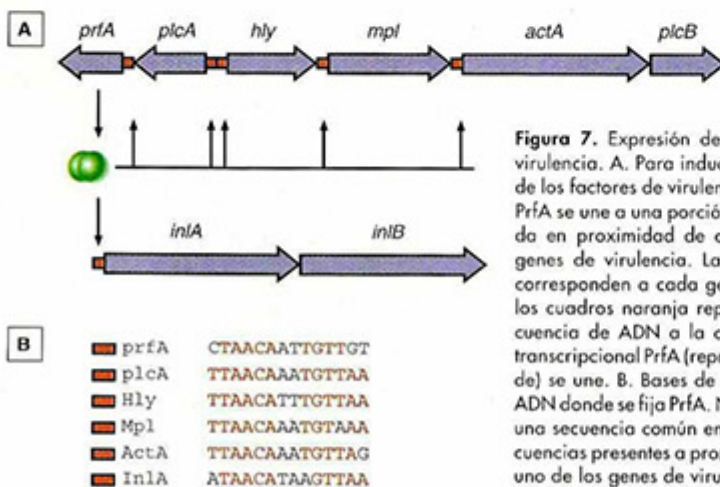


Figura 7. Expresión de los factores de virulencia. A. Para inducir la producción de los factores de virulencia, el activador PrfA se une a una porción del ADN situada en proximidad de cada uno de los genes de virulencia. Las flechas azules corresponden a cada gen de virulencia; los cuadros naranja representan las secuencias de ADN a la cual el activador transcripcional PrfA (representado en verde) se une. B. Bases de la secuencia del ADN donde se fija PrfA. Nótese que existe una secuencia común entre todas las secuencias presentes a proximidad de cada uno de los genes de virulencia.

Lecturas recomendadas

1. Cossart, P.: Interactions of the Bacterial Pathogen *Listeria monocytogenes* with the Mammalian Cells. *Bacterial Factors, Cellular Ligands, and Signaling*. *Folia Microbiologica* 43(3): 291-303: 1998.
2. Cossart, P.; Lecuit, M.: Interaction of *Listeria monocytogenes* with mammalian cells during entry and actin-based movement; bacterial factors, cellular ligands and signaling. *The EMBO Journal*, 17:3797-3806. 1997.
3. Kocks, C.; Hellio, R.; Gounon, P.; Ohayon, H. And Cossart, P.: Polarized distribution of *Listeria monocytogenes* surface protein ActA at the site of frictional actin assembly. *Journal of Cell Science*, 105: 699-710. 1993.
4. Mengaud, J.; Ohayon, H.; Gounon, P.; Mége, R.M.; Cossart, P.: E-Cadherine is the receptor for Internalin, a surface protein, required for entry of *L. monocytogenes* into epithelial cells. *Cell* 84: 923-932: 1996.
5. Renzoni, A.; Cossart, P.; Dramsi, S.: PrfA the transcriptional activator of virulence genes, is upregulated during the interaction of *Listeria monocytogenes* with the mammalian cells and in eukaryotic cell extracts. *Mol Microbiol* 34(3): 552-561: 1999.
6. Tilney, L.G.; Portnoy, D.A.: Actin filaments and the growth, movement, and spread of the intracellular bacterial parasite *Listeria monocytogenes*. *J. Cell. Biol.* 109: 1597-1608: 1989. □

Los derrames de petróleo en ecosistemas tropicales

Un atentado contra



**Darío Miranda R.,
Ricardo Restrepo M.,**

Asuntos Ambientales,
Instituto colombiano del
Petróleo-ECOPETROL ICP,
Piedecuesta-Sder, Colombia
e-mail:
dmiranda@ecopetrol.com.co
rrestrep@ecopetrol.com.co

el futuro

Colombia, el segundo país de mayor diversidad del planeta después del Brasil, ha sufrido en los últimos años cientos de atentados terroristas que han producido el derrame de miles de barriles de petróleo crudo. Solamente en la línea Caño Limón-Coveñas, más de setecientos cincuenta atentados han causado en cerca de quince años de operación el derrame de alrededor de dos millones y medio de barriles de petróleo, es decir, 9,5 veces la cantidad derramada por el Exxon Valdez en Alaska en 1989, que fue de 260 mil barriles²⁰ y que está considerado como uno de los mayores desastres ecológicos de los últimos tiempos.

Las pérdidas en fauna y flora por estos miles de barriles de petróleo derramados sobre la riqueza biológica, considerada como la "despensa del planeta", las convierte en verdaderos atentados contra el futuro de la humanidad. Justamente, Colombia es considerada hoy como una de las diez "áreas calientes" del mundo, es decir, aquellas áreas que contando con una alta biodiversidad, presentan una alta vulnerabilidad como consecuencia de la intervención humana.⁴

A escala mundial se han estudiado con profundidad los efectos de los vertimientos de hidrocarburos en aguas marinas, pero existe poca información acerca de sus efectos en cuerpos de aguas dulces. Este documento describe las consecuencias ecológicas de los derrames de petróleo sobre ecosistemas colombianos, y con él se espera hacer evidente la necesidad de continuar con el trabajo para estimar en toda su dimensión el costo para las generaciones presentes y futuras de estas acciones.

En cuanto a los sitios de los atentados, el Oleoducto Caño Limón-Coveñas ha sido atacado en diferentes sectores, pero los incidentes se centran principalmente en las cuencas del Magdalena Medio, el Catatumbo y el Arauca. Esta última cuenca aparece como la zona del planeta que más voladuras registra, mientras que el Río Catatumbo recibió el vertimiento más grande de toda la historia de la humanidad,

El Río Catatumbo recibió el vertimiento más grande de toda la historia de la humanidad.

cuando alrededor de noventa y tres mil barriles de petróleo crudo llegaron a su cauce, afectaron una longitud de río cercana a los doscientos cincuenta kilómetros y comprometieron aguas de Colombia y de Venezuela.

La interrelación entre ecosistemas siempre existe: lo que suceda en el suelo va a repercutir en el agua y, a su vez, lo que suceda en el agua repercute en el aire, y a partir de la atmósfera, cualquier cambio que suceda afectará bosques y ríos. Así, en los ecosistemas acuáticos sucede algo similar: lo que suceda en los ríos

repercute en las ciénagas, y viceversa. Esta dinámica íntima y frágil permite que las ciénagas, esteros y lagunas, sean verdaderas "salacunas" de miles de especies de plantas y animales que cumplen las primeras etapas de su ciclo de vida en sus aguas. A través de los ríos se realiza el transporte de infinidad de nutrientes y la dispersión de fauna y flora, que permiten repoblar otros sistemas cenagosos a lo largo de las cuencas.

Esta delicada dinámica se afecta y altera con la presencia de cualquier contaminante y repercute en las actividades propias de cada ecosistema.

Ecosistemas tropicales: redes entrelazadas

Los derrames de crudo en entornos tropicales afectan seriamente la estructura de los ecosistemas, posiblemente extinguiendo especies que aún no han sido descritas por la ciencia y afectando otros ecosistemas que se encuentran entrelazados como una gran "colcha de telar".

Más de setenta por ciento de los derrames de hidrocarburos en Colombia afectan ríos y caños, y cerca de treinta por ciento están asociados a sistemas de ciénagas. El comportamiento de los derrames de hidrocarburos en ríos depende de la carga de sólidos suspendidos propia del río y del caudal y la turbulencia del mismo, los cuales, en conjunto, contribuyen a los fenómenos de emulsificación, solubilización, disolución, dispersión y sedimentación del crudo, que también van a su vez a afectar las poblaciones de ecosistemas cenagosos.¹¹

Los derrames de crudo producen un efecto similar al de una tela cuando se hala una hebra. En el punto de la hebra no se observa

ningún cambio aparente, pero a medida que se recoge el hilo, el tejido estará cada vez más y más flojo hasta que finalmente se descubre que la colcha está totalmente deshecha y ya no hay forma de retroceder. En los ecosistemas, como en la colcha, existen redes de animales y plantas que dependen unos de otros para su existencia. Si por alguna circunstancia algún proceso ecológico se interrumpe de forma permanente, el ecosistema se desestabiliza irreversiblemente y genera efectos impredecibles para la biodiversidad.

Los crudos son una mezcla de hidrocarburos compuestos de diferente peso molecular y amplia variación en sus características físicas y químicas, según su procedencia y origen, y su toxicidad aumenta en las series de parafinas, olefinas y aromáticos,²⁸ en función del número de anillos aromáticos presentes y del grado de alquilación.¹¹ Así mismo, cuanto más pequeña sea la molécula, tanto más tóxica será.^{9,11,24}

Derrames de crudo en aguas dulces

Los derrames de petróleo afectan los ecosistemas naturales tanto en su aspecto físico como en su aspecto biológico. La mancha de crudo flota en el agua, por las diferencias de densidades entre el agua y el aceite, y aunque no impide del todo el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el agua,³² la película del crudo sí evita la entrada de los rayos solares, restringe los procesos de fotosíntesis de las microscópicas algas del fitoplancton, limita la producción natural de oxígeno en la columna de agua y atenta contra su propia supervivencia como primer eslabón de la cadena trófica.

A causa de estos fenómenos inmediatos, y considerando que las aguas de ríos y caños por lo general llegan a un sistema cenagoso, la vida de una ciénaga se altera desde el primer instante en que la mancha hace contacto con el agua. Habitualmente se comenta públicamente el efecto de los hidrocarburos sobre especies vegetales y animales mayores, y pasa inadvertido el impacto en poblaciones no comerciales de los ecosistemas de ciénagas. Sin embargo, la existencia de estas comunidades es fundamental, pues son la base alimenticia de sostén y productora del ecosistema.

La comunidad biológica que primero se afecta es el plancton, que vive indefenso flotando a la deriva en la columna de agua. El plancton

(fitoplancton), que son las responsables de la producción de alimento y oxígeno para el resto de los animales, son inminentemente alcanzadas por los hidrocarburos, que les producen la muerte por impregnación.⁹

Los monitoreos de seguimiento de las comunidades biológicas desarrolladas por ECOPETROL - GCX desde el momento de un derrame han podido detectar durante los primeros días después del derrame un aparente incremento de algas fitoplanctónicas. Pero al observar la estructura de las especies que prolifera



es alcanzado inicialmente por la toxicidad del hidrocarburo y muere luego por la anoxia, que se presenta debido a la falta de oxígeno disuelto en el agua, gracias al consumo acelerado del gas en los procesos de descomposición, que se incrementan tras la muerte de diferentes organismos.^{1,11}

Las plantas acuáticas (macrófitas) y las algas microscópicas

ran, se evidencia la presencia de aquellas especies reconocidas como oportunistas (por ejemplo, las algas cianófitas), las cuales alteran y desplazan la composición del fitoplancton nativo, permiten la dominancia de especies que no participan en las cadenas alimentarias propias del lugar y desestabilizan la estructura biótica del ecosistema.

Al impedir físicamente la entrada de luz solar sobre la superficie del agua, la comunidad del fitoplancton no puede desarrollar su función de producción de oxígeno, que genera una situación anóxica (sin oxígeno) que afecta directamente a toda la columna de agua y, por consiguiente, al resto

de las comunidades de animales presentes.

La recuperación de ecosistemas de agua dulce impactados por un derrame de hidrocarburos depende de la tasa de recuperación de las plantas acuáticas (macrófitas), cuyo papel primordial es conformar pequeños ecosistemas que permiten que otras comunidades, como la de invertebrados y peces, busquen alimento y protección.¹¹ El peor impacto que se detecta en las plantas acuáticas, como en el caso de las algas, es el cambio de su composición.

Un estudio calculó que una concentración superior a un gramo de crudo por kilogramo de peso corporal era suficiente para ocasionar la muerte en las aves.

En los estudios de monitoreo para detectar el impacto generado por los derrames de hidrocarburo del Oleoducto Caño Limón-Coveñas,²⁹⁻³⁰ se ha llegado a la conclusión de que en el caso de la impregnación de plantas acuáticas, aunque parezca paradójico, es menos perjudicial para las demás comunidades la remoción total de las plantas manchadas de crudo (incluyendo raíz), que tratar de mantenerlas en el sistema acuático. Esta situación es asimilada por el ecosistema tropical gracias a la gran dinámica y homeóstasis que permiten un rápido recambio de población y comunidad. Sin embargo, todos los ecosistemas tienen un límite de asimilación, y un desequilibrio serio puede acarrear problemas muy graves en el entorno.

Bioensayos realizados en ciertas especies de plantas acuáticas (*Lemna sp.*) y de algas (*Scenedesmus sp.*) han detectado una inhibición

del crecimiento en vegetales expuestos a extractos de crudo diluidos al 4% y en menos del 1% para especies de algas.¹¹ En las plantas se evidencia amarillamiento de las hojas, pérdida de las raíces y, finalmente, muerte.

Otra comunidad comprometida es la de los "macroinvertebrados", organismos que viven asociados principalmente a las raíces de las plantas acuáticas o nadando libremente en la columna de agua. Estos invertebrados son de vital importancia en la ecología de una ciénaga, ya que son el sustento alimenticio de organismos carnívoros

como peces, cangrejos, ranas y reptiles.⁸

A causa de los efectos mencionados sobre las plantas, sumados a los efectos de narcosis de

algunos hidrocarburos solubles, los macroinvertebrados mueren, a menos que se efectúe una migración masiva antes que la mancha cubra la totalidad de la vegetación flotante y el espejo de agua de la ciénaga.¹ Pruebas de toxicidad realizadas por Ramusino y Zanzottera²³ en aguas de fracción soluble de crudo, en especies de *Asellus sp.*, revelaron concentraciones letales a partir de 15 ml/L a 48 horas de exposición, lo cual indica la baja concentración de mezcla necesaria para observar un efecto o impacto en estas comunidades.

El "Bentos", comunidad de invertebrados que vive en el fondo de ríos y ciénagas, se afecta directamente por la presencia de los hidrocarburos que se precipitan al aglutinarse con los sólidos suspendidos presentes en la columna de agua.^{9,15} El crudo sedimentado, además de generar una demanda de oxígeno alta en el proceso de su degradación e incrementar la ge-

neración de H₂S (Sulfuro de hidrógeno o ácido sulfídrico) por su descomposición bajo condiciones anóxicas, modifica las características físicas de los sedimentos, e impide el establecimiento permanente de esta fauna en los fondos.

Un efecto directo de los hidrocarburos es el bloqueo de las estructuras respiratorias (agallas) de ciertos organismos del bentos, lo que impide el intercambio gaseoso y produce la muerte por asfixia.^{1,9,11} Esta situación hace que sólo sobrevivan aquellas especies que tengan ciertas adaptaciones especiales (como en los tubificidos y chironómidos), que les permitan resistir estas condiciones tan drásticas.

Efectos sobre peces

La comunidad de peces es el indicativo de producción comercial de un cuerpo de agua por representar el componente acuático de mayor relevancia entre la población que lo aprovecha. Es también el grupo animal que evidencia la mayor cantidad de individuos muertos después de una contingencia. No obstante, no es el más afectado, como se puede llegar a pensar, dada su posibilidad de rápido desplazamiento y ciertos mecanismos de defensa que le permite afrontar en cierta medida las condiciones adversas generadas por el vertimiento de hidrocarburos.^{11,19}

Sin embargo, los hidrocarburos tienen un efecto directo sobre los peces, como los que describe Yañez-Arancibia.³¹

-Taponamiento u obstrucción mecánica de los epitelios respiratorios de los peces por el crudo o por sus emulsiones. Como mecanismo de defensa, los peces secretan *mucus* protectores en las agallas que las aísla y les permite su limpieza. En el

caso de una contaminación intensa, este mecanismo es insuficiente y el pez muere por asfixia.

-Alteraciones fisiológicas por las fracciones solubles del crudo. Estas sustancias, al ser ingeridas por los peces, producen modificaciones de metabolismo y de comportamiento reproductivo, o pueden causar cambios morfológicos en huevos y larvas de peces.

Otros efectos directos detectados se producen por la toxicidad propia del hidrocarburo al contacto con el organismo y la inhibición de la sensibilidad superficial en los tejidos, que afecta el equilibrio y altera los patrones de comportamiento.^{1,19}

En términos generales, existen otros efectos indirectos que actúan sobre todos los componentes del ecosistema, que de una u otra forma repercuten sobre ellos:

- Los efectos sobre los organismos que sirven de alimento a los peces.

- Disminución de la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua por inhibición de su producción por la fotosíntesis, a causa de la descomposición de los organismos muertos y la oxidación del crudo. Si la concentración del oxígeno disuelto disminuye a niveles críticos, puede ocurrir una muerte masiva de peces por asfixia, aunque por lo general éstos huyen de las condiciones adversas, siempre y cuando no existan barreras que lo impidan o que el derrame no cubra la totalidad del espejo de agua.

Los resultados obtenidos del caso del derrame Zapatoza en mayo de 1990 evidencian una bioacumulación de hidrocarburos en los tejidos de peces pero que no es permanente, y se observó una depuración

progresiva en un término de 10 meses, posiblemente relacionada con la presencia de remanentes de crudo en el sedimento⁹ y la dinámica estacional de la ciénaga.

Del tiempo de permanencia del crudo en el medio acuático dependen los efectos deletéreos sobre las comunidades de aguas dulces. Las investigaciones revelan que los derrames de crudo tienen efectos diferenciales, según el tipo de ecosistema afectado. En sistemas abiertos como ríos y caños, el efecto es pasajero como consecuencia del rápido lavado por acción de la corriente, mientras que en sistemas cerrados, como ciénagas y esteros, el crudo permanece y tiende a depositarse, por lo que los esfuerzos de protección, limpieza y descontaminación deben ser tan exigentes que permitan contribuir a la mínima permanencia del contaminante en el medio y a la rápida recuperación natural del sistema.

Efectos sobre la fauna terrestre

Dentro de la fauna externa a las ciénagas pero muy asociada a estos ecosistemas se encuentran reptiles, aves y mamíferos. Estas comunidades—consideradas anfibias, pues estos sistemas les proveen de alimento y refugio e incluso algunos desarrollan allí parte de su ciclo de vida—también son afectadas por los derrames de hidrocarburos.

Cuando el derrame sucede, por lo general ocurre una mortandad de peces masiva y súbita. Estos peces quedan a la vista de aves que inmediatamente se lanzan en picado para capturar y quedan atrapadas en el crudo. Algunas veces las aves se lanzan directamente hacia la mancha de hidrocarburo inexplicablemente. Este comportamiento se da porque las manchas iridiscentes que se forman en la superficie del agua confunden a las aves y simulan movimientos de cardúmenes de peces y el ave se lanza a la captura de un



señuelo mortal;¹² o porque ven en el crudo su propio reflejo que las confunde y atrae.

La impregnación de plumas, como la del pelo de algunos mamíferos anfibios, les destruye la capacidad de flotación y el control térmico corporal. Al reemplazarse las cavidades de aire de las plumas o del pelo por crudo, las aves y mamíferos se sumergen y mueren asfixiados. Un estudio¹³ calculó que una concentración superior a un gramo de crudo por kilogramo de peso corporal era suficiente para ocasionar la muerte en aves.

Para anfibios y reptiles, el primer contacto se presenta principalmente por la piel. Los verdaderos anfibios (ranas y salamandras) tienen la piel permeable o semipermeable, que hace que el hidrocarburo penetre fácilmente y les produzca la muerte en corto plazo. Los reptiles (babillas, iguanas, tortugas y serpientes), que contrario a los anfibios tienen piel impermeable, también se ven afectados por el crudo. Si el derrame ocurre estando éstos sumergidos o en aguas abiertas, el hidrocarburo les impregna rápidamente la piel, los hace más pesados, les evita la llegada a la orilla y mueren en el intento. Otro factor importante es el efecto narcotizante de los hidrocarburos volátiles en las primeras etapas del derrame. Estos compuestos aromáticos adormecen al animal, le retardan los reflejos y éste finalmente muere alcanzado por la mancha.¹²

Un impacto indirecto pero importante de considerar es la vía de exposición por ingesta. Aunque los animales impregnados no son utilizados como alimento, el consumo de organismos vivos con hidrocarburo bioacumulado, caso de peces, se convierte en una de las principales vías de penetración corporal de estos compuestos para los organis-

mos que sobreviven, aunque la mancha de crudo ya no esté presente, lo cual genera condiciones crónicas.

Estos efectos incluso pueden alcanzar al hombre, si consume pescado contaminado con crudo. Afortunadamente, es posible detectar la presencia del hidrocarburo por el simple olor a petróleo y rechazar su consumo.

Derrames de crudo en suelo

Sobre la contaminación del suelo con hidrocarburos, hay muy poca investigación referida al impacto sobre la fauna y la flora. La mayoría de la información disponible se refiere a evaluaciones realizadas sobre la vegetación después de un derrame,^{7,14,25} sin mencionar el efecto sobre los microecosistemas del suelo afectado.

En los suelos se desarrollan importantes procesos de biodegradación microbiana y de mineralización. Detrás de estos procesos, hay gran cantidad de organismos vegetales y animales que cumplen funciones específicas dentro de un microecosistema "invisible".

Un estudio²¹ describe la dinámica y la función de los organismos en el suelo, basada en el tamaño de los individuos. Los divide en tres grupos:

- **Microbiota:** responsables de la mineralización de la materia orgánica en el suelo y es la población de mayor aporte respiratorio. Los organismos consumidores de este grupo son el eslabón principal entre los residuos y los animales del suelo. Comprende algas (en su mayoría verde-azuloso), bacterias, hongos, líquenes y protozoarios.

- **Mesobiota:** son básicamente comedores de "detritus", bacterias y algunos son depredadores. Incluyen principalmente artrópodos como larvas de insectos, microartrópodos como ciempiés y milpiés, ácaros y

colémbolos; también anélidos, dentro de los que se encuentran gusanos planos y nemátodos.

- **Macrobiota:** todos los organismos de la macrobiota juegan un papel importante en la acción de mezclar la tierra para mantener la consistencia necesaria y asegurar el intercambio gaseoso. Además, participan en los procesos iniciales de descomposición y mineralización del material muerto de hojarasca y formación de "detritus". Incluye organismos que se pueden separar manualmente con facilidad tales como raíces de plantas, lombrices (las más abundantes del grupo), invertebrados como los insectos, que cumplen fases larvales o de pupa y son considerados como habitantes temporales en este medio. Dentro de este grupo, también se incluyen vertebrados como mamíferos (topos, armadillos, liebres, ardillas), reptiles (serpientes, tortugas y lagartos) y algunas especies de aves visitantes temporales del suelo.

La descomposición de los desechos animales y vegetales forma una capa conocida como "humus", que puede oscilar entre 0,20 m a 1 m de espesor, conformada principalmente por compuestos de origen orgánico y donde habita el ochenta por ciento de los organismos del suelo, los cuales pueden ser más o menos abundantes dependiendo, entre otros, de la disponibilidad de nutrientes, humedad, intercambio gaseoso y temperatura.⁶ Esta capa inicial y viviente se denomina técnicamente "Horizonte A".

Cuando el crudo llega al suelo, impide inicialmente el intercambio gaseoso entre la atmósfera y éste. Simultáneamente, se inicia una serie de fenómenos fisicoquímicos como evaporación y penetración, que pueden ser más o menos lentos dependiendo del tipo de hidrocarburo, cantidad vertida, temperatura, humedad y textura del suelo. Cuan-

to más liviano sea el hidrocarburo, mayor es la evaporación y tiende a fluir más rápidamente por el camino más permeable.

Como el desplazamiento de la fauna del suelo es muy lento, sólo aquellos invertebrados que habitan en la superficie asociados a las plantas como arañas, ciempiés, tijeretas o vertebrados como mamíferos y reptiles (carnívoros de la cadena alimenticia), pueden huir más fácilmente en el caso de un derrame de crudo. En cambio, aquellos que viven bajo la superficie del suelo (principalmente invertebrados de la micro y la mesobiota), los cuales son los que más participan en el proceso de formación del suelo, mueren irremediablemente.

Lo que suceda en el suelo va a repercutir en el agua y en el aire, y cualquier cambio que suceda en la atmósfera, afectará bosques y ríos.

La información existente sobre el impacto del crudo en las poblaciones del suelo se refiere a evaluaciones realizadas en costas contaminadas por derrames de petróleo ocurridos en el mar. Los reportes por el derrame del tanquero "Amoco Cadiz",¹⁰ y más recientemente por el "Exxon Valdez",^{17,22} coinciden en que se produce una mortandad de noventa por ciento de la fauna asociada a costas impregnadas por dichos derrames. Ciertos estudios,²⁷ reportan toxicidad y mortandad de moluscos marinos en playas contaminadas, favorecidas por la acción de oleaje intenso con altos contenidos de hidrocarburo.

Últimamente se están utilizando organismos cuyo hábitat es el suelo como indicadores de contaminación, como es el caso de la lombriz de

tierra (*Lumbricus terrestris*), la cual absorbe los contaminantes a través de los tejidos y los acumula en las vías digestivas.²⁶

Efectos sobre la vegetación

En cuanto a la vegetación, se han realizado investigaciones más específicas, enfocadas hacia especies de interés económico como pastos y especies cultivables y maderables. Tal vez, las primeras investigaciones son las realizadas por Baker,³ que evaluó respuestas fisiológicas de plantas expuestas a diferentes tipos de hidrocarburos (saturados e insaturados) y encontró una reducción en la respiración, transpiración, fotosíntesis, germinación y crecimiento. Así mismo, determinó resistencia de algunas especies a diferentes hidrocarburos, basado en el tipo de corteza de cada planta evaluada.

Baca² y colaboradores evaluó la vegetación afectada por derrames continentales ocurridos en diferentes estados de Norteamérica. Igualmente, Mendelsohn¹⁸ reportó una reducción del sesenta y cuatro por ciento de la cobertura vegetal de un pantano a causa del derrame ocasionado por el rompimiento de un oleoducto ocurrido cerca de Nairn, Louisiana. El autor acredita esta alta mortalidad al porcentaje de área foliar (30% - 70%) cubierta por el crudo y a la incorporación del mismo en los sedimentos del pantano.

Klokk¹⁶ realizó montajes experimentales para evaluar el efecto de los hidrocarburos sobre plantas de interés agroindustrial, cuyo objetivo fue determinar el efecto en la germinación y crecimiento vegetativo de cinco especies de pastos sometidos

a diferentes concentraciones de crudo en el suelo, desde 0,1 L/m³ hasta 5,0 L/m³. Klokk concluyó que hay una inhibición en la germinación del trébol común (*Trifolium repens*) y un marcado retraso en el crecimiento vegetativo de todas las plantas evaluadas.

Berteigne⁵ evaluó el efecto de los hidrocarburos poliaromáticos (PAH's) en ecosistemas forestales y plantas maderables, y demostró un efecto de necrosis foliar (muerte de la hoja).

Todas estas investigaciones adelantadas por científicos de diferentes partes del mundo permiten establecer que los efectos de sustancias contaminantes en el suelo, como los hidrocarburos, no sólo afectan las plantas, sino que también involucran otros microecosistemas, los cuales interactúan directamente con la vegetación y son imprescindibles en los procesos de formación de suelos, permanencia de los ciclos de nutrientes, eslabones en cadenas alimenticias de ecosistemas terrestres (incluyendo planos inundables y humedales) y que finalmente llegan al hombre.

En las labores de limpieza y recuperación de una zona afectada, es importante asegurar un enriquecimiento del área con suelo nuevo para establecer en la zona la fauna necesaria para la formación de suelo y repoblar la zona con individuos que aceleren el proceso de restablecimiento del microecosistema.

En este sentido, cuando un derrame ocurre y afecta una porción de suelo, el esfuerzo se dirige a extraer la mayor cantidad del crudo presente, incluyendo las porciones infiltradas, mediante mecanismos de apertura de zanjas que conduzcan el crudo hacia una zona de recolección. El suelo impregnado se retira para su biodegradación en un sitio acondicionado para ello o se realiza biodegradación *in situ*, mediante aireación, suministro de

nutrientes y humectación constante. Algunas veces se aplican bioestimulantes, que aceleran el proceso de degradación.

El suelo así recuperado puede tener oportunidad de servir nuevamente en las labores agrícolas, pero existen serias dudas con respecto a la presencia de metales pesados, que por lo general siempre están en alguna concentración contenidos en los hidrocarburos. A este respecto, aún la tecnología no es definitiva para remover estos metales de los suelos contaminados, por lo que el suelo recuperado del derrame debería únicamente utilizarse para labores de jardinería o silvicultura o ambas.

De la experiencia en el manejo de contingencias se sabe que las primeras etapas de un derrame son las más críticas en términos de ecosistema. En ellas se genera la mayor cantidad de pérdidas de biota. Por tanto, la respuesta operativa, convenientemente organizada bajo el esquema de un Plan de Contingencia, debe estar orientada a controlar el avance del derrame y limitar su acción destructiva, con lo que pueden reducirse considerablemente los efectos sobre el entorno, especialmente en aquellos sistemas naturales catalogados como sensibles y estratégicos.

Por ello, la planeación de contingencias, además de prever las acciones de respuesta encaminadas al control de la emergencia desde el punto de vista netamente operativo, debe contemplar, además, la identificación completa de las condiciones de los ambientes del área de influencia de las instalaciones objeto de la planeación. Con esta información y datos acerca de la capacidad de respuesta específica, es posible plantear alternativas que verdaderamente reduzcan los riesgos de contaminación, por reducción de los efectos (consecuencias) del derrame sobre el medio.

Bibliografía

1. **Alcázar, F.:** Aspectos ecológicos de los derrames de petróleo. IMCO/CPPS/PNUMA. Curso internacional sobre derrames de petróleo. Chile. 1981.
2. **Boca, B.J.; Getter, C.D. and Lindstedt, J.D.:** Freshwater oil spill considerations: protection and cleanup. Oil Spill Conference, 1985: 385-390. 1985.
3. **Baker, J.M.:** The effects of oils on plants. Environ. Poll. 1: 27-44. 1970.
4. **Becerra, M.:** ¿A quien le importa la biodiversidad en Colombia?. Cap. 13. Nuestra diversidad biológica. Ed. CEREC. Serie ecológica No. 5. Bogotá. 1993.
5. **Berteigne, M.; Rose, C.; Gerard, J. and Dizengremel, P.:** Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the forest ecosystems and woody plants. Ann. Sci. For. 46: 561-564. 1989.
6. **Chamorro, C.H.:** Las lombrices de tierra (Macrofauna) en correlación con las características químicas del Páramo de Sumapaz. Investigaciones, 2(1): 21-45. 1990.
7. **Coover, M.P. Sims, R.C. and Doucette, W.:** Extraction of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from spiked soil. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 70(6): 1018-1020. 1987.
8. **Engel, S.:** Aquatic community interactions of submerged macrophytes. Technical Bulletin N. 156. Department of Natural Resources. Wisconsin. 1985.
9. **George, J.; Viña, G.; Ramírez, A. y Mojica, J.I.:** Manual de métodos de monitoreo biológico con aplicación en la Industria del Petróleo. ECOPEPOTOL-DCC-DIT. Bogotá. 1991.
10. **Glemarec, M.:** Ecological impact of an oil spill: utilization of biological indicators. Wat. Sci. Tech. 18(2): 203-211. 1986.
11. **Green, J. and Trett, M.W.:** The fate and effects of oil in freshwater. Elsevier Science Publishers LTD. London. 1989.
12. **Hartung, R.:** Assessment of the potential for long-term toxicological effects of the Exxon Valdez oil spill on birds and mammals. ASTM STP 1219, 693-725. 1995.
13. **Hartung, R.:** Energy metabolism in oil covered ducks. J. Wild. Manage. 31: 798-804. 1967.
14. **Holloway, M.:** Soiled Shares. Sci. Amer. (October): 102-116. 1991.
15. **Huang, C.P. and Elliot, H.A.:** The estability of emulsified crude oils as affected by suspended particles. en: Viña, G. 1990. Toxicidad de los hidrocarburos. Curso de control de derrames de hidrocarburos. ECOPEPOTOL-DCC. Cúcuta. 1977.
16. **Klokk, T.:** Effects of oil pollution on the germination and vegetative growth of five species of vascular plant. Oil Petr. Poll. 2 (1): 25-30. 1984.
17. **Maki, A.W.:** The Exxon Valdez oil spill: initial environmental impact assessment. Environ. Sci. Tech. 25(1): 24-29. 1991.
18. **Mendelsohn, I.A.; Hester, M.W.; Sasser, CH. and Fischel, M.:** Effect of a Louisiana crude oil discharge from a pipeline break on the vegetation of a Southeast Louisiana brackish marsh. Oil Chem. Poll. 7 (1): 1-15. 1990.
19. **Mojica, J.I. y Viña, G.:** Ictiología del Rio Catatumbo y su relación con un derrame de Petróleo. ECOPEPOTOL-DCC. Cúcuta. 1990.
20. **Neff, J.M. and Stubblefield, W.A.:** Chemical and toxicological evaluation of water quality following the Exxon Valdez oil spill. ASTM STP 1219: 141-177. 1995.
21. **Odum, E.:** Ecología. Interamericana, Mexico. 639pp. 1972.
22. **Owens, E.H.:** Shoreline conditions following the Exxon Valdez spill as of fall 1990. Presented at the 14th Annual Arctic and Marine Oil Spill Program. Technical Seminar. (June), 49pp. 1991.
23. **Ramusino, M.C. and Zanzottera, D.:** Crude Dubai oil toxicity on some freshwater invertebrates. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 36 (1): 150-158. in GREEN, J. and TRET, M.W. 1989. The fate and effects of oil in freshwater. Elsevier Science Publishers LTD. London. 1986.
24. **Rice, S.D.; Short, J.W. and Karinen, J.F.:** Comparative oil toxicity and comparative animal sensitivity. en: Viña, G. 1990. Toxicidad de los hidrocarburos. Curso de control de derrames de hidrocarburos. ECOPEPOTOL-DCC. Cúcuta. 1977.
25. **Rittmann, B.E. and Johnson, N.M.:** Rapid biological clean-up of soils contaminated with lubricating oil. Wat. Sci. Tech. 21(2): 209-219. 1989.
26. **Root, M.:** Biological monitors of pollution. Bio Science, 40(2): 83-86. 1990.
27. **Santelices, B.; Cancino, J.; Moncada, S.; Pinto, R. y González, E.:** Estudios ecológicos en la zona costera afectada por contaminación del «Northern Breeze». II. Contaminación de playas de rocas. Medio Ambiente, 2(2): 65-83. 1977.
28. **Scott, B.F.; Dutka, B.J.; Sherry, J.P.; Glooschenko, V.; Wade, P.J.; Tylor, W.D.; Nagy, E.; Snow, N.B. and Carlisle, D.B.:** Impact of oil and oil-dispersant mixtures on freshwater pond ecosystems. Scientific Series N. 130. National Water Research Institute. Ontario. Canada. 1982.
29. **Viña, G.; Restrepo, R.; Mojica, J.I.; Pabon, M.; Contreras, M. y Santos, S.:** Estudio ecológico de las zonas afectadas por derrames de petróleo durante 1988, en el área de influencia del Oleoducto Caño Limón - Coveñas. ECOPEPOTOL-DCC-ICP. Cúcuta. 1991.
30. **Viña, G.; Ramírez, A.; Lamprea, L.T.; Smith-Mum, U.; Flórez, C.; y Garzón, M.B.P.:** Ecología de la ciénaga de Zapatozo (Cesar - Colombia) y su relación con un derrame de petróleo. ECOPEPOTOL-DCC. Cúcuta. 1993.
31. **Yáñez-Arancibia, A.:** Ecología de la zona costera. AGT Editor. México, D.F. 1986.
32. **Wardely-Smith, J.:** The control of Oil Pollution. Graham & Trotman Publishers. London. □



Computación, Psicología y Educación

José I. Navarro Guzmán

Catedrático, Psicología.

Director, Departamento de Psicología

Universidad de Cádiz, Campus Río San Pedro,

Puerto Real-Cádiz, España

e-mail:jose.navarro@uca.es

Probablemente la mente humana no está convenientemente adaptada para comprender en toda su extensión el concepto matemático de "crecimiento exponencial". Un ejemplo que les gusta usar a los matemáticos para ilustrar este concepto es la resolución del siguiente problema hipotético: si doblamos una hoja de papel por la mitad, su grosor será de apenas 0,5 milímetros de espesor. Pero ¿cuánto será el espesor de esa hoja si la doblamos 50 veces? La respuesta parece increíble: 114 millones de km de espesor. Es la distancia que nos separa de la Tierra al planeta Marte. Esto es el crecimiento exponencial. Justamente es este tipo de crecimiento lo que hemos venido observando en la informática en los últimos 40 años. En efecto, si comparamos cómo han crecido las aplicaciones que nos ofrecen los computadores del año 2000 respecto a las que ofrecía el ordenador ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer), desarrollado en Philadelphia (Estados Unidos) en los años de la *guerra fría*, tendremos un buen ejemplo. La capacidad de memoria se ha multiplicado por varios millones, y el espacio que ocupan se ha reducido unas treinta mil veces.

Crecimiento exponencial de la industria informática

Lo cierto es que cada cuatro años disponemos de computadoras

que son más rápidas, más pequeñas, más baratas y realizan más funciones que sus homólogas de sólo un lustro anterior. Se dice que la velocidad de procesamiento de un computador sigue la Ley de BBBB; esto es, su capacidad y velocidad de procesamiento se duplican cada 18 meses. Si la industria del automóvil se hubiera desarrollado al mismo ritmo que lo ha hecho la microelectrónica en la segunda mitad del siglo XX, hoy podríamos conducir un Mercedes que corriese a la velocidad de la luz, con un precio de venta al público de 3000 dólares; o bien, podríamos conducir un auto más lento, capaz de correr a 150 km/h., pero cuyo precio sería de un centavo.

Cambios tecnológicos y sociedad

Semejantes cambios no pueden pasar inadvertidos. Sus efectos están teniendo un impacto en la sociedad de muy diversas maneras. Económicamente, no dejan de impactar sobre el sistema. La empresa Intel, fabricante de los procesadores Pentium, duplica su valor cada cuatro años. El portal de internet más visitado del mundo, Yahoo, creado hace cinco años por dos estudiantes de la Universidad de Standford (Jerry Yang y David Filo), tiene una capitaliza-

ción en bolsa de mil millones de dólares. El propio Jerry Yang, que contaba el año de la fundación de su empresa 26 años, dice: "*asombrosamente, hace cinco años ofrecíamos un servicio muy simple: un conjunto de direcciones favoritas para diversión de los compañeros de clase*". Hasta su nombre parece una broma: Yahoo! (Just Another Herarchical Officious Oracle)... pero no lo es. Hoy Yahoo es la marca más famosa de internet, está entre las empresas con más peso en el Nasdaq de la bolsa de New York (comenzó cotizando a 13 dólares la acción y ha habido épo-

Cada cuatro años disponemos de computadoras que son más rápidas, más pequeñas, más baratas y realizan más funciones que sus homólogas de sólo un lustro anterior.

cas en que se ha puesto a 400 dólares), crece a un ritmo de un cinco por ciento anual y da trabajo a 2000 empleados.

El golpe de efecto más sorprendente que se ha dado en los últimos años con relación a la industria informática fue el lanzamiento comercial del Windows 95, el sistema operativo por excelencia de la empresa estadounidense Microsoft, radicada en Seattle. En aquella época, el autor se encontraba trabajando en el Departamento de Educación de Ohio State University como profesor visitante, y pudo seguir de cerca el proceso. Como a veces nos ocurre con las cosas de la informática, parece que ha pasado un siglo, pero sólo han sido cinco años, y ya pertenece a la *Historia Antigua* de la Informática. La puesta en escena de la promoción estaba dirigida a conseguir vender cien millones de

sistemas operativos. En aquella época se calculaba que había disponibles unos cien millones de computadoras personales en el mundo. Ni qué decir que en poco más de un año el objetivo fue cumplido con creces. Bill Gates hizo una inversión de 150 millones de dólares en la promoción, y consiguió dos hitos importantes en ésta: Que los Rolling Stones le vendieran los derechos de autor de su canción *Start me up* (15 millones de dólares, ganaron los chicos de Mick Jager), y comprar la edición completa de la revista *Time*, donde aparecía la publicidad del sistema operativo, que distribuyó gratuitamente. Además, aprovechando el movimiento giratorio de rotación de la Tierra, el propietario de la compañía, Mr. Bill Gates, inició la promoción en Australia y continuó por los países con dirección occidental, aprovechando el "nacimiento" del Sol. Para más efecto, a todos los niños australianos nacidos ese día les regaló un ejemplar del sistema operativo Windows 95. Ni siquiera Coca-Cola o McDonald's, habían hecho una promoción tan espectacular y llena de simbología.

Inteligencia artificial y préstamos bancarios

Si uno quiere pedir un préstamo al banco para comprarse una casa, la decisión que toma el banquero tiene dos partes: la primera es puramente algorítmica. Existe un algoritmo conocido que hace ya muchos años fue programado en BASIC, y que le permite al banquero decirnos cuántos son los intereses del préstamo, cuántos los años de amortización y cuánto tendremos que pagar cada mes para devolverle su dinero. Ésta es la parte sencilla de la operación. El

conocimiento es algorítmico cuando los datos de salida son resultado de la aplicación de una fórmula o algoritmo conocido a partir de unos datos de entrada también conocidos. Pero hacer un préstamo implica un riesgo, una incertidumbre, un conocimiento que no es algorítmico, sino impreciso (la evolución futura del precio del dinero, la disponibilidad de efectivo del cliente en un futuro, su salud, ¿quizás es un timador? etc.). Implica la utilización de una cierta "lógica difusa", porque nada nos garantiza que el dinero será devuelto en su totalidad. Y, sin embargo, los bancos suelen tener enormes beneficios a partir de los préstamos que hacen a sus clientes. Esta segunda parte de la operación de toma de decisiones que hace el banquero no se puede programar con BASIC o con cualquier otro lenguaje de programación algorítmico, porque el algoritmo es desconocido o inexistente.

Existen dos clases de informática: la informática tradicional o algorítmica: aquella que el usuario utiliza todos los días, la de los procesadores de textos, las bases de datos, los programas de control de existencias, etc. Y una informática basada más en sistemas de

computación no algorítmicos, que trata de emular el sistema de funcionamiento de la mente humana, que no está basada en mecanismos exhaustivos de funcionamiento sino que toma sus decisiones sobre la base de una cierta lógica difusa que ha dado lugar a la llamada *inteligencia artificial*.

El psicólogo de la Universidad de Harvard Howard Gardner en 1988 estableció el llamado *hexágono cognitivo*, que resumía las diferentes disciplinas científicas que componían el estudio de la compleja maquinaria mental del hombre. Entre las diferentes disciplinas destacaban cuatro por su peso en la investigación actual: la Psicología, por cuanto nos permite conocer los procesos de funcionamiento de nuestra mente; la Neurociencia, como conocimiento del soporte fisiológico de la mente humana; la Lingüística, dado que nuestra mente tiene en el lenguaje un signo de diferenciación específica original; y la Inteligencia Artificial (IA), que ha sido la forma de emular los sistemas de computación de la mente humana.

Una partida de ajedrez

Hablar de *inteligencia artificial* es algo que suele levantar

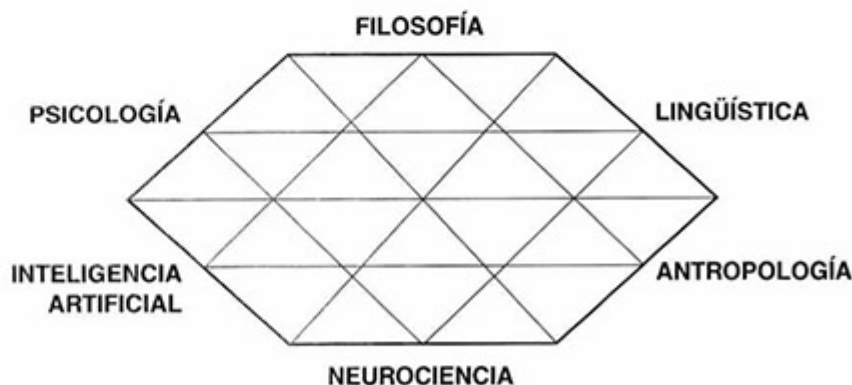


Figura 1. Hexágono cognitivo de H. Gardner.

ampollas. Entre otras cosas porque el término *inteligencia* ya es de por sí confuso para los psicólogos, como el propio H. Gardner y R. Sternberg se han encargado de recordarnos en múltiples publicaciones. Pero se han dado algunos avances curiosos en Inteligencia Artificial en los últimos años. En 1997, se produjo en New York un acontecimiento que estaba relacionado con el deporte, el mercadeo y la investigación cognitiva. Se trataba de la competición entre el campeón mundial de ajedrez G. Kasparov y el computador *Deep Blue*, un dispositivo creado por los

ingenieros y neurocientíficos de IBM. Los aficionados a la prensa deportiva pudieron seguir las partidas desarrolladas entre el hombre y la máquina, que concluyeron con la victoria de ésta, nunca ocurrida en los enfrentamientos anteriores. Lo interesante de aquel acontecimiento, desde un punto de vista psicológico, fue que la emulación del funcionamiento de la mente del ajedrecista hizo posible que el computador utilizará también sistemas de selección de movimientos no exhaustivos. Probablemente un cerebro como el de Kasparov es capaz de anticipar de 60 a 100 posibles movimientos de piezas, pero sólo 10 ó 12 serán realmente útiles para la partida. Y esto es lo que hace un gran maestro como Kasparov. No necesita tener una portentosa memoria como la de *Deep Blue*, porque el cerebro humano, dado que tiene problemas de limitación de su almacén de datos (la memoria humana es de *naturaleza porosa*, decía Jorge Luis Borges), emplea estrategias cognitivamente más económicas que la memoria, menos exhaustivas, más eficaces, aunque

con más riesgo de error. Precisamente el tipo de informática que ha dado lugar a la Inteligencia Artificial fue capaz de aproximar el funcionamiento de *Deep Blue* al sistema de toma de decisiones de Kasparov, a lo que se añadió un conocimiento exhaustivo de todas las partidas de ajedrez documentadas en el siglo XX. Es lo que llamamos el uso de un *sistema*

La Inteligencia Artificial ha sido la forma de emular los sistemas de computación de la mente humana.

experto, que es la emulación de computación del sistema de resolución de problemas que desarrolla un experto ante una tarea determinada. El uso de sistemas expertos hoy día es muy frecuente en la industria aeronáutica, la automotriz o la energética. También en Medicina y Psicología se han utilizado sistemas expertos para el diagnóstico diferencial de enfermedades.⁶

Estos ejemplos son interesantes para los neurocientíficos porque plantean la posibilidad de poner en el plano de la discusión científica (y no de la simple especulación) las posibilidades que realmente tienen los computadores del futuro de realizar tareas cada vez más próximas al razonamiento humano. Pero ya es una tecnología disponible, por ejemplo en el campo de la industria nuclear, donde un sistema experto es capaz de detectar averías de difícil localización, o de los negocios bancarios, que establecen sus sistemas de evolución de los valores bursátiles. También en el mundo de la educación cada vez es más frecuente convivir con estos sistemas. Hoy

disponemos de sistemas de simulación de operaciones quirúrgicas, que se están empleando en la formación de cirujanos mediante realidad virtual. O procedimientos multimedia para entrenamiento de pilotos de aeronaves.

Obviamente, no tendremos que recordar aquí que las limitaciones de emulación del funcionamiento de la mente humana son enormes, entre otras cosas porque no tenemos un conocimiento completo de cómo funciona en realidad. Y que resultará muy difícil que los ingenieros que crearon *Deep Blue* sean capaces de resolver el problema de la creatividad de la mente humana. De alguna manera, como decía el psicólogo A. Gessel, la mente humana se parece a uno de los mapas del siglo X que aparecen en los libros de Geografía. En él había grandes verdades comprobadas y grandes imprecisiones que la investigación empírica ha demostrado que eran incorrectas.

Multimedia

Los conocimientos adquiridos por la informática algorítmica y no algorítmica, aplicada a muy diversas áreas, nos han situado en los últimos cinco años en un campo que está invadiendo muchos de los aspectos de nuestra vida. Lo que N. Negroponte, director del laboratorio multimedia del Instituto Tecnológico de Massachusetts, llama *mundo de bits* es la informatización de aspectos insospechados de nuestra vida cotidiana. Él lo define como el futuro digital que ya ha llegado, y hace referencia a un poeta griego del siglo V a.C. para ilustrar el poder de la iconografía. Simónides de Ceos era famoso por poseer una portentosa memoria. Durante un banquete, el techo de la sala se derrumbó

sobre los comensales y produjo una mortandad entre ellos. Afortunadamente, él se pudo salvar porque había salido de la sala minutos antes de derrumbarse. Simonnides pudo identificar los cadáveres por el lugar donde cada uno estaba sentado. El método que utilizaba para recordarlo era la asociación de áreas específicas de una imagen espacial de la mente con objetos materiales.⁵ Esta estrategia se viene utilizando hoy día para mejorar la capacidad de recuerdo de personas que padecen de amnesia. Lo que es visual nos llama tanto la atención que incluso para un miope la comida sabe mejor cuando lleva sus gafas puestas.

Esta predominancia de la imagen ha llevado a desarrollar un amplio campo de estrategias basadas en el impacto de lo icónico. Los expertos en publicidad ya sabían esto desde hace muchos años, y hoy estamos en un momento donde se pueden presentar conjuntamente la información por diferentes canales sensoriales. Esto es la multimedia. El valor añadido que puede tener un procedimiento pluridimensional como la multimedia es que nos

permite una *descentralización* mental. La mente humana generalmente tiende a ser muy centralizada. Michel Resnick lo describe bien en su libro *Tortugas, termitas y atascos de circulación*. Tenemos el condicionamiento de atribuir siempre una jerarquía de control central de un fenómeno complejo. En una época del año, en los cielos del campo de Gibraltar (muy cerca de Cádiz, donde vive el autor) se ven bandas de grullas migratorias que vuelan hacia el Sur formando una enorme V en el aire. Nuestra tendencia es pensar que el pájaro que va en el vértice es el jefe y dirige a los demás miembros de la banda. Pues no es así, dice Resnick. La formación en V es la resultante de un conjunto de comportamientos individuales que siguen sencillas reglas armónicas sin necesidad de liderazgo.

El lector puede hacer un sencillo experimento que el propio Resnick expone en sus conferencias. Pida a un auditorio de 1000 personas que aplaudan al unísono. Sin necesidad de nin-

guna dirección nuestra, las 1000 personas terminarán batiendo palmas siguiendo un solo ritmo. La coherencia puede aparecer a partir de elementos independientes, y quizás la inteligencia no se encuentra en ningún procesador central, sino en el comportamiento colectivo de un conjunto de procesadores específicos e interconectados.

Educación y nuevas tecnologías

B. F. Skinner, padre del conductismo norteamericano y autor de numerosos trabajos científicos sobre aprendizaje, fue invitado un día por la dirección del colegio de su hija a pasar una jornada en el centro, conviviendo con niños y profesores. Un tiempo después escribió un libro titulado *Tecnología*

Un software interactivo "saca al cerebro del niño del punto muerto" en que lo sitúan los programas de televisión.

de la enseñanza en el que decía que tras sentarse un buen rato en el aula donde su hija recibía clases, comprobó cómo sistemáticamente se estaban incumpliendo todas y cada una de las leyes del aprendizaje que él había descubierto tras muchos años de investigación. Poco de lo que allí se estaba haciendo tenía que ver con una perspectiva científica de lo que el aprendizaje exigía.

Aristóteles, el filósofo griego que fue tutor de Alejandro Magno y que vivió durante el siglo III a.C. era, además, un experto cirujano. Una de sus ocupaciones fue enseñar prácticas de cirugía de combate al propio Alejandro, dado que



por aquel entonces también era muy frecuente que la humanidad estuviese involucrada en guerras que originaban muchos heridos, que necesitaban de cirujanos de urgencia. Si Aristóteles se trasladase a un quirófano de un hospital moderno, probablemente no reconocería nada de lo que en él se encuentra ahora, comparado con el escaso instrumental que él utilizaba en sus enseñanzas. Sin embargo, si pusiésemos esa misma máquina del tiempo a funcionar y lo trasladásemos a una escuela actual, podría sin duda continuar dando sus enseñanzas como si no hubiesen transcurrido 2300 años.

Aunque estos ejemplos son extremos, reflejan una situación real. Los avances no llegan por igual a todos los ámbitos sociales. El sistema educativo es poco amante de cambios. Como los elefantes, su funcionamiento exige movimientos lentos. Cualquier nuevo procedimiento requiere una cadencia de tiempo muy dilatada, incluso en los países más desarrollados. Una de las recientes encuestas realizadas entre profesores de primaria en los Estados Unidos, señalaba que el ochenta y cuatro por ciento de los maestros sólo consideraba como tecnología educativa indispensable el disponer de una fotocopiadora con suficiente papel. A pesar de que estos datos contrastan con la tecnología educativa disponible, las estadísticas oficiales señalan que en el noventa y cinco por ciento de los centros educativos en Estados Unidos disponen de computadores. Esas mismas estadísticas nos indican que una mayoría de los hogares también disfrutaban de al menos un computador personal con lector de CD-rom. Esta información es convergente con los datos disponibles en la mayoría de los países europeos más desarrollados.

Sin embargo, disponer de computadores en los centros educativos no convierte estos dispositivos electrónicos en útiles por sí mismos. El grupo de investigación sobre Aprendizaje Asistido por Ordenador, del Departamento de Psicología de la Universidad de Cádiz (España) realizó hace unos años un sondeo sobre la disponibilidad de equipos informáticos en nuestro distrito escolar. La situación no era tan optimista como en Estados Unidos, pero una buena parte de los centros escolares disponían de algún equipo informático, situación que en los últimos años ha mejorado cuantitativamente. Otra cosa es el uso que de esos equipos se hace por parte del profesorado. Y parece que la actitud de estos profesionales hacia la informática educativa es esencial.

Existen tres requisitos imprescindibles para garantizar que las nuevas tecnologías tengan impacto en el sistema educativo. (1) La actitud y formación del profesorado; (2) la disponibilidad de *software* de calidad; y (3) la periódica actualización de los equipos y su mantenimiento.

(1) La actitud y formación del profesorado

La informática desencadena tres clases de actitudes entre los docentes. O bien una atracción exagerada, que sitúa en las nuevas tecnologías unas expectativas muy por encima de su valor real. Esto es todavía más exagerado cuando de las posibilidades de internet se trata. Hay docentes que sustituirían su contacto con los alumnos por clases "on line". Naturalmente que internet dispone de un potencial enorme. La información de los más variados contenidos y utilidades está disponible desde una terminal informática, pero el conocimiento que esa información

implica un esfuerzo que no es automático. Frente a esta actitud que relega la función del profesor a la de un experto informático, nos encontramos la opuesta, en la que siente la implantación de las nuevas tecnologías como una amenaza para su tarea profesional y rechaza de muy diversas maneras la introducción de estos dispositivos en sus sistemas de enseñanza. Finalmente, diríamos que existe una extendida tendencia entre los profesores a admitir las nuevas tecnologías de la educación como una herramienta útil, con un potencial de uso que se acrecienta con la mejora de los avances tecnológicos y que terminará formando parte del mobiliario escolar. A la implantación de esta opinión ha contribuido la aparición de la enseñanza vía internet y el abaratamiento de los costos de los equipos. Esta actitud es favorable a una formación cualificada en el uso de la informática como sistema de distribución del conocimiento, sin desprestigiar el imprescindible contacto profesor-alumno. Es una tendencia cada vez más extendida en todos los niveles educativos y que resulta imprescindible en una sociedad del conocimiento como la nuestra.

(2) La disponibilidad de *software* de calidad

La disponibilidad de *software* de calidad es un requisito de máxima importancia. La informática educativa no debería ser la prolongación de la *Play Station* al aula (por muy entretenida que sea aquella). Un uso educativo del *software* exige un considerable control de calidad del mismo. El *software* repetitivo, que lleva a la pantalla contenidos prácticamente idénticos a los de los libros de texto debiera abandonarse, al menos como instrumento de difusión del conocimiento. Desde un punto de vista del desarrollo

psicológico, no cabe duda de que la lectura tradicional tiene un valor tremendo en la formación de las estructuras del conocimiento y razonamiento abstracto del niño. Por contraste, la visualización pasiva de un texto o una imagen en la pantalla del computador hace que el cerebro quede como en un *punto muerto*, donde la pasividad hace que nada se aprenda. En estos momentos, la disponibilidad de *software* educativo en el mercado es enorme. Y entre tanta cantidad, deben existir también programas de calidad. Nuestro grupo de investigación ha dedicado casi una década al diseño de *software* educativo.^{1,3,4} Y han sido muchos los programas que hemos podido probar. Creemos que hay una regla que puede seguirse para valorar la calidad educativa de un programa informático: la interactividad operador-máquina. Diríamos que a mayor interactividad, el potencial de aprendizaje del *software* es mayor. Un *software* interactivo "saca al cerebro del niño del *punto muerto*" en que lo sitúan los programas de televisión. Hubo un tiempo ya pasado en que algunos creían que era posible aprender un idioma extranjero sin esfuerzo. Bastaba con acostarse con un casete y así nuestro inconsciente iría haciendo el trabajo duro mientras dormíamos. La realidad es tozuda y contundente: no existe el aprendizaje pasivo y sin esfuerzo. Una de las tendencias que deben ser corregidas en los programas educativos informatizados es la tendencia a homogeneizar el contenido. Existe el peligro de que no se cuente con la riqueza potencial del usuario de este tipo de programas. Su contraparte estará en la versatilidad del diseño y en la interactividad de su estructura.

(3) La periódica actualización de los equipos y su mantenimiento

El costo de una computadora es todavía muy alto, teniendo en cuenta el mercado que tiene, la materia prima de la que está hecha, los beneficios que proporciona y lo pronto que se queda obsoleta. Por ello, cuando un centro educativo accede al uso de las nuevas tecnologías, el consejo es que mantenga las computadoras el mayor tiempo posible en uso. Es la única manera de amortizar la inversión.

El trabajo docente de un profesor exige tiempo de planificación, y la improvisación no es lo más apropiado. Entre tanto, las computadoras son máquinas que requieren un mínimo de aprendizaje de uso, a pesar de que cada vez los fabricantes tratan de facilitarles las cosas al usuario. En ocasiones parece que los diseñadores trataran de hacerle la vida imposible al usuario no experto, y los manuales de ayuda del *software* parecen hechos por y para ingenieros. Si el teléfono fuese tan complejo de usar como una computadora, su uso no se habría generalizado. Por ello, creemos que la generalización de la informática educativa exige que su uso sea diáfano para un usuario no experto, pero debe tener una formación adecuada. Además de sencillez de uso, hay un componente de intención que también resulta necesario prever. Nos referimos al mantenimiento y actualización de los equipos. Una inversión en tecnología educativa debería considerar un diez por ciento de la misma en tareas de mantenimiento y al menos otro diez por ciento anual en fondos para actualizar los mismos. La razón del mantenimiento es que si a la complejidad del uso le añadimos su deterioro, el profesor tendrá mayor resistencia

a adoptarlo en su metodología de enseñanza. La razón de la inversión en actualización está relacionada con la naturaleza de la propia industria informática, el rápido crecimiento de sus prestaciones y el progresivo abaratamiento de los costos.

Estos tres requisitos podrán hacer más fácil la penetración de la informática en el sistema educativo. No obstante, el conocimiento no es algo que se asocie automáticamente con la computadora, a pesar de que algunos sigan utilizando la expresión "cerebro electrónico" para referirse a ella. A este respecto, recordemos la anécdota del filósofo español José A. Marina relativa al aprendizaje vía Internet: parece que un patricio romano quería llegar a ser un hombre muy sabio en su ciudad, y ordenó a cada uno de sus esclavos que se aprendiese un libro de memoria. De esa manera, alimentaba la ilusión de haber llegado a ser un sabio de Roma. Pero no era más que una ilusión.

Lecturas recomendadas

1. Alcalde, C.; Navarro, J.I.; Marchena, E.; Ruiz, G.: *Acquisition of basic concepts by children with intellectual disabilities using a computer assisted learning approach*. Psychological Report 82, 1051-1056. 1998.
2. Navarro, J.I.: *Aprendizaje y memoria humana*. Madrid: McGraw Hill; 1993.
3. Navarro, J.I.; Alcalde, C.; Marchena, E.; Ruiz, G.: *Jugar con... formas, colores y posiciones corporales*. *Software educativo*. Cádiz. Departamento de Psicología de la Universidad de Cádiz; 1994.
4. Navarro, J.I.; Ruiz, G.; Alcalde, C.; Marchena, E.: *Cómo mejorar tus habilidades mentales*. *Software educativo*. Cádiz. Departamento de Psicología de la Universidad de Cádiz; 1997.
5. Negroponte, N.: *El mundo digital. Un futuro que ya ha llegado*. Barcelona: Ediciones B; 1999.
6. Zaccagnini, J.I. y Adárraga, P.: *Psicología e Inteligencia Artificial*. Madrid: Trotta; 1994. □

Fecha de suscripción
D | M | A

Forma de pago:

Efectivo Cheque Crédito

Consignación: Asociación Colombiana
para el Avance de la Ciencia

Colmena **010-4500246931**

Boo. Popular **160-203196**

Credencial Credibanco Diners

Tarjeta N° _____

Vence ____ / ____ / ____ N° cuotas _____

N° Seguridad ____ / ____ / ____

Tres últimos dígitos al respaldo de su tarjeta
de crédito

Acepto Renovación Automática: Sí No

FIRMA

C.C. _____

SUSCRIPCIÓN NATURAL O INSTITUCIONAL

Nombre _____

C.C. o NIT _____

Dirección _____

Tel. _____ Fax _____

Correo Electrónico _____

Ciudad _____ Depto. _____

Profesión _____

Especialidad _____

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

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



89.9 F.M. ESTEREO

una emisora para la inmensa minoría

NOVEDADES EDITORIALES

NET READY- ESTRATEGIAS PARA EL ÉXITO DE LA NUEVA E-CONOMÍA

Hartman Amir, John Sifonis y John Kador
Mc Graw Hill Interamericana de España, S.A.U.
Madrid, 2000.

Internet actúa como motor de una nueva economía que está creando extraordinarias oportunidades para los países, las empresas y las personas de todo el mundo. En sólo cinco años, desde la introducción de la World Wide Web, la economía centrada en internet (lo que los autores de este libro denominan la e-economía) ya puede compararse en tamaño con sectores centenarios como los de la energía, el transporte y las telecomunicaciones.

La economía basada en internet está teniendo un impacto global, al influir tanto sobre las empresas como sobre los gobiernos. Los líderes empresariales de todo el mundo son conscientes de que internet juega un papel estratégico en la capacidad de sus empresas para sobrevivir y competir en el futuro. Para ser competitivas en esta nueva economía, las empresas necesitan aprovechar la potencia de internet.

El éxito de internet es uno de los aspectos más destacables de la década de los noventa, como se documenta en este libro de una forma convincente. *Net Ready* describe las lecciones que aprendieron y las técnicas que utilizaron numerosas compañías en su lucha por alcanzar la Preparación para la Red.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN LOS CURRÍCULOS PARA LA EDUCACIÓN MEDIA EN LOS PAÍSES DEL CONVENIO ANDRÉS BELLO

Campo Cabal, A. y V.H. Valencia (Compiladores)
Tercer Mundo Editores
Convenio Andrés Bello,
Bogotá, 2000.

Esta obra recoge algunas de las ponencias presentadas en un evento internacional organizado en Cali en septiembre de 1999 por el Convenio Andrés Bello y la Fundación Multitaller de materiales didácticos de la Universidad del Valle. Se examina la orientación y la estructura de los currículos nacionales de los países miembros del CAB (particularmente en Bolivia, Colombia, Cuba, Ecuador, España, Perú y Venezuela) en cuanto a la educación media en ciencias naturales y tecnología y la experiencia de entidades que producen equipos de laboratorio y las correspondientes guías didácticas. El libro es de obligada consulta para quienes estén involucrados en este momento en la discusión sobre el lugar que deben tener la ciencia y la tecnología en la reforma de la educación media y la básica.

EXPERIENCIAS PEDAGÓGICAS EN COMUNICACIÓN, MEDIOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS



Serie: Horizontes de la Educación y la Comunicación, Libro II.
Vicerrectoría Académica,
Colegio Académico de Comunicación y Educación.
Universidad Pedagógica Nacional,
Bogotá, 2000.

Este texto recoge las principales experiencias de indagación, investigación y prácticas institucionales relacionadas con el uso de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación adelantadas por profesores de la Universidad Pedagógica Nacional en los últimos años.

Las experiencias recopiladas ayudarán a enriquecer la labor de maestros de Colombia que entienden que una de sus funciones educativas es la incorporación de la informática y el uso crítico de los medios de comunicación masiva a las actividades del aula, para potenciar las vivencias de conocimiento de sus alumnos y generar dinámicas culturales más significativas en las comunidades escolares donde enseñan.

Los documentos incorporados en este volumen dan cuenta, además, de parte del amplio espectro teórico que sobre el tema se ha decantado, y en esta medida matizan el debate amplio y sugestivo sobre el impacto de la tele-cultura, la virtualidad y la cibernética en las sociedades contemporáneas.

MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO EN AMÉRICA LATINA

J. Raúl Navarro García y Fernando Díaz del Olmo (Coordinadores)
Escuela de Estudios Hispanoamericanos de Sevilla (CSIC)
Sevilla, 1999.

Este libro está constituido por las ponencias presentadas en los encuentros organizados por la Escuela de Estudios Hispanoamericanos (CSIC) de Sevilla con respecto al tema de subdesarrollo y medio ambiente en América Latina.

Los encuentros se trazaron con un marcado carácter interdisciplinario y a ellos asistieron como ponentes invitados desde historiadores, geógrafos, antropólogos, sociólogos y biólogos hasta representantes de la administración central de Andalucía (España) con el fin de compaginar la rigurosidad científica con la labor divulgativa que todo centro de investigación y de docencia superior debe también abordar. El término medio ambiente es sumamente amplio, pero el matiz que se describe en este libro es el de su relación con el concepto de desarrollo, tema capital para entender la realidad económica, social, política y hasta cultural de América Latina.



FORMACIÓN DE MAESTROS, HISTORIA Y VIDA, REFLEXIÓN Y PRAXIS DEL MAESTRO COLOMBIANO ACERCA DE LA LECTURA Y LA ESCRITURA



Amparo Clavijo Olarte, Ph.D
Universidad Distrital Francisco
José de Caldas
Plaza y Janés Editores
D'Vinni Editorial Ltda.
Bogotá, 2000.

El aprendizaje del lenguaje es, desde un punto de vista sociopsicolingüístico, una construcción personal y social que sólo se puede lograr dentro de los contextos de uso. Y a ese objetivo apunta este libro. La autora, basada en su experiencia de formadora de formadores, inscribe su investigación en el marco de la proyección social de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas para realizar una pesquisa exhaustiva que, organizada alrededor de su propia historia de vida y de la historia de vida de un grupo de docentes del Distrito Capital, fundamenta una *visión local* para orientar la lectura y la escritura como procesos pedagógicos del lenguaje.

Por un lado, la investigación se alimenta de los principios constructivos de pioneros del enfoque, entre los que se destacan Vigotsky y Piaget, sin descuidar los principios dialógicos del pedagogo y pensador brasileño Paulo Freire, como los de su maestro y asesor Kenneth Goodman con respecto al tema central: la lectura y la escritura. Incorpora también diferentes estrategias didácticas entre las que se cuentan el desarrollo por módulos, el recurso a la informática, la discusión teórica, los proyectos de aula, el trabajo en grupo y la reflexión sobre la práctica, como modalidades tendientes a procurar el objetivo de capacitar a los maestros para involucrarse en procesos y hacerse responsables de su formación continua y personal.

Por otro lado, realiza un estudio contextual del entorno en que los maestros de lenguaje desempeñan su papel con respecto a las concepciones que subyacen en su práctica y las condiciones que la determinan para concluir formulando una pedagogía en donde los niveles de conciencia, la responsabilidad y la participación de los maestros, así como la relevancia e impacto de dichos procesos en la vida de los estudiantes son definitivos, con miras a establecer su eficacia social y educativa.

LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN COLOMBIA. CARACTERÍSTICAS POR SECTOR INDUSTRIAL Y REGIÓN GEOGRÁFICA



Xavier Durán, Rodrigo Ibáñez, Mónica Salazar y
Marisela Vargas
Colciencias, Departamento Nacional de Planeación
y Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología
Bogotá, 2000.

El análisis de las fuentes, actividades y resultados de la innovación en los establecimientos colombianos permite caracterizar la dinámica innovativa de la industria nacional y señalar diferencias importantes entre establecimientos industriales, grupos sectoriales y regiones geográficas del país. En este sentido, el estudio presentado en este libro resalta algunas de las particularidades, trayectorias tecnológicas, fortalezas y debilidades de cada uno de los sectores industriales. Para ello, por primera vez en el país, se calcula para cada sector la frecuencia con que sus establecimientos realizan actividades de innovación y obtienen resultados a partir de las mismas, al igual que algunas posibles causas de estos comportamientos.

El libro presenta información detallada sobre la dinámica innovativa de los 28 sectores industriales encuestados, según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de tres dígitos. El documento está dividido en dos partes: en la primera se presentan los datos que permiten establecer las dinámicas innovativas para los diferentes sectores industriales, y en la segunda se presentan los datos sobre innovación agrupados en siete regiones geográficas.

EXPERIENCIAS EN BIOTECNOLOGÍA EMPRESAS Y CENTROS DE VINCULACIÓN UNIVERSIDAD-EMPRESA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Rafael H. Aramendis, Osiris C. Ocando Editores
Instituto Colombiano para el desarrollo de la Ciencia
y la Tecnología Francisco José de Caldas, COLCIENCIAS
Tercer Mundo Editores S.A.
Bogotá, 2000.

La aplicación de la biotecnología en los campos de salud humana, agricultura, ambiente, industria y alimentos, representa en la actualidad la clave del éxito para que muchos de los países en vía de desarrollo puedan contar con nuevos y más eficientes productos (nuevos medicamentos, alimentos más abundantes, con mejor contenido nutricional, etc.) servicios que mejoren su calidad de vida y propicien el desarrollo sostenible del ambiente natural.

La aplicación exitosa y efectiva de todas las tecnologías de base biológica debe necesariamente contar con recursos humanos altamente capacitados; equipos interdisciplinarios con alta capacidad gerencial y tecnológica; conocimiento profundo de todos los aspectos legales involucrados en la investigación, desarrollo y transferencia de dichas tecnologías; y excelente interacción entre los generadores del conocimiento y los usuarios de este conocimiento: las empresas.

Este libro es el resultado del esfuerzo que desde la década de los noventa viene realizando de manera conjunta y sistemática el Programa Nacional de Biotecnología del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas -Colciencias- con el apoyo particular y decidido de varias agencias internacionales, dentro de las que se destaca especialmente la Organización de Estados Americanos, OEA, a través de su oficina de ciencia y tecnología.

Se presentan cuatro áreas principales: 1) La investigación y los Grupos de Investigación en Biotecnología en Colombia; 2) Biotecnología y Tecnología de Alimentos; 3) Legislación y Gestión en Biotecnología; y 4) Planeación Estratégica en Biotecnología.





CULTURA ESCOLAR, CULTURA MEDIÁTICA. INTERSECCIONES

Jorge Alberto Huergo, María Belén Fernández
Serie de la Educación y la Comunicación, Libro 1
Universidad Pedagógica Nacional
Bogotá, 1999.

Los directivos de la Universidad Pedagógica Nacional buscan, al publicar este libro, reafirmar el compromiso de la Universidad en la construcción de un proyecto político, pedagógico y cultural, orientado al fortalecimiento de la educación pública de calidad y a la apertura de nuevas perspectivas pedagógicas que incorporen de manera crítica las diversas tecnologías a la cotidianidad de la escuela sin perder el horizonte humanizador de la educación.

Este texto explora la relación entre el mundo de la educación y el de la comunicación. Pero, sin duda, su mayor aporte consiste en hablar desde el modelo de comunicación que moldea la institución, la figura y los discursos escolares. Pues el hecho de que la iniciativa de conformación de este campo haya provenido de América Latina, especialmente del ámbito de los estudios de comunicación, ha implicado una rápida movilización del campo por las dinámicas que atraviesan esos estudios; pero también lo ha entorpecido con la falta de sentido histórico que los caracterizan. De ahí que sea desde los estudios de educación donde pueda venir el sentido de los tiempos largos, sin cuya perspectiva los proyectos de cambio se agotarán en la rápida obsolescencia de las modas o los *slogans*.

LAROUSSE ENCICLOPEDIA DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS

D'Vinni Editorial Ltda.
Bogotá, 2000.

En la *Enciclopedia de Preguntas y Respuestas*, el lector joven encontrará respuesta a todas aquellas preguntas que una mente curiosa se formula con respecto a cientos de temas de carácter científico.

Los autores de esta obra consideran que las palabras no siempre explican ideas complejas y por esto incluyen una gran variedad de ilustraciones, fotografías, diagramas, tablas y mapas que hacen más atractiva la información proporcionada.

En los tres tomos se encuentran respuestas a temas relacionados con la Tierra y el espacio, ciencias naturales, el cuerpo humano, los animales y las plantas, pueblos y países e historia.

LOS JÓVENES CONSTRUYEN UN NUEVO PAÍS. POLÍTICAS Y PROGRAMAS



Juan Manuel Galán Pachón
Ministerio de Educación Nacional,
Bogotá, 2000.

Según palabras del autor: "Con el presente documento entregamos a los jóvenes y a la comunidad en general los principales resultados de una gestión del Vice-ministerio de la Juventud que tuvo como principios fundamentales reconocer sin mezquindad los esfuerzos que desde distintas órbitas se vienen dando a favor de los jóvenes, pero también el de imprimir sostenibilidad a una política de juventud con identidad propia. Como lo expresáramos en alguna ocasión: no seremos las y los jóvenes testigos pasivos de la transformación de nuestra realidad social, ni simples seres que nos refugiemos en la apatía y el escepticismo. Somos fuerza activa capaz de incidir en la senda del progreso social de Colombia"

BASE MOLECULAR DE LA EXPRESIÓN DEL MENSAJE GENÉTICO

Severo Ochoa
Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
Madrid, 2000.



Los trabajos de Severo Ochoa son un interesante ejemplo del modo en que las ciencias biomédicas se han desarrollado a lo largo del siglo XX desde el período de las entre-guerras hasta finales de los años sesenta, considerada la década dorada de las investigaciones científicas del mundo occidental y especialmente en los Estados Unidos. Son datos relevantes para comprender la trayectoria científica y el devenir del pensamiento biológico de Ochoa y el de los bioquímicos de su generación. En lo que atañe a la historia reciente de la ciencia española, es aún más importante la influencia que, tanto directa como indirectamente, Ochoa llegó a tener en el desarrollo científico español en el campo de la Bioquímica y de la Biología Molecular. En 1959 recibe el premio Nobel de Medicina por investigaciones que contribuyeron a descifrar el código genético.

EL MÉTODO INTERDISCIPLINARIO

Texto original de Jean Paul Resweber.
Traducción de María Elvira Rodríguez Luna
Universidad Distrital Francisco José de Caldas,
Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico,
Bogotá, 2000.

Este texto constituye lectura obligatoria en el ámbito de los estudios universitarios pues asume la interdisciplinaredad como construcción permanente de la interacción entre disciplinas en torno a un problema de indagación conjunta en relación simétrica y dinámica. El mundo moderno, globalizado y cambiante, tiene como rasgo distintivo el carácter interdependiente de las distintas esferas de la vida social tales como la producción, el trabajo, la ciencia, el sistema educativo y las demás instituciones sociales.

La comprensión de esta alternativa epistemológica impone nuevos retos a las instituciones universitarias en cuanto a la modernización de los programas de formación profesional y a la adopción de modelos investigativos que superen la perspectiva clásica, simplificadora y reduccionista de la ciencia para emprender el camino de la complejidad de la realidad física, biológica, antropológica y la articulación de los saberes.

La interdisciplinaredad busca generar un cambio de mentalidad en torno al saber, derivado de la pluralidad de las voces que se involucran en una experiencia de verdad dialogada. Desde este punto de vista, todo aspecto de la realidad que se estudia está implicado en contextos más amplios que lo hace polideterminado y complejo en su significación.



ESPECIFICACIONES PARA LA PUBLICACION DE ARTICULOS

REVISTA
Innovación
y **Ciencia**

■ TEMAS

Ciencias naturales y sociales, tecnología y política científica.

■ LENGUAJE

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Los términos técnicos deben ir seguidos de una definición sencilla en paréntesis o entre comas; ejemplo: "...en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa, de mucosas y partes más claras de piel)...".
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión ARDS (del inglés: Adult Respiratory Distress Syndrome)".

No deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas sólo si son estrictamente necesarias.

■ EXTENSION

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

■ FORMATO

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

■ MATERIAL GRAFICO

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

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

■ REFERENCIAS

Para las referencias se usarán las siguientes normas:

1. Artículo de revista científica:

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

2. Artículo de libro:

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

■ RESUMEN

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

■ IDENTIFICACION DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo actual

■ RESTRICCIONES

No serán aceptados para publicación:

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



FUNDACION FES
FUNDACION ANTONIO RESTREPO BARCO



Explorando el conocimiento y la formación social para el progreso

Libros y revistas con contenidos de alto nivel profesional en las áreas de:

- Educación
- Desarrollo social
- Medio ambiente
- Cultura
- Salud

REVISTA ALEGRIA DE ENSEÑAR

El material de consulta preferido por maestros e investigadores colombianos



El Largo y Sorprendente Viaje de las Pleyades



Manuales de Autoevaluación y Fortalecimiento de Instituciones de Protección



Evaluación de Proyectos Sociales



La Reforma Ambiental en Colombia

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

Informes y ventas: CENTRO DE PUBLICACIONES

Calle 64 Nte. #5B-146, Telefax (92) 6652167, PBX. 6661700, FAX 6654300

Santiago de Cali - Valle