



# Innovación y Ciencia

VOLUMEN V, N° 4, 1996

¿Qué es  
el caos matemático?

Colisiones  
planetarias

TARIFA POSTAL REDUCIDA 769. Precio: \$5.200,00



**LAS MENTES ABIERTAS**  
**NECESITAN ESPACIOS ABIERTOS**  
**PARA PENSAR EN GRANDE**



SOLUCIONES CREATIVAS

VIGILADO SUPERINTENDENCIA FINANCIERA



**CIUDAD  
SALITRE**

*Un ejemplo a seguir*

CIUDAD SALITRE ESTA DESTINADA A CONVERTIRSE EN EL CENTRO DE VITALES MEGAPROYECTOS QUE LE CAMBIARAN LA FISIONOMIA A SANTA FE DE BOGOTA.

LOS MAS FUERTES HALLAN ALLI EL ESPACIO Y LA INFRAESTRUCTURA PARA DESARROLLAR EL FUTURO A SUS ANCHAS.

PIENSE EN GRANDE. PIENSE EN CIUDAD SALITRE. CON EL RESPALDO DE FIDUCIARIA CENTRAL.



**Filial B.C.H.**  
*Pensando en grande*



Foto: arribas.com

Foto: arribas.com



Vive una Experiencia  
con La Ciencia  
y La Tecnología...



Centro Interactivo



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



CIUDAD  
SALITRE



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

JUNTA DIRECTIVA NACIONAL 1995-1997

PRINCIPALES

Eduardo Posada	Presidente
Guillermo Hoyos	Vicepresidente
María Cristina Píazas	Secretaría
Carlos Corredor	Tesorero
Pedro Amaya	Vocal
Gloria Tamayo de Echeverry	Vocal
Rubén Ardila	Vocal
Alvaro H. Alegría	Vocal

Asociación Colombiana de Sociedades Científicas  
Instituto Colombiano del Petróleo  
Centro de Investigaciones Oceanográficas  
e Hidrográficas -CIOH-

Veedor

Marcelo Riveros

Directora ejecutiva  
Nobora Elizabeth Hoyos T.

Asistente de dirección  
Rosario Martínez

Asesoría editorial  
Mauricio Pérez Gil

Jefe división de publicaciones  
Manuel Cardozo

Revisora fiscal  
Teresa Bonilla

Administradora  
María Paulina Rubio

Consejo editorial internacional  
José Fernando Escobar, Leon Lederman,  
Isabel Llano, Rodolfo Llinás, Abdus Salam

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

Comité editorial  
Nobora Elizabeth Hoyos, Alberto Ospina, Eduardo Posada,  
Manuel Cardozo, Martha Patricia García, Rosario Martínez

Diseño gráfico y producción  
Vesalius - Arte y Ciencia Ltda

Publicidad  
Clara López

Fotografía  
Photo Images Ltda., Image Bank, Stock Visual

Corrección de estilo  
Germán González  
Beatriz Peña

Digitación de textos  
Yenny Yuliett Arias

Preprensa electrónica  
Elograf Ltda

Impresión  
Printer Colombiana S. A.

DERECHOS RESERVADOS.

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

Esta publicación ha sido realizada con la colaboración  
financiera de Colciencias, entidad cuyo objetivo es impulsar  
el desarrollo científico y tecnológico de Colombia.

Resolución Ministerio de Gobierno N° 5447 del 9 de octubre  
de 1992. ISSN 0121-5140. Tarifa postal reducida N° 769  
de Adpostal. Venc. dic/96. A.C.A.C. Cra. 50 N° 27-70,  
Edificio Camilo Torres, A.A. 92581. Fax: 2216950.

Tels: 2213313 - 2217348 - 2216769.

E-MAIL: acac1@colciencias.gov.co

# CONTENIDO



Portada:

Cualquier disciplina que recurra a un  
modelo matemático con un sistema  
dinámico no está libre de sufrir caos.

## NOTA DEL EDITOR

¿Juicios inmediatistas?

7

## NOTICIAS Y COMENTARIOS

Antihidrógeno.  
Átomos de antimateria producidos en el CERN.

8

Maloka.  
Centro interactivo de ciencia y tecnología.

10

Cambio de clima.  
Hallazgos atmosféricos revelan nueva información acerca del efecto invernadero.

14

## PREMIOS NOBEL

18

## VISTAZOS

Una mejor técnica para la detección del cáncer de seno.  
CDs tridimensionales.

Aceite vegetal para motores.

¿Son contagiosas las enfermedades mentales?

Luz ultravioleta para eliminar parásitos residuales.

Nuevas armas contra los conductores ebrios.

Avances en el desarrollo de las pantallas de televisión.

20



## ARTICULOS

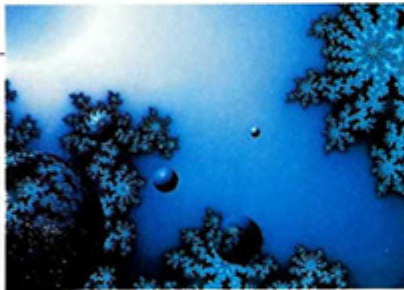
### Bioerosión.

La bioerosión de los acantilados rocosos es un proceso costero que ocasiona importantes modificaciones en la costa pacífica colombiana. La acción de organismos marinos que perforan las rocas, actuando como verdaderos taladros vivos, y algunos factores físicos y químicos hacen que este proceso sea más fuerte en la costa pacífica colombiana que en muchas otras partes del mundo.

24

### Colisiones planetarias

La presencia de millones de pequeños objetos llamados asteroides y cometas orbitando alrededor de nuestro Sol crea el riesgo de que se produzcan choques eventualmente contra los planetas y satélites. Estos procesos de colisión liberan tal cantidad de energía que pueden llegar a cambiar la fisonomía de un planeta e incluso alterar radicalmente la evolución biológica, en el caso de chocar contra la Tierra.



34

### ¿Qué es el caos matemático?

El objetivo principal es dar una idea general de qué se entiende por caos, desde el punto de vista de las matemáticas, así como sus orígenes y sus principales implicaciones.

40

### En búsqueda del potencial de los universitarios colombianos para la investigación

Los datos obtenidos en este estudio revelan los grandes recursos humanos y el potencial intelectual con que cuenta el país, reserva que con un adecuado plan de capacitación permitirá alcanzar la ambiciosa meta de formación de investigadores propuesta por la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo.

48

### La controversia Lamarck-Darwin

Panorama de las limitaciones y alcances de las propuestas de Lamarck y Darwin. Del lamarckismo se recoge su concepción sistémica y dinámica intrínseca a la naturaleza viviente, mientras del darwinismo se reconoce la necesidad de ampliar y precisar, dentro de un esquema jerárquico, su propuesta de variación aleatoria y selección. Se propone ir más allá de esta controversia, para contribuir al desarrollo de un paradigma cognitivo para la evolución.

56

## NOVEDADES EDITORIALES

65

Partículas Elementales?

Astronáutica?

Hologramas?

Plantas Transgénicas?

Robótica?

Superconductividad?

Priones?

Redes Neuronales Artificiales?

Realidad Virtual?



# UNIVERSOS

**Aprenda mientras se entretiene**

**No deje de ver UNIVERSOS, los martes de 1:30 a 2:00 por la cadena 1.**

Enero	7	Cáncer
Enero	14	Aroma de café
Enero	21	Partículas elementales
Enero	28	Hospederos y parásitos
Febrero	4	Tras las huellas de nuestros antepasados
Febrero	11	Café liofilizado para exportación



COLCIENCIAS



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

# NOTA DEL EDITOR

## ¿Juicios inmediatistas?

**A** raíz de los comentarios aparecidos en la prensa nacional en relación con un artículo publicado en la revista médica *The Lancet*, que presenta los resultados de pruebas efectuadas en Tailandia con la vacuna desarrollada por el doctor Patarroyo y su equipo, parece oportuno recordar algunas reglas básicas que debe tener en cuenta el periodismo.

Una de estas reglas indispensables es conocer el método que utilizan las ciencias naturales desde hace varios siglos y que ha dado claras pruebas de su poder, haciendo que, aún en contra de las opiniones con frecuencia dogmáticas de la mayoría, la ciencia haya terminado por tener razón, como en el dramático caso de la condena de Galileo por la Iglesia.

El proceso investigativo, que implica una ardua y paciente labor llena de obstáculos, decepciones e incansables verificaciones, culmina en la redacción de un artículo científico que posteriormente es publicado en revistas especializadas de circulación internacional, cuyo comité editorial garantiza su seriedad. El hecho de que un resultado aparezca en una revista de esa índole, no constituye una prueba de que es incontrovertible, sino de que, para las circunstancias específicas en que fue obtenido, se utilizó una metodología adecuada y de que el grupo de investigación poseía la experiencia necesaria.

Este artículo es, pues, después del investigador mismo, la principal fuente a la que debe acudir el periodista serio, asesorándose, como es obvio, de otros investigadores que le ayuden a comprenderlo.

El proceso que así se inicia debe estar enmarcado dentro de la mayor neutralidad y objetividad, y el periodista debe, dentro de lo posible, trabajar sin sensacionalismo y teniendo siempre presente su papel de educador y formador de opinión, con toda la responsabilidad que eso implica. Es indispensable consultar otras fuentes y buscar la opinión de otros investigadores, con el fin de poder presentar al público una visión clara y objetiva, no sólo del hecho científico en sí, sino de sus implicaciones para la sociedad.

Es importante también tener en mente que la ciencia no es rígida y dogmática, sino que avanza a medida que el conocimiento se enriquece, y que, por lo tanto, mucho de lo que hoy sabemos deberá ser modificado y adaptado a la luz de futuros descubrimientos.

Un requisito indispensable para consagrar la validez de un resultado de investigación es que pueda ser reproducido en diversos países, por grupos de investigación distintos del que lo obtuvo por primera vez, y dentro de parámetros estrictamente controlados. Este punto es igualmente válido para las ciencias exactas, físicas y naturales, y constituye uno de los pilares de la metodología científica. En particular, en el campo de la salud, antes de que la eficacia y la inocuidad de un medicamento queden plenamente

confirmadas, pueden transcurrir años, y a veces lustros, de infatigables pruebas de laboratorio y de campo.

Ése es el proceso al que está siendo sometida la vacuna del doctor Patarroyo, que tiene el indiscutible mérito de ser la primera vacuna totalmente sintética producida en el mundo, lo cual hace aún más difícil su aceptación universal. Como lo resume muy acertadamente la revista *Science* en su número de septiembre de 1996, los ensayos efectuados en tres países, por equipos de investigadores de diferentes orígenes, arrojaron resultados positivos entre un 8% y un 39% según el caso. Sólo el ensayo ya mencionado, que fue efectuado por el ejército norteamericano en Tailandia, mostró un resultado totalmente negativo, lo cual llevó a los investigadores a recomendar que se interrumpieran todas las pruebas de la mencionada vacuna. Esta última conclusión, que desconoce de plano los trabajos anteriores, es totalmente apresurada y contraria a los procedimientos normales. Lo más probable es que, como lo propuso el mismo doctor Patarroyo, el compuesto utilizado, que fue sintetizado en Estados Unidos sin la supervisión del grupo colombiano, sea diferente del que se produce en Colombia y no tenga por ello la misma eficacia.

Lo que debe quedar muy claro es que se ha planteado un problema científico del mayor interés, cuya solución puede hacer avanzar considerablemente las investigaciones en el campo de las vacunas sintéticas. La respuesta no puede venir sino de la ciencia, y el debate debe mantenerse a ese nivel, sin caer en especulaciones apresuradas ni dejarse llevar por el nacionalismo, los intereses personales o la soberbia.

El balón está en el terreno de los científicos y, de ahora en adelante, el partido se debe jugar en los laboratorios y en las pruebas de campo realizadas bajo el más riguroso control metodológico y con la garantía de que el producto utilizado es siempre el mismo, para que los resultados sean estrictamente comparables entre sí.

El deber de los medios es mantener a la opinión correctamente informada de los avances que tienen lugar, desde una posición objetiva y serena, y sin caer en la actitud que en el pasado los llevó a ensalzar y hoy los conduce, tan a la ligera, a condenar.

La culminación de este proceso, que estamos seguros será positiva, es de vital importancia para la incipiente ciencia colombiana y para el éxito de los programas que se han venido desarrollando en los últimos años. Es por eso que el tratamiento que se le dé en los medios deberá ser mesurado y objetivo, para no comprometer de manera irreversible lo que hasta hoy se ha logrado y lo que la comunidad científica colombiana espera alcanzar en el futuro.

EDUARDO POSADA F.  
Presidente

NOHORA ELIZABETH HOYOS T.  
Directora Ejecutiva

# Antihidrógeno

## Átomos de antimateria producidos en el CERN

**E**n el CERN, el Laboratorio Europeo de Física de partículas situado en Ginebra, Suiza, un equipo de científicos trabaja en la producción y estudio del "antihidrógeno", bajo la dirección del profesor Walter Oelert. Se trata de los primeros átomos de antimateria producidos en el mundo.

Los átomos ordinarios están formados por electrones que se mueven alrededor del núcleo atómico. El átomo de hidrógeno es el más simple de todos: su núcleo es sólo un protón, y un electrón gira alrededor. Así, la receta para producir el antihidrógeno es tan simple como poner un antielectrón ("positrón") a orbitar alrededor de un antiprotón. La dificultad estriba en que en nuestro mundo no encontramos antipartículas (como positrones y antiprotones), de modo que primero debemos producirlas para luego formar con ellas los antiátomos o átomos de antimateria. Debemos cuidar también que las antipartículas no "se aniquilen" con la materia antes de producir el antiátomo.

En el CERN, el grupo del profesor Oelert y físicos de varias instituciones alemanas (Centro de

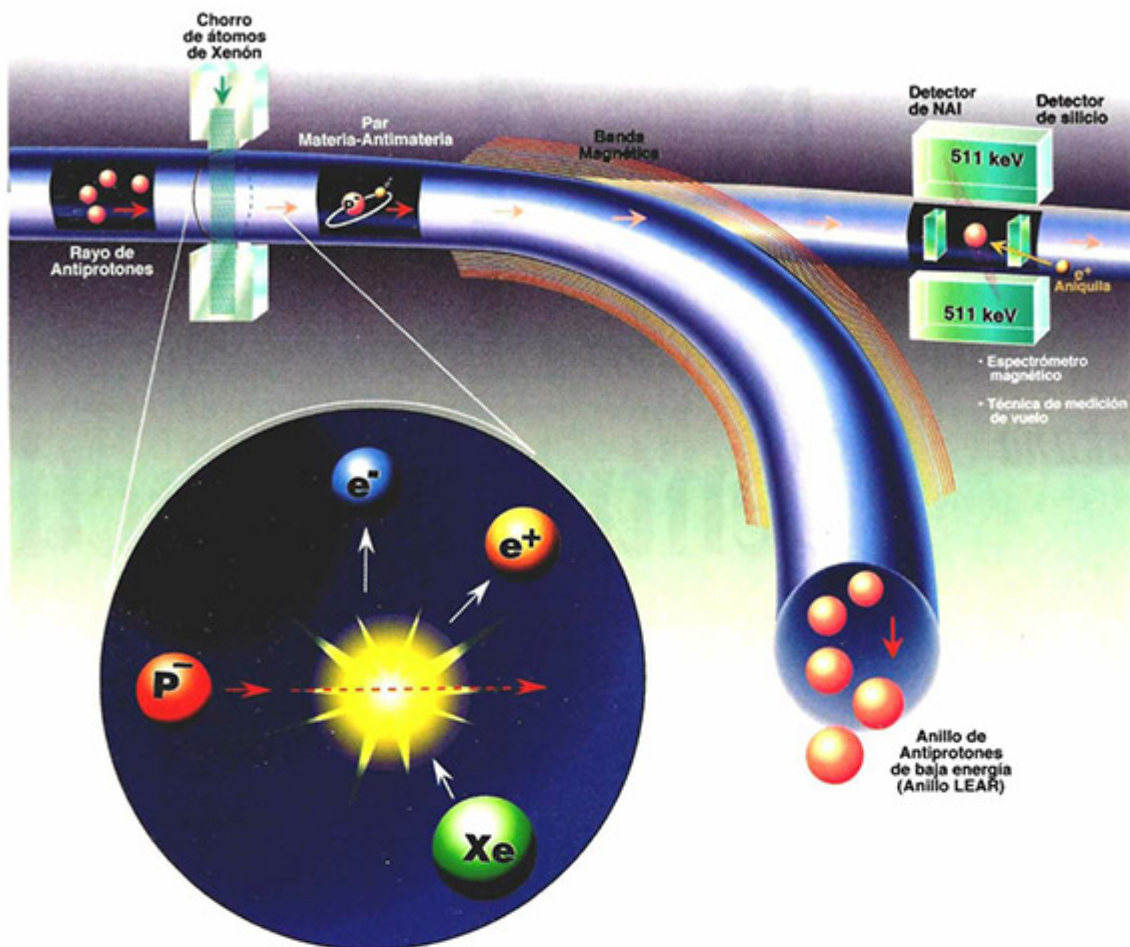
investigaciones nucleares de Jülich, universidad de Erlangen-Nürnberg, Sociedad de iones pesados de Darmstadt y universidad de Münster), conjuntamente con físicos italianos de la universidad de Génova y del instituto nacional de física nuclear (INFN) de Italia utilizan el rayo de antiprotones de bajas energías del CERN en el anillo LEAR (Low Energy Antiproton Ring), para producir el antihidrógeno. Los antiprotones han sido producidos previamente ionizando hidrógeno para obtener así protones, acelerando estos electrones y disparándolos luego sobre núcleos pesados para frenarlos. Los protones, partículas con carga eléctrica, emiten al frenarse radiación de suficiente energía para que en la cercanía del núcleo pesado la radiación se materialice en un par de materia-antimateria: protón-antiprotón. Con estos antiprotones se ge-

nera el rayo del anillo LEAR del CERN.

En el anillo LEAR, un chorro de átomos de xenón es disparado perpendicularmente al rayo de antiprotones. Este chorro es atravesado cerca de tres millones de veces por segundo por los antiprotones que circulan en el anillo LEAR. Muy ocasionalmente, cuando se encuentran un antiprotón y un átomo de xenón, parte de la energía del anti-

protón se convierte en un par materia-antimateria: electrón-positrón. Y en algunos poquísimos casos, estos positrones llevan una velocidad suficientemente cercana a la del antiprotón como para hacer que las dos partículas se ligen, formando un átomo de antihidrógeno (figura 1). La probabilidad de que esto ocurra es pequeñísima, tan sólo del 0,000 000 000 01 %. Pero, usando el rayo del anillo LEAR con suficiente intensidad, el grupo del profesor Oelert ha logrado en tres semanas produ-

**La receta para producir el antihidrógeno es tan simple como poner un antielectrón ("positrón") a orbitar alrededor de un antiprotón.**



**Figura 1.** En el anillo LEAR, un chorro de átomos de xenón es disparado perpendicularmente al rayo de antiprotones. Este chorro es atravesado por los antiprotones que circulan en el anillo LEAR. Muy ocasionalmente, cuando se encuentran un antiprotón y un átomo de xenón, parte de la energía del antiprotón se convierte en un par materia-antimateria: electrón-positrón. Y, en algunos muy pocos casos, estos positrones llevan una velocidad suficientemente cercana a la del antiprotón para que las dos partículas se ligen, formando un átomo de antihidrógeno.

cir nueve átomos de antihidrógeno, incluyendo la verificación y confirmación en cada caso del proceso de producción del átomo de antimateria.

Pero, ¿cómo se observa el antihidrógeno producido? Para conseguir esto, los átomos de antihidrógeno salen del anillo LEAR y entran a un sistema de detectores de partículas, donde se ioniza el antihidrógeno y se estudian sus dos componentes por separado, verificando por conservación de momento y energía que constituyan un sistema ligado: el antihidrógeno. El positrón atraviesa primero un detector de silicio que da la información sobre la energía de la partícula. Luego el positrón se aniquila con un electrón, resultando una radiación gama, un par de fotones que se detectan con cristales de centelleo de yoduro de sodio. El otro componente del antihidrógeno, el antiprotón, se estudia con un espectrómetro magnético y con la

técnica de medición del tiempo de vuelo.

Esta investigación sobre antihidrógeno, actualmente en marcha en el CERN, es de especial importancia para la comprensión de la estructura fundamental de la materia. En esta área de la ciencia ha contribuido muy especialmente el estudio del hidrógeno, que constituye gran parte del universo. Ahora, produciendo antihidrógeno y almacenándolo en una "trampa magnética" o "botella de antihidrógeno", se espera estudiar sus propiedades y su comportamiento. Para un futuro no muy lejano se pueden esperar aportes interesantes, por ejemplo: ¿Cómo se comporta la antimateria bajo la fuerza de gravedad? ¿Qué tan perfecta es la simetría entre materia y antimateria? Los experimentos lo dirán.

**Bernardo Gómez M.**  
Departamento de Física,  
Universidad de los Andes

**Adpostal**



¡Llegamos a todo el mundo!

CAMBIAMOS PARA SERVIRLE MEJOR A  
COLOMBIA Y AL MUNDO

ESTOS SON NUESTROS SERVICIOS

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

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



*Para los Yukuna  
la maloka  
es el universo,  
es Jeechú.  
Los diferentes  
niveles del cosmos  
están representados  
en el techo  
y proyectados  
sobre el plano  
horizontal.\**

\* Tomado de: El manejo del mundo. Naturaleza y sociedad entre los Yukuna de la amazonia colombiana. María Clara van der Hammen



## Centro interactivo

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, consciente de la importancia que tienen la formación de la juventud y la educación del público en general sobre el papel de la ciencia y la tecnología para alcanzar un mayor bienestar, ha venido examinando desde hace varios años la posibilidad de crear un museo de ciencias en la ciudad de Bogotá. La idea de dotar a la ciudad de un centro de ciencias tuvo un nuevo y definitivo impulso cuando, a finales de 1991, se encontró una gran coincidencia entre los objetivos de esta iniciativa y los que se venían proponiendo en el proyecto Ciudad Salitre para realizar dentro de este complejo urbanístico una empresa de gran envergadura: la construcción de un centro interactivo de ciencia y tecnología.

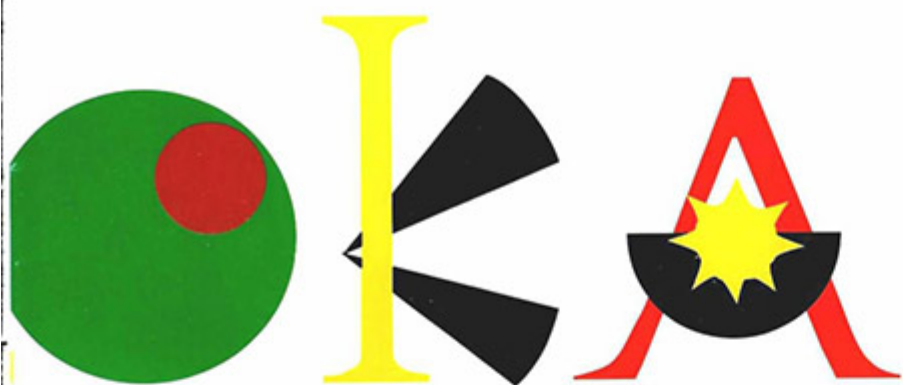
### ¿Qué es Maloka?

Es un centro interactivo de ciencia y tecnología, la nueva tendencia de los museos de ciencias del mundo. Las exhibiciones son visualmente excitantes, producen sonidos intrigantes, deben ser tocadas, generan relaciones espaciales y generalmente tienen un texto o audio que explica lo que está pasando. La premisa es "prohibido no tocar" se estimula la interacción para despertar curiosidad, recrear y cautivar a los jóvenes

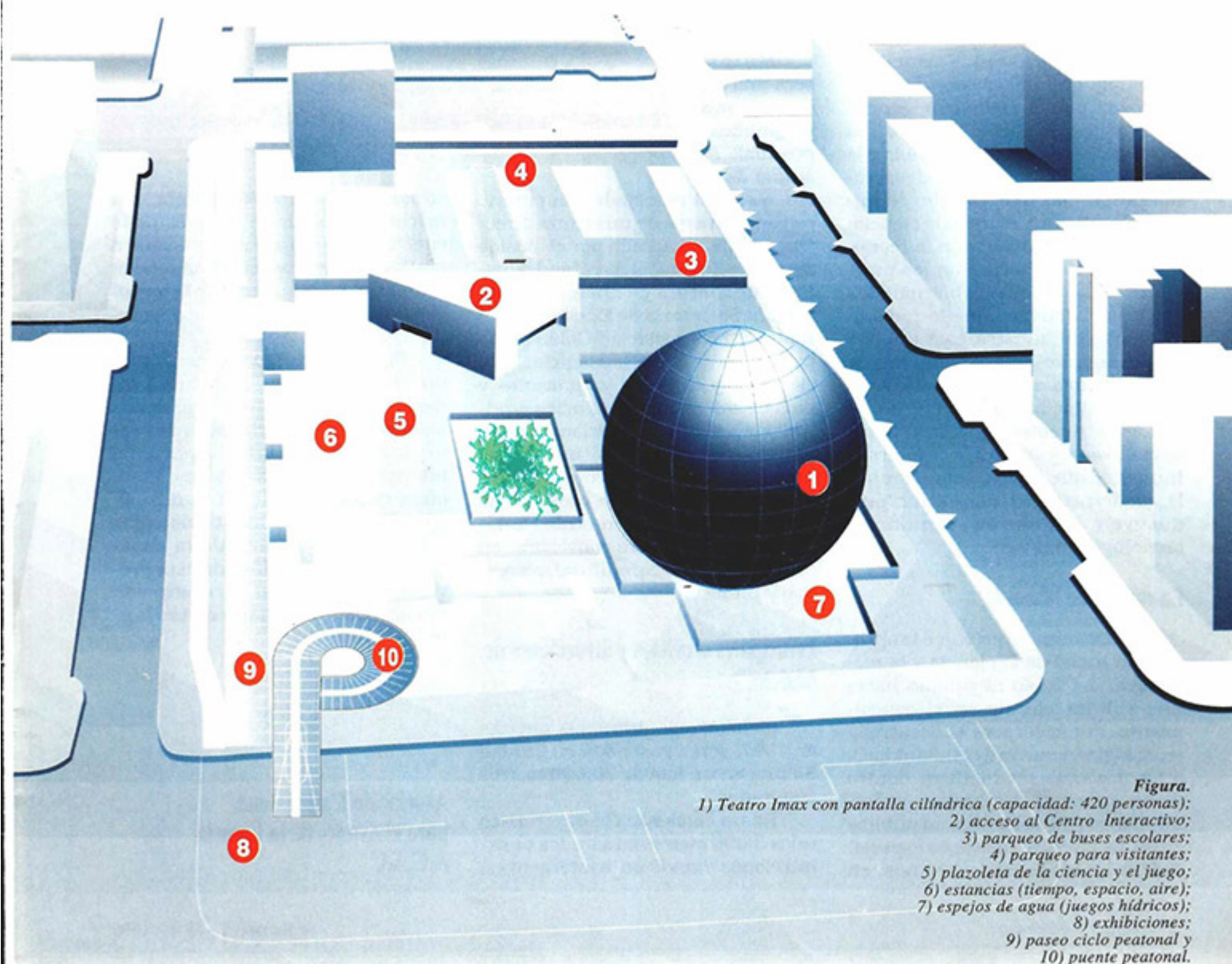
visitantes en torno a la ciencia y su aplicación, ubicando a la ciencia y la tecnología en la vida real.

Centros como Maloka ofrecen un ambiente propicio para la exploración y la experimentación, y muestran avances científicos y tecnológicos y sus aplicaciones. Presentan el estado del conocimiento sobre el universo y el hombre, los fenómenos naturales, el comportamiento humano y animal, y analizan las aplicaciones concretas de la ciencia.

Son, además, centros de capacitación para profesores de ciencias, ofrecen talleres y cursos que complementan la educación formal y organizan múltiples actividades de enseñanza orientadas a la familia.



# de ciencia y tecnología



**Figura.**  
1) Teatro lmax con pantalla cilíndrica (capacidad: 420 personas);  
2) acceso al Centro Interactivo;  
3) parqueo de buses escolares;  
4) parqueo para visitantes;  
5) plazoleta de la ciencia y el juego;  
6) estancias (tiempo, espacio, aire);  
7) espejos de agua (juegos hídricos);  
8) exhibiciones;  
9) paseo ciclo peatonal y  
10) puente peatonal.

Image not found or type unknown



# ESPECIFICACIONES PARA LA PUBLICACION DE ARTICULOS

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

## TEMAS

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

## LENGUAJE

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

## EXTENSION

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

## FORMATO

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

## MATERIAL GRAFICO

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

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

## REFERENCIAS

Para las referencias -un máximo de 10- se usarán las normas ICONTEC.

**Ejemplo:** Autor(es). Nombre del artículo. Revista, Año, Mes; Vol(No.): Páginas.

Sosa, Enrique. Presencia y significado de Eshu en Nigeria. América Negra, 1992 Dic; 92(4): 139-156.

## 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

# Cambios

**E**n diciembre pasado, una conferencia internacional de científicos dedicados al estudio del clima llegó a la conclusión de que el ser humano es culpable, en parte, de los cambios ocurridos en el clima global. Esta

conclusión fue motivada por una investigación que logró detectar la señal característica del efecto de invernadero dentro de un conjunto de cambios ocasionados por la variación natural y por los gases contaminantes que no dejan pasar la luz solar, a la superficie de la Tierra.

En la revista *Nature* de julio de este año, un grupo de científicos liderados por Benjamin Santer, del Laboratorio Lawrence Livermore, de Estados Unidos, reportó que el patrón de cambio de la temperatura atmosférica, a una altura de 20 kms, no refleja únicamente los capri-



# o de clima

## Hallazgos atmosféricos revelan nueva informa- ción acerca del efecto invernadero

putador. Y aunque los científicos no pueden estar seguros aún de que ciertos gases que atrapan el calor en la atmósfera son los responsables del calentamiento, día a día aumenta la evidencia de la intervención humana sobre éste.

Santer, el autor principal del capítulo crucial del mencionado informe, guió el proyecto y trabajó estrechamente con una docena de coautores de otras seis instituciones. Este investigador afirma que el nuevo trabajo es una extensión lógica de los resultados anteriores sobre el

cambio climático en la superficie (*Science*, junio 16 de 1995, p. 1567). Santer y sus colegas plantearon la misma pregunta sobre la alta at-

mósfera que la que había sido hecha acerca de la superficie: ¿Cuán estrechamente se asemeja el cambio del patrón climático observado al patrón predicho por los modelos de invernadero de computador?

Para encontrar una respuesta, el grupo de investigación utilizó modelos que incluyeron emisiones de dióxido de carbono (gas de in-

**El ser humano  
es culpable,  
en parte de los  
cambios ocurridos  
en el clima global.**

---

chos naturales del clima. Como señales reveladoras de esto, citaban el enfriamiento de la atmósfera global y el calentamiento de las capas inferiores (troposfera), sobre todo en el hemisferio sur, tal como lo han predicho los modelos de invernadero generados por com-

vernadero) y de gases contaminantes, los cuales deberían calentar y enfriar respectivamente la zona de 10 ó 12 kilómetros inferiores de la atmósfera (la troposfera). Los modelos predijeron un calentamiento irregular, debido a que hay más gases contaminantes suspendidos sobre el hemisferio norte que sobre el hemisferio sur y, en consecuencia, el calentamiento debería ser menor en el norte.

Otro modelo indicó los efectos de la reciente disminución del ozono (debido a otros contaminantes) en niveles más altos, correspondientes a la estratosfera. Este modelo predijo el enfriamiento estratosférico global a causa de la disminución en la absorción de la radiación ultravioleta solar, consecuencia de la reducción del ozono. Un incremento del dióxido de carbono podría aumentar el enfriamiento, puesto que el gas irradia calor. En las capas inferiores de la atmósfera, ese calor calienta el planeta, pero, en las capas superiores, es irradiado hacia el espacio.

Cuando los investigadores compararon esas predicciones con las temperaturas medidas por globos meteorológicos entre 1963 y 1987, pudieron apreciar que los modelos eran similares. Exactamente de acuerdo con lo predicho, la estratosfera se había enfriado y la troposfera se había calentado cerca de medio grado más en el sur que en el norte. Santer asegura que para poder relacionar las observaciones con las predicciones del modelo, es necesario incorporar los gases de invernadero.

Refiriéndose al estudio de Santer, dice Tim P. Barnett, del Instituto de Oceanografía de California, es probablemente uno de los trabajos más convincentes elaborados hasta hoy. Aún no estoy ciento por ciento convencido de

que la señal de invernadero haya sido detectada; estamos cerca de poder decirlo con alguna seguridad, pero aún hay un número de preguntas que persisten.

Un asunto que consignó el estudio, pero que no pudo responder con seguridad, fue la posibilidad de que la semejanza entre el modelo y los datos pudiera deberse a una fluctuación climática casual. No existe información muy extensa sobre las temperaturas atmosféricas, así que el grupo comparó las variaciones observadas con otras en tres modelos diferentes, cada una

analizada durante cientos de años modelo, y eliminó cualquier influencia externa, tal como la de los gases de invernadero. La variabilidad "natural" resultante fue mucho menor que las variaciones recientemente observadas.

De hecho, se trata de modelos y no de la atmósfera real. Santer acepta que "la principal incertidumbre es la credibilidad de los estimativos del modelo de variabilidad "natural", pero éstos tendrían que estar errados en un factor de dos para hacer nuestros resultados no significativos.

Pero el meteorólogo Michael, de la universidad de Washington, teme que haya una posibilidad real. "Soy algo escéptico de la idea de creer que cada vez que vemos algo que no hemos visto antes en el registro reciente, ello se debe al efecto invernadero".

El propio trabajo de Wallace ha mostrado que el calentamiento acentuado de la estación de invierno, visto en los continentes de latitud alta —una parte del modelo de invernadero superficial o "huella

digital"—, puede también ser ocasionado por variaciones naturales en la circulación atmosférica. Esto sirve como una advertencia de que otras partes de la "huella digital" pueden resultar "realmente ambiguas", dice Wallace.

Santer es muy consciente de que la variabilidad natural se podría estar disfrazando de efecto invernadero, pero a la vez se pregunta si este último podría estar aumentando la variabilidad natural. La exploración de esa idea es el trabajo que aún está por hacerse.

La conferencia intergubernamental para el cambio del clima (IPCC), de los Estados Unidos, estimó que la atmósfera se calentará unos dos grados celsius para el año 2100. Aparentemente, éste no es un cambio en temperatura muy grande, pero podría ocasionar inundaciones y tormentas, y provocar estragos en la agricultura del mundo entero.

Los investigadores continúan debatiendo las consecuencias del calentamiento global, pero no hay duda de que el nivel de dióxido de carbono ha aumentado en los últimos años, y se estima que en las dos próximas décadas puede elevarse en un 60 por ciento, especialmente en China y en los países en desarrollo.

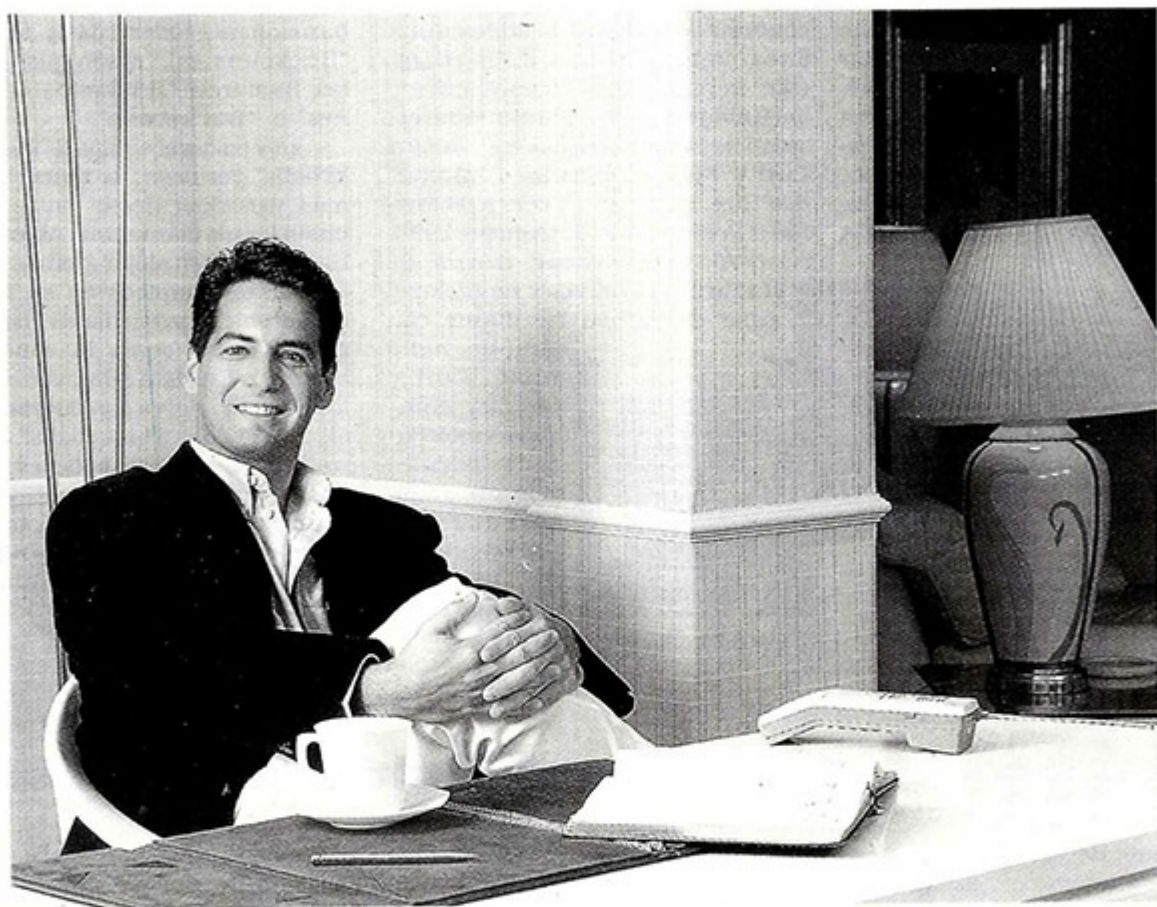
*Modificado de Science, vol 273, julio 5 de 1996.*

Alberto Villegas B.  
Instituto de Investigaciones en  
Geociencias,  
Minería y Química, INGEOMINAS

## No hay duda de que el nivel de dióxido de carbono ha aumentado en los últimos años.

# Éxitos

Los éxitos de tu vida



☕ Las fórmulas de tu éxito son las fórmulas de tu vida.

Tu dedicación, tu concentración, tu entusiasmo, tu mente abierta y siempre activa y tu buen ánimo, secretos que saben bien para saborear tus éxitos.

☕ Al mantenerte despierto a las oportunidades, te mantienes en una posición de éxito.

El café te acompaña en tus momentos de éxito.

Felicitaciones.

**UN MENSAJE SALUDABLE DEL CAFE, PARA TI.**

**PROGRAMA  
EL CAFE Y TU SALUD  
CENTROS DE  
PREPARACION  
DE CAFE**

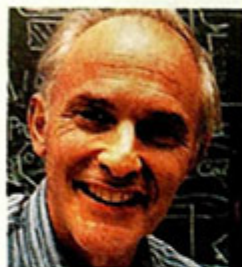


*Dos británicos, un suizo,  
un australiano y seis norteamericanos  
obtuvieron el Premio Nobel  
como reconocimiento a su labor  
científica en las áreas de Química,  
Fisiología/Medicina, Física  
y Economía.*

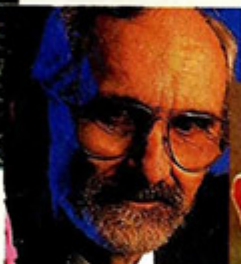
# Premi

## QUÍMICA

En 1986, la existencia de una nueva forma de carbono molecular (del tamaño de un balón de fútbol), anunciada por un equipo de tres químicos, fue recibida con gran escepticismo. Diez años después, se ha



Harold Kroto



Robert Curl



Richard Smalley

confirmado, abriéndose además una línea totalmente nueva de investigación en materiales, como resultado del trabajo de Harold Kroto, (Universidad de Sussex, Inglaterra), Robert Curl y Richard Smalley (Universidad Rice, Houston), quienes recibieron el Premio Nobel de Química 1996.

Al bombardear trozos de grafito con rayos láser y mezclar el vapor de carbón resultante con gas de helio Kroto, Curl y Smalley obtuvieron moléculas residuales cristalizadas, compuestas por 60 átomos de carbono, que aparentemente semeja-

ban domos geodésicos de fulerenos "Buckminster", razón por la cual las llamaron "Buckminsterfullerenes" o "Buckyballs".

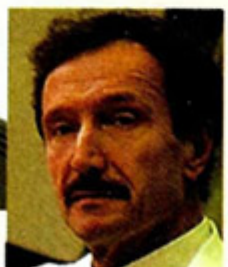
Hoy en día el equipo fabrica "Buckyballs" por peso, de tamaños y formas variados: desde hojas planas hasta largos filamentos. Algunas moléculas pueden alojar átomos de otros elementos químicos en su interior, adquiriendo propiedades físicas extraordinarias como la conducción eléctrica. En vista de su versatilidad, los investigadores consideran que en el futuro las "Buckyballs" podrán usarse, entre otras aplicaciones, en sistemas de liberación continuada de medicamentos, cables eléctricos ultradelgados y pequeñas varillas con una capacidad de tensión sin precedentes.

## FISIOLOGÍA / MEDICINA

Durante décadas, los más destacados inmunólogos buscaron respuesta al acertijo ¿Por qué el sistema inmune evolucionó hasta



Peter Doherty



Rolf Zinkernagel

poder rechazar elementos como los órganos trans-plantados, que no se hicieron realidad sino hasta el siglo XX?

En la década de los 70 dos investigadores que trabajaban en Australia, Peter Doherty (médico veterinario, australiano) y Rolf Zinkernagel (médico suizo especializado en enfermedades tropicales) plantearon la respuesta de rechazo como un producto secundario del mecanismo de defensa contra los virus.

Doherty y Zinkernagel demostraron que las células blancas del sistema inmune buscan cambios en un marcador llamado autoproteína, que identifica las células pertenecientes al cuerpo. Cualquier alteración de esta proteína, como la que ocurre en las infecciones virales, marca la célula para ser destruida. Este descubrimiento ha impulsado la investigación de nuevos tipos de "vacunas": contra el cáncer, la esclerosis múltiple y otras enfermedades autoinmunes.

# Los Nobels

## FÍSICA

David Lee, Robert Richardson y Douglas Osheroff, investigadores de la universidad de Cornell, han estudiado los



David Lee



Robert Richardson



Douglas Osheroff

cambios de fase del helio desde 1972, trabajo por el cual recibieron el Premio Nobel éste año.

Utilizando Helio-3, un isótopo poco frecuente, los científicos buscaron una "fase de transición" análoga al cambio experimentado por el agua al pasar de gas a líquido y de éste a sólido. El experimento consistió en enfriar las muestras del gas hasta dos milésimas de grado, cerca del cero absoluto (-273,15°C), temperatura a la cual cesa el movimiento atómico.

Osheroff identificó pequeños saltos en el registro de las curvas de presión, correspondientes al cambio del Helio-3 a un estado de superfluido, un líquido viscoso que, entre otras propiedades atípicas, puede "trepar" por las paredes del recipiente que lo contiene (comportamiento ya observado en partículas subatómicas).

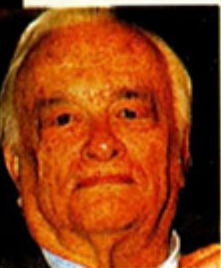
El descubrimiento ha dado paso a nuevos experimentos con superfluidos, buscando sustentar la teoría de la aparición de las estructuras hipotéticas, conocidas como cadenas cósmicas, ocurrida una fracción de segundo después del "Big Bang", que condujo a la formación de las galaxias.

## ECONOMÍA

Todo aquel que ha comprado un automóvil usado sabe que el vendedor tiene mucha más información que el cliente; en Estados Unidos existen las llamadas "leyes limón", orientadas a proteger contra malos negocios.



James Mirrlees



William Vickrey

Estas brechas de información constituyen la esencia del trabajo por el cual James Mirrlees, de la universidad de Cambridge (Inglaterra), y William Vickrey, de la universidad de Columbia (Estados Unidos), recibieron el nobel de Economía.

Mediante el estudio de la "Información asimétrica" que caracteriza a muchos mercados, Mirrlees y Vickrey desmontaron el supuesto económico clásico de que todas las partes de un negocio tienen igual información y plantearon formas de aplicar sus hallazgos teóricos.

Mirrlees, quien ha sido profesor universitario en África, Pakistán y los Estados Unidos, desarrolló un sistema que busca aumentar al máximo el recaudo de impuestos;

sorprendentemente, su propia teoría lo llevó a concluir que un impuesto progresivo no es necesariamente el mejor. Por su parte, Vickrey diseñó un novedoso método de subasta, en el cual el ganador paga el precio ofrecido por el segundo postor cuando las ofertas se cierran. El tesoro nacional de Estados Unidos utiliza una versión modificada de este sistema para el cobro de cuentas.

Vickrey desarrolló aplicaciones para prevenir la congestión, aumentando las tarifas de las horas más congestionadas, práctica que actualmente se ha vuelto rutinaria, agilizando el funcionamiento de las líneas férreas y los servicios.

### INDUSTRIA

## Luz ultravioleta para eliminar parásitos en aguas residuales

La luz ultravioleta se ha venido utilizando desde hace más de una década para eliminar bacterias de aguas de desechos industriales. Sin embargo, se trata de un proceso costoso y no elimina parásitos como la giardia y el *cryptosporidium*.

La empresa Safe Water Solutions, de Milwaukee, ha desarrollado un sistema basado en el uso de luz ultravioleta, el cual está siendo evaluado en Estados Uni-

dos. Se funda en el uso de un filtro que atrapa los parásitos y los somete a una dosis de luz ultravioleta mucho mayor que las que reciben al estar suspendidos en el agua.

Otra técnica con gran potencial es la que está siendo desarrollada en el laboratorio nacional de los Álamos, en unión con el Triton Thalassic Technologies, de Estados Unidos. Ellos crearon una lámpara especial que solamente emite un segmento

limitado del espectro de la luz ultravioleta, lo cual no sólo ahorra energía sino que permite eliminar los parásitos con rayos letales muy bien definidos.

Inicialmente se venderá para purificar el agua desechada por las industrias, pero la meta es llegar a utilizar esta técnica para obtener agua potable.



### TECNOLOGÍA



## CD tridimensional

La Universidad Estatal de Nueva York, en Buffalo, está desarrollando una nueva tecnología para el almacenamiento de información, que funciona de manera similar a los discos láser

compactos, pero que, a diferencia de éstos, almacena los datos hasta en 100 capas y no sólo en la superficie. Esta característica permite guardar hasta 1 terabyte de datos (aproximadamente 1 trillón de caracteres o 1.000 veces la capacidad de un CD corriente).

La diferencia básica del nuevo aparato consiste en su cabeza lectora-

escribora que funciona con un rayo láser infrarrojo, capaz de graduar exactamente la penetración del rayo en el disco, capa por capa.

El uso de estos dispositivos, por su alto costo, estará limitado inicialmente al almacenamiento de datos e imágenes de las grandes compañías y bibliotecas.



## SEGURIDAD

### Nuevas armas contra los conductores ebrios

La doctora Kathleen E. Cummings, investigadora del Instituto de Tecnología de Georgia, ha analizado la forma en que el aire pasa de los pulmones a la glotis, a través de la tráquea, antes de ser convertido en palabras por la modulación de los dientes y la lengua. En sus investigaciones, la doctora Cummings ha encontrado diferencias cuantificables

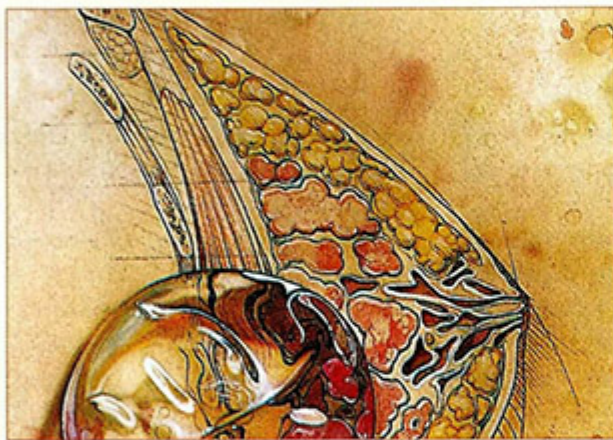
entre los sonidos producidos en estados de tensión y de calma.

Actualmente, en colaboración con los investigadores del lenguaje de la Universidad de Indiana, espera poder cuantificar las variaciones existentes entre el lenguaje de las personas sobrias y el de las ebrias. Una vez se obtengan estos patrones, será muy fácil determinar el

estado de embriaguez de un conductor, analizando su lenguaje oral con un computador portátil, en cualquier patrulla de la policía vial.



## MEDICINA



### ¿Una técnica más efectiva para la detección del cáncer de seno?

Es de gran importancia que aquellas mujeres que presentan predisposición o que tienen herencia de cáncer de seno, al igual que las que sufren de quistes fibrosos, se sometan con relativa frecuencia a exámenes de rayos X.

Infortunadamente, estos exámenes revelan a menudo falsos resultados, haciendo necesario que se practique una biopsia, que es un procedimiento costoso y doloroso.

Hace poco, sin embargo, un grupo de científicos de la universidad de

Purdue, de Estados Unidos, ideó una forma de reemplazar los rayos X

con un procedimiento novedoso y de bajos costos, consistente en la exposición del tejido mamario a la luz infrarroja de diodos de láser. La luz excita las moléculas del tejido mamario y éstas, al cambiar de nivel energético, emiten una luz fluorescente. Mediante el uso de programas de computador, que también han sido desarrollados en Purdue, pueden analizarse datos bioquímicos tales como el nivel de oxígeno y la acidez del tejido en cuestión.

Esta información proporciona una ayuda de gran importancia en la

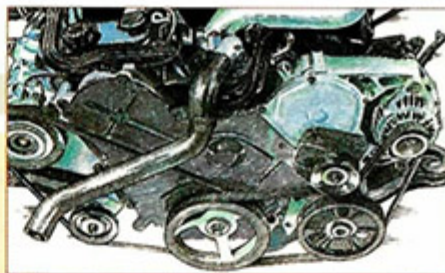
detección temprana de tumores, puesto que éstos no son normalmente revelados de manera eficaz mediante el uso de rayos X o de otras técnicas de imagen.

Además de su efectividad, esta técnica presenta un beneficio adicional por el hecho de que el equipo necesario para aplicarla es mucho menos costoso que un aparato de rayos X o de resonancia magnética.



## MECÁNICA

### Aceite vegetal para motores



**E**n algunos años, la idea de lubricar los motores de los vehículos con aceite vegetal dejará de ser una idea descabellada. Por ejemplo en Europa, ya se está usando un aceite conocido como «Canola» para lubricar algunos sistemas hidráulicos.

Actualmente, las investigaciones apuntan a la búsqueda de un aceite vegetal que resista mayores temperatu-

ras, para su uso en los motores, ya que estos sistemas generan gran calor.

Compañías como Dow Elanco y Du Pont han desarrollado, mediante técnicas de ingeniería genética, aceites monosaturados de maíz y de soja que tienen mejor resistencia a temperaturas elevadas. Sin embargo, incluso el mejor aceite vegetal requiere aditivos basados en el petróleo para evitar su degradación y la consecuente formación de depósitos.

La compañía Renewable Lubricants Inc., de Hartville, Ohio, ha desarrollado uno de estos aditivos que, según afirma, ha tenido durante los pasados tres años un desempeño tan bueno o incluso mejor que el de un aceite mineral, en dos vehículos de prueba. En caso de ser aprobado para uso en vehículos, este lubricante tendría un costo un poco mayor que el de un aceite convencional, pero menor que el de los aceites sintéticos.



## TECNOLOGÍA

### Avances en el desarrollo de pantallas de televisión

#### El proceso Plasmatrón

**L**os dispositivos láser son sólo una de las formas para producir pantallas planas de gran tamaño; sin embargo, gracias a sus ventajas, pueden constituir la mejor opción. La empresa Sony recomienda el llamado "proceso Plasmatrón" que, según el fabricante, se destaca por su brillo, contraste y resolución de imagen. El sistema

consta de una matriz activa con control independiente para cada pixel de cristal líquido.

Lo novedoso del aparato radica en los interruptores electrónicos de plasma, que controlan el proceso, en reemplazo de los transistores convencionales. La descarga de plasma es generada por el paso de una corriente eléctrica a través de tubos llenos de gases a baja presión. La imagen total está compuesta por 450

canales plasmáticos dispuestos horizontalmente, de forma tal que cada línea corresponde a un canal.

La empresa Sony se ha propuesto producir unidades livianas, de 50 a 127 cm de longitud diagonal, que puedan colgarse en la pared. Se espera que estos televisores ultraplano aparezcan en el mercado doméstico japonés a finales de 1997.



#### Dispositivos digitales de espejos

**E**n 1997, Nokia iniciará la producción en serie de pantallas planas de formato grande (130 cm de longitud diagonal), utilizando el "procesamiento digital de luz" desarrollado por Texas Instruments, con el cual se obtendrá una imagen de calidad similar a la observada en una sala de cine con iluminación corriente. Los televisores tendrán aproximadamente 1 metro de espesor y un peso inferior a 35 kilos.

El dispositivo digital de espejos consiste en un circuito integrado, cuya superficie (1-1,5 cm) está compuesta por cerca de medio millón de pequeños espejos rotatorios (uno por cada pixel). Debajo de cada microrreflector se ubica una celda de memoria que controla la posición del espejo, mediante una señal digital. La iluminación del sistema proviene de un bombillo halógeno convencional de 100 vatios que proyecta un

haz de luz hacia los espejos, los cuales lo distribuyen en la pantalla a través de filtros de color y sistemas de lentes.

El brillo en diferentes puntos de la imagen depende de la frecuencia con que se activan los espejos (más de 25.000 veces por segundo). Nokia espera poder introducir sus unidades de formato 16:9 PAL plus en el mercado europeo, con un costo de \$3'400.000 a \$5'440.000.



## NEUROLOGÍA

### ¿Son contagiosas las enfermedades mentales?

**E**n épocas pasadas se culpó a la brujería de las enfermedades mentales. Posteriormente, Freud y otros psiquiatras las asociaron con traumas de la niñez, y en los últimos años se ha estudiado el papel de la bioquímica en las funciones del cerebro.

Ahora, un grupo de científicos alemanes considera que algunas enfermedades mentales pueden ser transmitidas por virus. La doctora Liv Bode, del Instituto Robert Koch, de Berlín, aisló el virus Borna de tres individuos que sufrían desórdenes emocionales. Al infectar animales de laboratorio con este virus, éstos desarrollaron serios problemas de

comportamiento, según se afirma en un artículo de *Psiquiatría Molecular*, de julio de este año.

El virus Borna ha evolucionado a través de los años y ha dado lugar a diversas cepas que atacan a diferentes especies animales. La cepa que ataca al hombre es muy específica, lo que sugiere que los individuos estudiados por los alemanes fueron infectados con una cepa que solamente afecta a la especie humana. Otros estudios han identificado anticuerpos contra cepas animales del virus en un cinco por ciento de animales saludables. Además se ha detectado el virus en un tercio de los

individuos que sufren de esquizofrenia o que padecen de obsesiones y manías.

Debido a que las pruebas serológicas que se utilizan en este momento fueron diseñadas con base en las cepas que infectan animales, es difícil encontrar anticuerpos contra la cepa que ataca a los humanos, pero una vez conocido el código genético del virus aislado se podrá diseñar una prueba específica para la detección de este microorganismo en seres humanos, y así se podrá determinar su incidencia entre los enfermos mentales.



AS DISEÑO PIM LIDA.

# Ayudamos a mantener todas las formas de vida.

CIENCIA E INDUSTRIA  
Productos y Sistemas Profesionales  
Calle 98 No. 22-64 Piso 11 A.A. 4284  
PBX: 623 55 11  
Fax. (91) 623 41 88  
Santafé de Bogotá, D.C.

*Juntas hacemos tu vida mejor.*



## PHILIPS

# Bioerosión





# Bioerosión en la costa pacífica colombiana: el interesante mundo de los animales destructores de acantilados rocosos



Jaime Ricardo Cantera,  
Raúl Neira y Constanza Ricaurte.  
Departamento de Biología, Sección de Biología Marina,  
Universidad del Valle.  
E-mail: jcantera@biomarina.univalle.edu.co.  
Cali, Colombia.

## Introducción

La erosión biológica o bioerosión es uno de los procesos más importantes en lo relacionado con la destrucción de las costas rocosas y de los arrecifes coralinos, en todo el mundo. De hecho, en la actualidad, es uno de los principales factores de las modificaciones de la línea costera, habiendo producido, en los últimos años, cambios en el aspecto de varias regiones del Pacífico colombiano. En las bahías de Málaga y Buenaventura han aparecido nuevas islas, transformando su tamaño, profundidad y límites<sup>1</sup>. En los arrecifes coralinos de la isla de Gorgona, las bases de las colonias están siendo destruidas por organismos perforadores que las debilitan, provocan inestabilidad en el arrecife y, finalmente, desprendimiento de las colonias y muerte de los corales<sup>2</sup>.

Aunque algunos crustáceos y vermes son capaces de destruir rocas, los principales organismos involucrados en los procesos bioerosivos son moluscos bivalvos de las familias taxonómicas *Pholadidae*, *Petricolidae* y *Mytilidae* (en esta última, del género *Lithophaga*). A pesar de su aspecto delicado y pequeño y de su textura frágil, actúan como verdaderos taladros vivientes. Son capaces de perforar rocas de diferentes clases mediante movimientos rotatorios y friccionando su concha, y, en algunos casos, por ablandamiento con sustancias químicas.

Este proceso, potenciado por otras consecuencias del cambio del medio ambiente global, aumentará su efecto sobre la línea costera y afectará la geomorfología costera y los asentamientos humanos allí localizados.

**Figura 1.** El Morro, también conocido como "El Barco", en cercanías de la bahía de Málaga, un ejemplo típico de las islas formadas por el proceso de bioerosión.

En Colombia, éste ha sido un importante proceso geológico, responsable de gran parte de la erosión en la costa del Pacífico. En las islas de El Gallo y El Morro, en Tumaco, en el golfo de Tortugas, el noroeste de la bahía de Buenaventura y gran parte de la bahía de Málaga se aprecian vestigios de dicho proceso, que ha formado arcos o líneas de islas. La isla de Palma y El Morro (figura 1) son típicas formaciones en las que permanecen señales de su antigua unión con el continente del cual fueron separadas, probablemente por este fenómeno.

### Acantilados afectados

Los acantilados, como se observa en la (figura 2), se caracterizan por su estructura sedimentaria (lodolitas, limolitas, areniscas y conglomerados) por capas, así como por su exposición a las mareas altas<sup>4</sup>. Por ello, se cree que fueron plataformas submarinas antiguas, formadas durante el período terciario, que emergieron recientemente (hace unos 11 millones de años)<sup>5</sup>. Para explicar este fenómeno se han sugerido dos teorías: la primera plantea un ascenso del nivel del mar, hace cerca de un millón de años, que cubrió la

plataforma y posteriormente regresó al nivel original. La segunda propone un levantamiento costero, después de formada la plataforma, que le permitió emerger, sin modificar su forma plana<sup>6</sup>.

La diversidad biológica de estos acantilados es alta<sup>7</sup>; en ellos se han identificado 45 especies animales (moluscos, crustáceos, esponjas y anémonas) y 12 vegetales diferentes (algas, líquenes y plantas compuestas). Otra de sus características es la gran variación en la flora y la fauna entre las zonas superiores e inferiores, a lo largo del acantilado.

### Fases del proceso

Los procesos biológicos destructores del sustrato rocoso pueden dividirse en tres fases:

**1. Abrasión superficial**, en la que los organismos *endolíticos* (principalmente algas, líquenes y algunas esponjas) inician un proceso de microerosión química. Este proceso se complementa con la acción de los organismos

*raspadores* (moluscos y crustáceos), que rayan la superficie de la roca con sus desplazamientos, dejando huellas en ella.

**2. Penetración**, en la que los organismos *perforadores* hacen galerías dentro de la roca, para protegerse de la acción del oleaje, la desecación y los predadores.

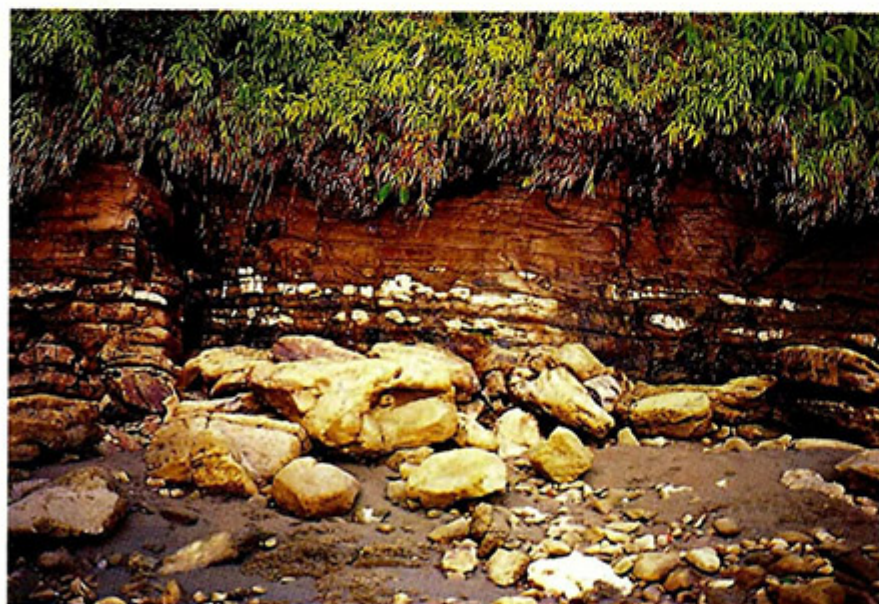
**3. Caída y meteorización de las rocas**, lo que genera un nuevo sustrato en el suelo (arenoso o fangoso), dependiendo de la composición de las rocas y del transporte de partículas sedimentarias por el hidrodinamismo marino.

En cada fase intervienen procesos físicos que contribuyen a acelerar la erosión y aumentan la pérdida de material rocoso. Los organismos que participan en las tres fases del proceso pueden clasificarse como *endolíticos*, *abrasores* y *perforadores*.

- *Organismos endolíticos*: erosionan la roca, actuando desde su interior. Entre ellos se encuentran

las cianobacterias, los líquenes, algunos tipos de hongos, y algas verdes y calcáreas. Estas últimas pueden perforar, perpendicularmente,

**En cada fase intervienen procesos físicos que contribuyen a acelerar la erosión y aumentan la pérdida de material rocoso.**



**Figura 2.** Los acantilados rocosos terciarios, donde ocurren los procesos de bioerosión. Las rocas están separadas en dos capas: una ancha, de rocas blandas (lodolitas, más oscuras) y otra estrecha, de rocas más duras (areniscas, conglomerados, más claras).

hasta a 1 mm en la roca de la pared del acantilado. Las cianobacterias y los líquenes, actúan químicamente, haciendo microperforaciones. Las algas calcáreas, rojizas y verdes también liberan sustancias químicas y mantienen húmeda la superficie de las rocas, facilitando su corrosión.

- *Organismos bioabrasores*: son principalmente caracoles y cangrejos; participan en el proceso erosivo al alimentarse de las algas y los microorganismos que crecen en la superficie de las rocas (**figura 3**). Los caracoles de este grupo tienen rádulas particularmente duras que faci-



**Figura 3.** Líquenes negros forman parches circulares sobre la superficie de las rocas, sirviendo de alimento a algunos caracoles gastrópodos, como a ciertas lapas o patelas.

litan el raspado de la superficie rocosa para separar la microflora, mientras que los crustáceos utilizan con las tenazas o con el caparazón<sup>8</sup>. El raspado de la superficie rocosa estimula el crecimiento de las cianobacterias<sup>9</sup> hacia el interior de la roca. Este proceso permite que se retire parte del sustrato con las microalgas y que se libere en forma de sedimentos finos. En cada mm<sup>2</sup> se pueden encontrar hasta 9.000 cavidades endolíticas de unas 7 micras de diámetro y hasta 1 mm de profundidad, aumentando la superficie de choque con el oleaje y la de fijación de organismos vivos.

- *Organismos perforadores*: 12 especies de invertebrados marinos, 4 moluscos bivalvos (género *Lithophaga*), 5 de la familia *Pholadidae*, 2 crustáceos y 1 gusano sipuncúlido han demostrado ser capaces de producir perforaciones en las rocas. Después de la abrasión superficial, estos organismos cavan hacia el centro de la roca, mediante acción mecánica o química, debilitando su estructura y aumentando la superficie de impacto de las olas. Se han identificado dos tipos dentro del grupo; uno que erosiona las capas más delgadas y duras, y otro que perfora las capas blandas y más anchas.

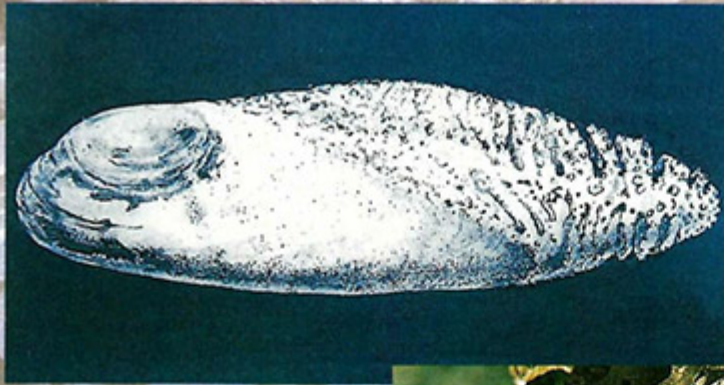
Los moluscos del género *Lithophaga* (**figura 4**) se caracterizan por perforar las rocas duras con un orificio bilobulado<sup>9</sup>, en forma de "ánfora", de una longitud entre 20 y 70 mm. Los bivalvos, de la familia *Pholadidae*, son uno de los grupos más destructores de rocas blandas (lodolitas y limolitas) en las zonas bajas de los acantilados del Pacífico colombiano; sus perforaciones son cilíndricas y son producidas por el rozamiento de las valvas de la concha contra la roca. (**figuras 5**). Las cuevas de estos organismos fueron estudiadas con radiografías, usando tratamiento de imágenes (**figuras 6 y 7**).

El *Upogebia tenuipollex* y el *Alpheus bouvieri* son los principales crustáceos involucrados en los procesos de bioerosión. Es característico del *U. tenuipollex* realizar perforaciones en forma de "Y", con un agujero principal y una prolongación sin salida al exterior (**figura 8**). El *A. bouvieri* utiliza el dactilo, que funciona como martillo, para golpear y fraccionar la roca.

### Bioerosión: cuantificación del proceso

El mecanismo descrito de bioerosión es, al parecer, muy activo y rápido, lo que se aprecia al examinar las fotografías aéreas de la costa, tomadas en diferentes fechas. Dada la importancia del proceso, era importante cuantificar el volumen erosionado, la densidad de las perforaciones y la tasa de bioerosión.

**Densidad de las perforaciones.** La mayor cantidad de organismos perforadores se encuentran en las zonas inferiores de los acantilados, donde las perforaciones pueden alcanzar densidades cercanas a los mil agujeros por m<sup>2</sup>. Esto demuestra que la perforación es un proceso que ocurre en las zonas que permanecen más tiempo sumergidas por la marea alta, durante la cual confluyen la máxima acción del oleaje con la presencia de organismos. En isla de Palma, donde sólo las partes inferiores del acantilado son realmente cubiertas por la marea alta durante un tiempo prolongado, se presenta un significativo número de perforaciones en la zona baja, mientras que las perforaciones son muy escasas en la zona alta donde sólo llegan las salpicaduras de las olas. Al contrario, en la isla del Cangrejo, las dos zonas tienen un promedio muy similar de perforaciones, esto se debe a que la base de este acantilado se colma con sedimentos finos lo que permite que las especies perforadoras logren colonizar zonas más altas. Observando en



A

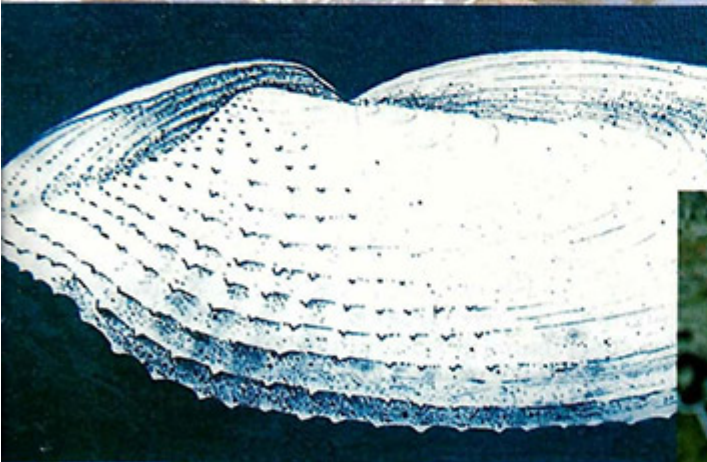
**Figura 4.** Moluscos perforadores de rocas en las formaciones terciarias de la bahía de Málaga, pertenecientes al género *Lithophaga*. A. Aspecto general. B. Posición en la roca y forma de la caverna donde habitan.



B

A

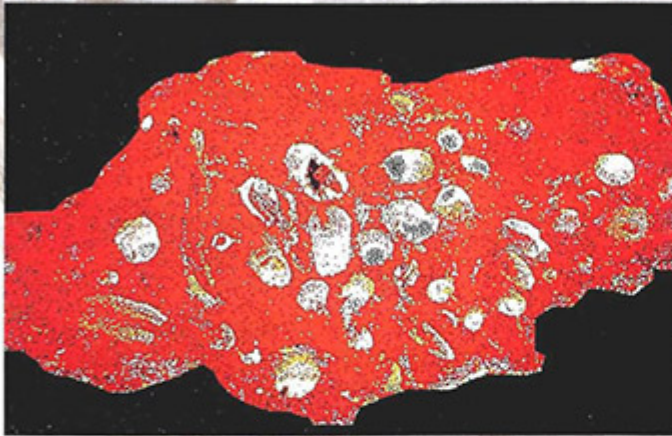
**Figura 5.** Moluscos perforadores de rocas en las formaciones terciarias de la bahía de Málaga, pertenecientes a la familia Pholadidae: *Pholas chiloensis*. A. Aspecto general. B. Posición en la roca y forma de la caverna donde habitan.



B



**Figura 6.** Perforaciones de moluscos pholadidos en rocas de lodolitas: Tratamiento de imágenes para apreciar las cavidades abiertas y los perforadores. En la composición, en falso color, se aprecia en anaranjado el cuerpo de la roca, en blanco sus cavidades, en tono oscuro los animales que permanecen en ella y en azul los huecos vacíos y profundos.

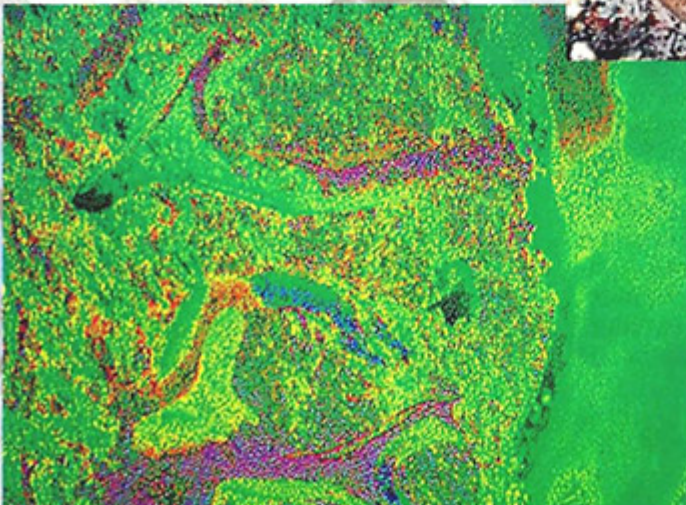


**Figura 7.** Radiografía de las perforaciones de moluscos pholadidos en rocas de lodolita, en donde se aprecia la colocación del organismo dentro de la perforación. Al lado se aprecia una cavidad vacía.

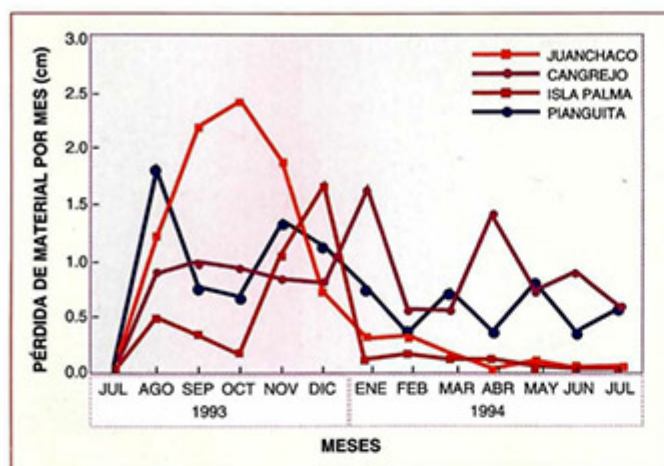
A



B



**Figura 8.** Perforaciones del camarón "fantasma" *Upogebia tenuipollex*, que muestran las cavidades en forma de "Y", con una salida al exterior y una cavidad para resguardarse. A. Corte de la roca, donde se observan las cavidades, B. Tratamiento de la imagen radiográfica.



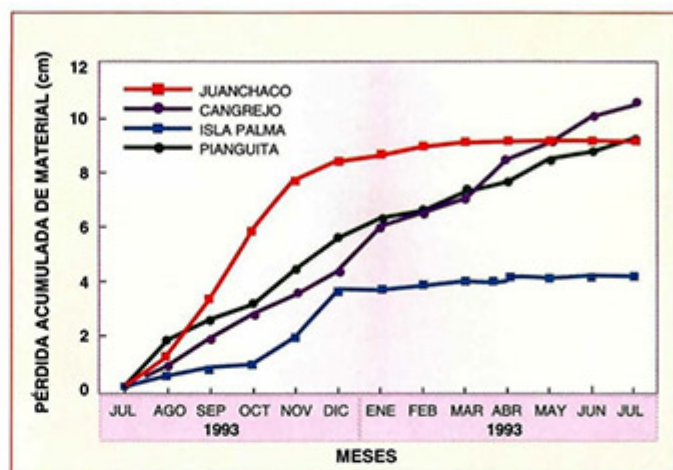
A

conjunto, se puede apreciar también que el mayor número de perforaciones en la zona alta lo presentan los acantilados de zonas interiores de las bahías.

El volumen de material rocoso perforado es calculado en función de su posición con respecto a las mareas y de la naturaleza de las rocas. Los acantilados que presentaron mayores porcentajes de roca perforada son los de la Isla Cangrejo y Pianguita. En la primera, el factor importante es la poca consistencia de las rocas, en su mayoría lodolitas (rocas formadas por la compactación de materiales lodosos), con caída casi uniforme de rocas en todos los niveles. En la segunda, el elevado porcentaje de erosión de la parte baja por la acción del oleaje se traduce en la formación continua de cavernas de abrasión, que implican la caída de grandes bloques rocosos por falta de sustentación. Juanchaco e Isla de Palma tienen los más bajos porcentajes de rocas erosionadas, como consecuencia de la mayor dureza de sus rocas. La densidad de organismos perforadores está significativamente correlacionada con el porcentaje del volumen total erosionado, lo cual muestra la importancia de la acción de los organismos en el proceso erosivo.

La medición de la **tasa de bioerosión** fue realizada con varillas de hierro señalizadas que fueron introducidas a presión en las rocas blandas y con martillo en las duras, midiendo la longitud de la varilla que se iba exponiendo en el tiempo, como consecuencia de la caída de rocas por erosión. Estas varillas fueron colocadas en las cinco estaciones y en cada una de las tres zonas estudiadas. Se utilizaron tres réplicas por zona en cada estación. La tasa absoluta de erosión encontrada fue bastante variable, dependiendo del oleaje, de la naturaleza del

Figura 9. Tasa instantánea (A) y acumulada (B) de bioerosión en un año de estudio (julio 93-julio 94), en las cuatro localidades estudiadas: isla Cangrejo, Pianguita, Juanchaco e isla de Palma).



B

material que lo forma y de los organismos que colonizan el acantilado.

En isla Palma (figura 9A), donde el proceso es el más lento de todos, las varillas se expusieron en promedio 0.42 cm por mes, lo que significa una pérdida en promedio de un volumen de  $62.5 \text{ cm}^3 \times \text{m}^2$  de superficie de pared rocosa por mes. Durante el año de estudio cayó una franja de 4 cm de profundidad de la pared (figura 9B). Por el contrario el acantilado que más rápidamente se erosionó durante el período de estudio fue el de Juanchaco cuya pared se retrajo en promedio 0.8 cm/mes en cada cuadrado, lo que significa un volumen cercano a  $120 \text{ cm}^3 \times \text{m}^2$  de superficie de pared rocosa por mes o una franja total al año de 9 cm. Sin embargo, el seguimiento de este acantilado mostró que la tasa de erosión no es continua a lo largo de un lapso de tiempo, sino que hay muchos factores climáticos y abióticos que pueden modificarla. En el mes de noviembre de 1993, se presentó una puja (marea de alcance amplio) muy fuerte que arrancó grandes cantidades de arena de la base del acantilado estudiado. Esto tuvo como consecuencia que las áreas donde se encontraban las varillas quedarán muy altas y fuera del alcance el agua, incluso en las mareas máximas, con lo cual el proceso prácticamente se detuvo (figura 9A). La pérdida de arena también permitió observar que suceden cambios en el nivel del sustrato continuamente, puesto que el nuevo material de base que quedó al descubierto por la puja

(algunos metros por debajo del nivel anterior) correspondía también a una parte del acantilado con señales muy claras de bioerosión (huellas de abrasión, perforaciones de *pholadidos* y *Lithophaga*, fracturas en las rocas, plataforma de abrasión) pero sin organismos. Sólo se encontraron conchas vacías y las algas estaban muertas. Es muy posible que una llegada de arena tan abundante como ocurrió, haya ocasionado una mortalidad masiva y haya retardado el proceso en los niveles bajos, aumentando el efecto sobre la parte superior. Este efecto empezará nuevamente a disminuir con la nueva pérdida de arena.

En los otros acantilados estudiados (isla Cangrejo, Pianguita), el proceso empezó lentamente; se aceleró durante la primera parte del año 1994, debido a la aparición de una pequeña anomalía térmica positiva en las aguas del Pacífico colombiano, durante la cual se produjo una ligera elevación del nivel del mar (aproximadamente 1 cm). La tasa promedio de pérdida de material fue de 0,9 cm, lo cual significa que al final del año examinado, el acantilado de isla Cangrejo había perdido 11 cm por bioerosión, presentando un aumento gradual hasta el mes de julio (figura 9).

### Bioerosión: interrelación entre factores físicos, químicos y biológicos

Los factores físicos, químicos y biológicos que intervienen en este proceso como aceleradores o retardadores son múltiples y están esquematizados, junto con el proceso general de bioerosión en la (figura 10).

Inicialmente, el acantilado es ocupado en la zona intermareal por algas calcáreas, líquenes y cianobacterias que realizan microperforaciones por acción química. Después de su establecimiento, estas poblaciones, son atacadas por los organismos abrasionadores (gastropodos y crustáceos), que para retirarlas producen raspaduras sobre la superficie rocosa. Los organismos perforadores (especialmente moluscos de la familia *Pholadidae* en la franja de rocas blandas y del género *Lithophaga* en la de rocas duras aprovechan las huellas dejadas por la abrasión para fijarse a la pared y comenzar a producir las perforaciones. Con su crecimiento, estos organismos van debilitando la franja más baja, donde por acción de las mareas y del oleaje, se va formando una caverna debajo del acantilado, conocida como caverna de abrasión.

### Resumen general del proceso de bioerosión en la costa pacífica colombiana

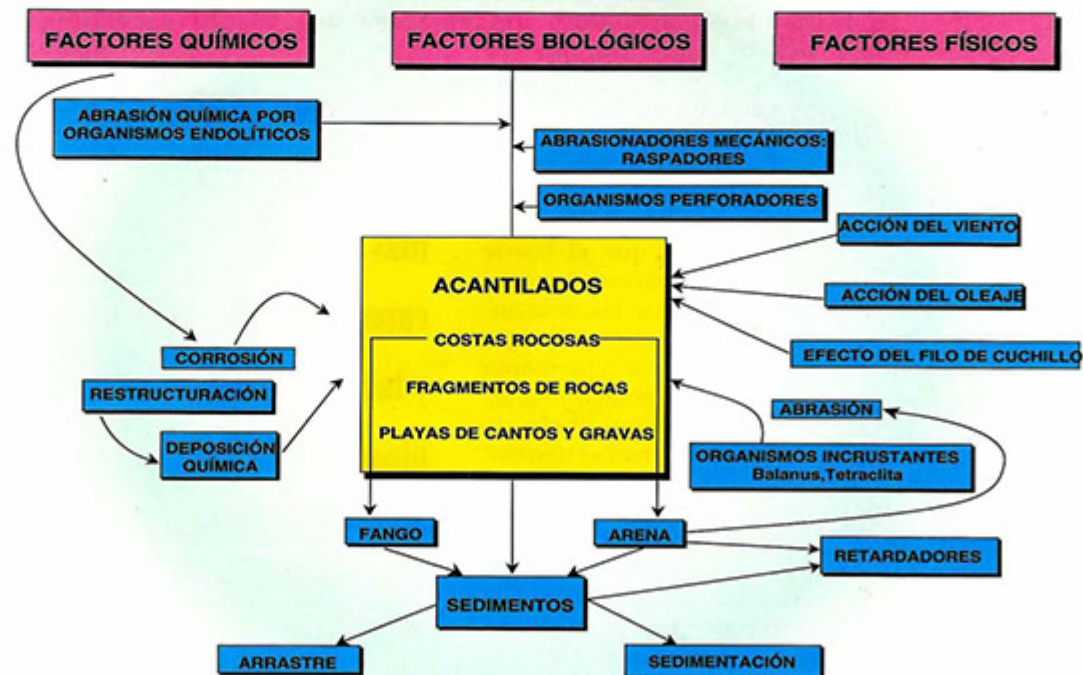


Figura 10. Modelo conceptual del proceso global de erosión de acantilados terciarios en la costa pacífica colombiana: interrelaciones entre procesos biológicos, químicos y físicos.

**Figura 11.** Efecto de un "filo de cuchillo" sobre el acantilado, que acelera el proceso al hacer que el techo de la caverna de abrasión se desplome y ésta se agrande.



El proceso erosivo se hace cada vez más fuerte, al ser canalizada el agua y la energía del oleaje por la base de la caverna de abrasión. El golpe del agua canalizada por estas cavernas aumenta principalmente cuando el acantilado está constituido por lodolitas. La formación de las cavernas se ve favorecida también por la presencia de salientes en el acantilado, donde al romper la ola se produce una proyección de ella por el nivel en que se encuentra la saliente, haciendo que se formen hileras de perforaciones que contribuyen a debilitar el acantilado a ese nivel. Cuando las salientes por rocas caídas canalizan el agua en partes más elevadas que el borde superior de las cavernas, la repetición del choque de las olas sobre el mismo punto y «su viaje» sobre la pared rocosa a la misma altura van produciendo una grieta recta sobre el acantilado, la cual se profundiza con el tiempo. Este efecto de corte de la roca por encima de caverna como «un filo de cuchillo» es otro factor que acelera el proceso, puesto que hace que el techo se desplome y la caverna se vaya agrandando (**figura 11**). Cuando esta caverna de abrasión alcanza determi-

nada profundidad y deja de existir un soporte para la pared superior del acantilado, todo el bloque se desprende y cae, desapareciendo temporalmente la caverna de abrasión.

Una vez desprendida y alterada la pared del acantilado, se forma sobre la nueva pared otra zona de perforación, la cual se transforma lentamente en una caverna de abrasión, iniciándose el proceso, que se repite continuamente y que terminará por ocasionar una sensible alteración en la geomorfología costera del Pacífico colombiano. Muchas de las islas que bordean el área de estudio, como isla de Palma, los Morros de Juan de Dios, la estructura denominada «Culo e' barca» o «El Galeón», la isla de Curichiche, en la bahía de Málaga, y la isla Cangrejo, en la bahía de Buenaventura, muestran evidencias de que fueron separadas de la región continental por este proceso, quedando entre ellas y el continente una plataforma de abrasión submarina, donde todavía se realizan proceso erosivos y cuyas rocas aun tienen perforadores.

**E**l proceso erosivo se hace cada vez más fuerte, al ser canalizada el agua y la energía del oleaje por la base de la caverna de abrasión.

## Efectos de la destrucción de acantilados en el Pacífico colombiano

Por sus hábitos de vida, los pobladores del Pacífico construyen sus viviendas en las zonas más bajas de los acantilados. Solamente algunas fincas de recreo y proyectos de desarrollo turístico utilizan las zonas más altas. En Juanchaco, Ladrilleros, La Plata y Punta Bazán, los habitantes se han visto obligados, en algunas ocasiones, a trasladar sus viviendas por las modificaciones costeras derivadas de la destrucción de los acantilados.

A largo plazo, como consecuencia del calentamiento del planeta, ocurrirá un incremento del nivel del mar; este hecho aumentará el área de asentamiento de los abrasores y perforadores, lo que acrecentará el efecto del mar sobre el habitante del Pacífico colombiano.

En conclusión, la bioerosión constituye un interesante tema de investigación que debe ser ampliado, debido a la gran relevancia de sus implicaciones para los habitantes de la costa pacífica colombiana y, desde el punto de vista biológico, por los complejos mecanismos fisiológicos y ecológicos que involucra.

## Agradecimientos

El desarrollo de esta investigación ha sido posible gracias a la colaboración y al

apoyo, tanto financiero como logístico, ofrecido por Colciencias y la universidad del Valle, durante el desarrollo del proyecto "indicadores biológicos de condiciones oceanográficas y de contaminación en las bahías de Buenaventura y Málaga", del cual se tomaron la mayoría de los datos presentados en este artículo.


El geólogo Iván Correa y el biólogo Juan Darío Restrepo, del departamento de geología ambiental de la universidad EAFIT, de Medellín, aportaron información fundamental sobre las características geológicas, geomorfológicas y biológicas de los acantilados terciarios, además de su vasto conocimiento de la metodología utilizada en el tratamiento de las imágenes. La Armada Nacional de Colombia, en particular la DIMAR y la sección de Faros y Boyas, facilitó el acceso a isla de Palma y a las zonas cercanas a la Base Naval de Málaga, para su estudio.

Los profesores de biología marina de la Universidad del Valle contribuyeron con observaciones sobre la fauna de los acantilados y con la identificación de los organismos; de igual manera, los biólogos Gabriel Ramos y Efraín Rodríguez laboraron en el tratamiento digital de imágenes fotográficas y radiográficas, a la vez que Jorge Tovar, Pedro Tabares y Jairo Lasso colaboraron con la recolección de datos en el campo.



## Referencias

1. Martínez J. O. Geomorfología. pp: 110-119. en: Leyva, P. (Editor): COLOMBIA: PACÍFICO Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente FEN, Santafé de Bogotá, 396 p., 1993.
2. Cantera J.R. y Contreras R. Bivalvos perforadores de corales escleractinarios en la isla de Gorgona, Colombia. *Rev. Biol. Trop.* 36 (1): 151-158, 1988.a
3. Warme, J.E. Traces and significances of marine rock borers, pp: 515-525 in: Crimes, T.P. and Harper, J.C. Trace Fossils. *Proc Liverpool Intern. Conf. Geol. Scienc.*, 547 p., 1970.
4. Cantera J.R. y Contreras R. Ecosistemas costeros. pp: 65-79. en: Leyva, P. (Editor): COLOMBIA: PACÍFICO Tomo I. Fondo para la Protección del Medio Ambiente FEN, Santafé de Bogotá, 396 p., 1993.
5. Aspen J.A. & Nivia A. Mapa geológico preliminar bahía de Buenaventura. *Ingeominas, carte 278*, 1985.
6. Martínez J. O. y Carvajal J. H. Problemas geológicos asociados a la línea de costa de los departamentos de Cauca, Nariño y Valle. *Informe INGEOMINAS*, 167 p., 1990.
7. Cantera J.R. Etude structurale des mangroves et des peuplements littoraux des deux baies du pacifique colombien (Málaga et Buenaventura). *Rapport avec les conditions du milieu et les perturbations anthropiques. These d'Etat Sciences. Université d'Aix-Marseille II. Marseille France*, 429 p., 1991.
8. Runham N. W. y Thornton P. R. Mechanical wear of the gastropod radula; a scanning electron microscope study. *J. Zool. London*, 153:445-452, 1967.
9. Funke W. Untersuchungen zum Heimfindevermögen und zur Ortstreue von Patella. *Zool. Anz. (Suppl.)*, 28: 411-418, 1965.



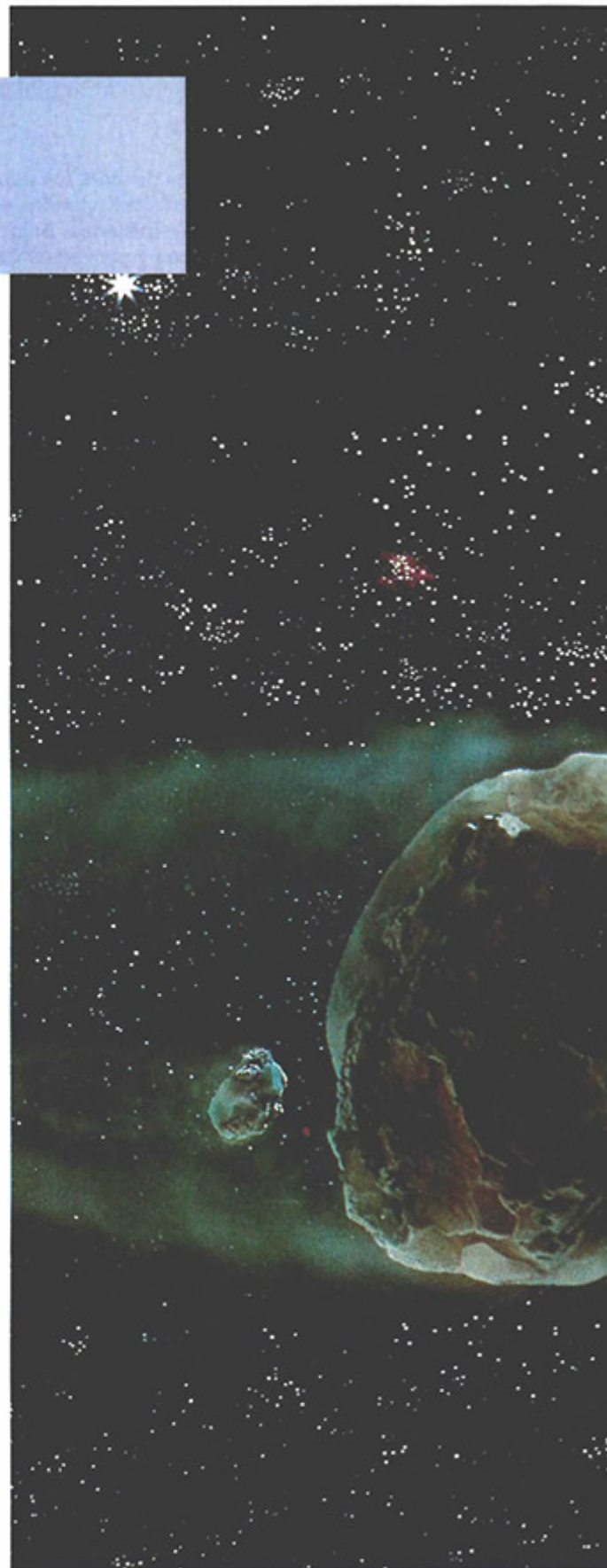
**José Gregorio Portilla B.**  
Secretario Académico,  
Facultad de Ciencias,  
Universidad Nacional de Colombia.  
E-mail: [gportill@ciencias.campus.unal.edu.co](mailto:gportill@ciencias.campus.unal.edu.co)  
Bogotá, Colombia.

### Introducción

**S**e cree que el sistema solar tuvo su origen hace unos 4.600 millones de años, como producto de la lentísima condensación de una enorme y tenue nube de gas y polvo. Los planetas surgieron paulatinamente luego de que el polvo cósmico se comenzó a unir formando partículas; éstas se compactaron produciendo "piedrecillas" que después se fundieron, dando origen a rocas más grandes, y estas últimas fueron creciendo hasta constituir "pequeños planetas", en los que se acumuló más materia, hasta que finalmente llegaron a conformar los planetas que hoy conocemos.

En sus últimas etapas, el proceso de acumulación de materia debió ser de características muy violentas, puesto que se produjeron choques de cuerpos de masas apreciables, a velocidades de decenas de kilómetros por segundo. La enorme energía liberada en un choque de esta clase puede volatilizar completamente un objeto, tal como parece que sucedió hace unos 4 mil millones de años, cuando un cuerpo del tamaño del planeta Marte chocó contra la Tierra. Los residuos de esta explosión cósmica dieron, con el tiempo, origen a nuestra Luna.

El proceso de mayor acumulación comenzó a declinar hace unos 3.500 millones de años. Los enormes cráteres existentes en las super-





# Colisiones planetarias



**Figura 1.** Un cometa puede entrar en colisión con la Tierra y, si se trata de uno grande, ocasionaría graves trastornos. A finales de 1992, la noticia de que existe una probabilidad en diez mil de que el cometa Swift-Tuttle choque contra la Tierra en agosto del año 2126, generó pánico.

Los asteroides son cuerpos de naturaleza rocosa y metálica, situados entre las órbitas de Marte y Júpiter; algunos tienen un diámetro superior a los 500 km, pero en su mayoría son tan pequeños como una simple roca. Otros cuerpos de composición más volátil fueron concentrándose a una distancia mucho mayor del Sol, equivalente a unas 10.000 veces la del planeta Plutón. Esta región, conocida con el nombre de nube de Oort, aloja a millones de estos cuerpos que los

astrónomos llaman cometas y que cuentan con un diámetro no superior a los 20 km. Muy recientemente ha sido descubierta otra zona, el cinturón de Kuiper, en donde parece haber una gran acumulación de objetos de tamaño apreciable (de unos 200 km de diámetro), muy cerca de las órbitas de Neptuno y Plutón. Desde la detección del primero, efectuada en 1992, hasta junio de 1995, han sido descubiertos 26 de estos cuerpos.

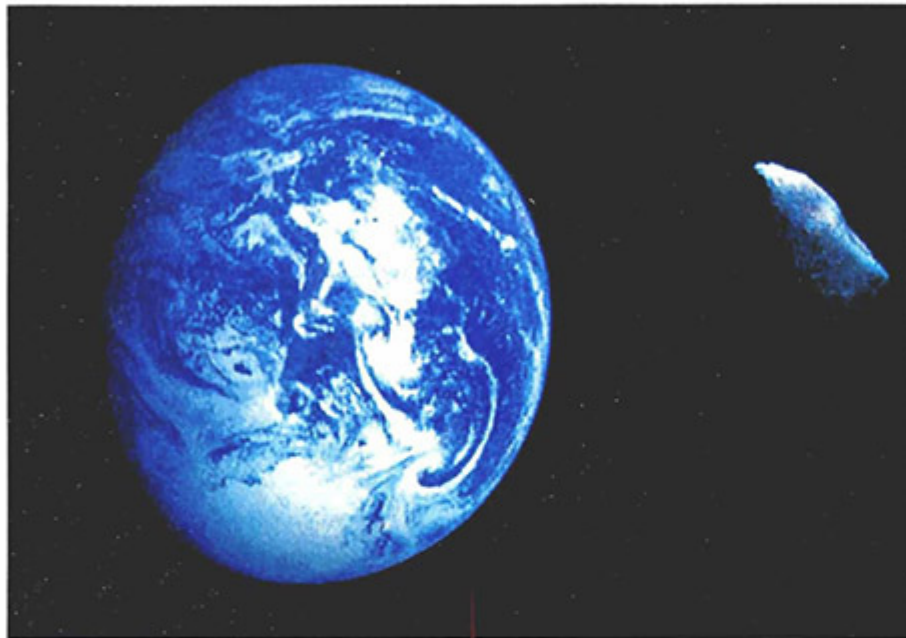
Sin embargo, estos asteroides y cometas no siempre permanecen apasiblemente en esos sectores. Las colisiones que se producen entre ellos, lo mismo que pequeñas perturbaciones gravitacionales, hacen que se produzcan modificaciones en sus órbitas y que terminen abandonando esos lugares. Algunos llegan a acercarse a la región donde se

concentran los nueve planetas mayores (figuras 1 y 2), lo que hace que, tarde o temprano, acaben chocando con algún planeta o adquiriendo una gran velocidad (debido a un extremo acercamiento con Júpiter o con Saturno) que les permite escapar para siempre del sistema solar.

El proceso de acumulación de materia que ha dado origen a estos cuerpos celestes, y en general a los planetas, no ha finalizado, aunque continúa produciéndose a muy pequeña escala.

### Bombardeo cósmico

Todos los planetas y sus correspondientes satélites se ven continuamente sometidos a una especie de bombardeo cósmico por parte de aquellos residuos. Se ha estimado que la Tierra gana dia-



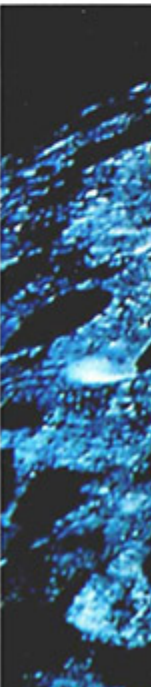
**Figura 2.** Asteroide acercándose a la Tierra. Las técnicas modernas de detección astronómica han permitido identificar pequeños asteroides cuyas órbitas pueden interceptar la de la Tierra. Algunos astrónomos han llegado a hablar de que la Tierra gira alrededor del Sol, desplazándose a lo largo de un pequeño "cinturón de asteroides".

ficos de Mercurio, la Luna, otros satélites y aún algunos asteroides constituyen una clara evidencia de la magnitud con que se desarrolló esta violenta etapa del sistema solar.

Poco a poco, el número de objetos pequeños que aun quedaban dispersos decreció fuertemente, pues fueron atraídos por los cuerpos de masas más grandes, con lo que el número de colisiones disminuyó.

### Residuos celestes

Aquellos cuerpos pequeños y amorfos que escaparon a la atracción gravitacional de los planetas más grandes se fueron acumulando en ciertas regiones alrededor del Sol, donde aún muchos permanecen orbitando.



riamente 20 toneladas de peso, gracias al continuo flujo de material proveniente del espacio. En aquellos planetas rocosos y satélites carentes de atmósfera, tal bombardeo ha hecho que su superficie esté cubierta casi por completo de cráteres (figura 3).

El proceso de "absorción" de material cósmico es muy energético: hay que considerar que tanto los planetas como estos objetos orbitan a velocidades que están entre 1 y 80 km/seg. Como ejemplo, consideremos un asteroide rocoso del tamaño de un balón de fútbol que chocara contra la Luna (que carece de atmósfera) a una velocidad típica de unos 30 km/seg. La energía liberada en el instante del choque sería equivalente a la producida por la explosión simultánea de tres toneladas de dinamita. El intenso calor fundiría instantáneamente los lugares cercanos al choque, produciendo un cráter de varios metros de diámetro.

Planetas como la Tierra, Venus o Marte presentan un número reducido de cráteres; esto se explica por la presencia de una atmósfera (que actúa como un eficiente escudo natural contra la gran mayoría de objetos que llega del espacio) y por procesos de erosión que borran, con el tiempo, los cráteres producidos por aquellos objetos que logran atravesar la atmósfera y llegar hasta la superficie. En el caso específico de la Tierra, se ha logrado establecer que casi todos

#### ALGUNOS CRÁTERES DE IMPACTOS SOBRE LA TIERRA

NOMBRE, LOCALIZACIÓN	DIÁMETRO (KILOMETROS)	EDAD (MILLONES DE AÑOS)
Lago Mien, Suecia	5	118
Wanapitei, Canadá	8	37
Karla, Rusia	10	7
Lappajarvi, Finlandia	14	77
Obolon, Rusia	15	185
Haughton, Canadá	20	13
Gosses Bluff, Australia	22	130
Rochechouart, Francia	23	160
Ries, Alemania	24	15
Río Steen, Canadá	25	95
Boltysh, Rusia	25	100
Mistastin, Canadá	28	38
Puchezh Katunki, Rusia	80	183
Manicougan, Canadá	70	210
Popigai, Rusia	100	39
Chicxulub, Península de Yucatán	300	65

**Tabla 1.** Algunos cráteres sobre la superficie terrestre formados por choques meteoríticos. Hasta la fecha se han identificado unos 140.

los objetos que llegan hasta ella explotan o se consumen

enteramente a una altura comprendida entre los 50 y los 10 km de la superficie, a causa de las enormes presiones de carácter aerodinámico y del calor generado por la fricción al atravesar las capas de aire más densas. Sin embargo, se han identificado sobre la Tierra cerca de 140 cráteres creados por impactos (tabla 1). Algunos objetos pequeños no se destruyen y alcanzan a caer a la superficie casi intactos; son los que conocemos con el nombre de meteoritos.

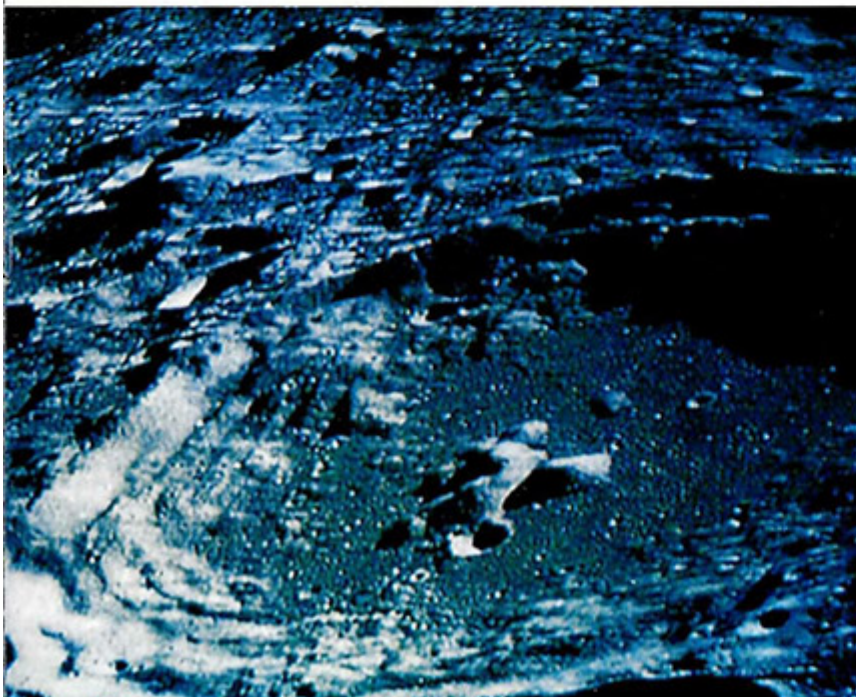
#### Extinciones

Hace 65 millones de años, más del 80 por ciento de las especies vivientes en ese entonces dejó de existir casi de repente. Las amonitas (cuyos fósiles en forma de caracol son muy fáciles de encontrar en cercanías de Villa de Leyva, Boyacá), los dinosaurios y muchas otras clases de animales y vegetales desaparecieron para siempre de la faz de la Tierra.

Los científicos han hecho toda clase de conjeturas para explicar esta extinción masiva. A comienzos de la década de los ochenta se propuso la teoría hoy más popular y de mayor aceptación: el choque de un asteroide contra la Tierra (figura 4). Dicha teoría no sólo explica la elevada concentración de iridio (elemento escaso en la Tierra pero abundante en los meteoritos) en las capas geológicas que datan de 65 millones de años, sino también la presencia del enorme cráter Chicxulub, formado también en esa época, descubierto en la península de Yucatán a comienzos de esta década. Aunque en la actualidad el cráter está completamente cubierto por roca y tierra, se ha logrado establecer que tiene más de 300 km de diámetro.

Se cree que el asteroide que le dio origen contaba con unos 10 km de diámetro. La atmósfera de la Tierra no consiguió bloquear un objeto de tan grandes dimensiones, y se estima que el choque contra la superficie terrestre

**Figura 3.** Cráteres sobre la Luna. El paisaje de este satélite, como el de muchos otros objetos carentes de atmósfera, ha sido enteramente modificado por el continuo bombardeo de pequeños objetos provenientes del espacio.





**Figura 4.** Choque de un asteroide contra el lado nocturno de la Tierra. Un objeto que tenga un tamaño de unos 10 km puede producir un cráter de unos 300 km de diámetro, y la energía que libera puede exterminar centenares de especies de plantas y animales.

liberó una cantidad de energía equivalente a unos 100 millones de bombas de hidrógeno, lo que ocasionó enormes trastornos al ecosistema. La formación del cráter produjo millones de toneladas de polvo que fueron arrojadas a las capas altas de la atmósfera y permanecieron allí durante meses, impidiendo el paso de la luz solar. El fogonazo de la explosión incendió bosques y selvas en casi toda la superficie del planeta. Además, las altísimas temperaturas llevaron a la formación de enormes cantidades de sustancias químicas, como ácido nítrico, que produjeron lluvias ácidas. Las simulaciones numéricas indican que no hubiera sido extraño que se hubieran producido también enormes terremotos, maremotos y huracanes. Al cabo de pocos días, un mundo arrasado se hallaba sumergido en la oscuridad. La ausencia de luz solar interrumpió la cadena alimenticia y pocos organismos volverían a ver la luz del día.

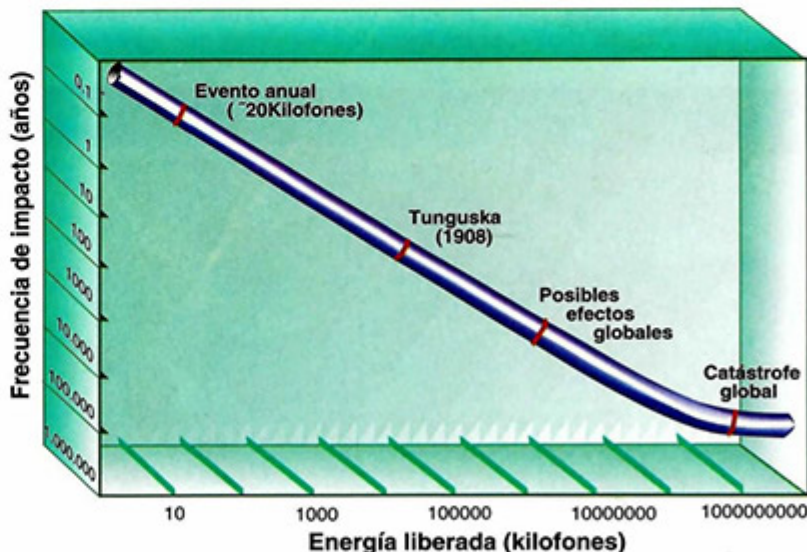
Los registros geológicos atestiguan la ocurrencia de otras grandes extinciones, como la acaecida hace 240 millones de años, al final del período Pérmico, que dejó al planeta

Tierra casi sin seres vivos. Muchos investigadores aseguran que las colisiones de asteroides y cometas con la Tierra, que se produjeron en tiempos remotos, son las causantes de tales eventos.

### “Apocalipsis now“

Muy recientemente, funcionarios del Departamento de Defensa de Estados Unidos revelaron información acerca de la detección, por parte de satélites espías, de poderosas explosiones (entre 10 y 30 por año) en las capas altas de la atmósfera. Se cree que son producto de la colisión de pequeños asteroides con la atmósfera superior (entre 20 y 50 km de altura), que genera energías equivalentes a la de una bomba atómica de un kilotón (mil toneladas de fuerte explosivo químico). Algunos de estos choques han llegado a producir explosiones de hasta 30 kilotones (dos veces la energía liberada por la bomba que destruyó Hiroshima).

Infortunadamente, algunas explosiones han ocurrido a baja altitud (entre 5 y 10 km) y sus efectos han alcanzado a afectar la superficie terrestre. Tal fue el caso del “evento” Tunguska, una explosión de unos 12.000 kilotones, registrada sobre una región deshabitada de la taiga siberiana el 30 de junio de 1908, que destruyó



**Figura 5.** Frecuencia de colisiones de meteoritos y cometas contra la Tierra, en función de la energía liberada por el choque. Cada millón de años se registra uno de estos eventos con la suficiente energía para ocasionar muerte y destrucción a escala global.

muchos kilómetros cuadrados de bosque. De haber ingresado el asteroide (de unos 30 metros de radio) media hora antes a la Tierra, la explosión habría destruido hasta sus cimientos a la ciudad de San Petersburgo. Al parecer, este tipo de eventos no es raro.

Algunos investigadores que han estudiado ciertos mitos de la tribu Maorí, piensan que un evento similar tuvo lugar hace unos 800 años sobre Nueva Zelanda, causando muchas víctimas.

Por otra parte, las modernas técnicas de detección astronómica han permitido descubrir un vasto número de asteroides que se han acercado peligrosamente a nuestro planeta (**figura 2**). En lo que va corrido de esta década, han sido detectados cuatro pequeños asteroides que han estado a punto de chocar con la Tierra, al pasar a una distancia menor a la que hay entre ésta y la Luna. Se calcula que deben existir al menos mil asteroides, con un diámetro superior a los 1,5 km, que atraviesan la órbita de la Tierra, aunque hasta ahora sólo se han identificado 50. Hay una probabilidad en diez mil de que un asteroide de unos 2 km de diámetro choque contra la Tierra durante el próximo siglo. Una colisión de esta naturaleza desestabilizaría el ecosistema, arruinaría la agricultura mundial y amenazaría la continuidad de la civilización humana (**figura 5**).

Entre todas las catástrofes naturales conocidas que podría sufrir nuestro planeta, la colisión con un objeto extraterrestre sería la que produciría mayor cantidad de muertes y destrucción. En la actualidad, no se dispone de un medio eficaz que permita una respuesta rápida para evitar una colisión; así, lo que podemos hacer, por ahora, es intentar rastrear el mayor número de objetos cercanos a nuestro planeta, con lo que en el futuro quizá se logre predecir con exactitud la inminencia de algún choque. Para entonces, es probable que ya se haya conseguido desarrollar la tecnología apropiada para crear un sistema eficiente de interceptación, basado en explosivos termonucleares o en algo aún más ingenioso.

## Conclusión

Vivimos en un sistema solar donde residen millones de cuerpos cuyas órbitas, tarde o temprano, entrarán en colisión con algún planeta, incluido el nuestro. El choque del cometa Shoemaker-Levy 9 contra la atmósfera de Júpiter, en julio de 1994, mostró la violencia con que se desarrolla esta clase de eventos. Un suceso de esta naturaleza puede afectar el destino de un planeta: por ejemplo, la colisión entre la Tierra y un objeto del tamaño del planeta Marte, mencionada al principio de este artículo, no sólo dio origen a la Luna sino que también dotó a la Tierra de un rápido período de rotación (un día), que antes del choque probablemente era similar al que tiene el planeta Venus, unos 240 días terrestres; es poco probable que en la Tierra hubiera aparecido la vida con un clima tan hostil como el que se deriva de un período de rotación tan lento como ése.

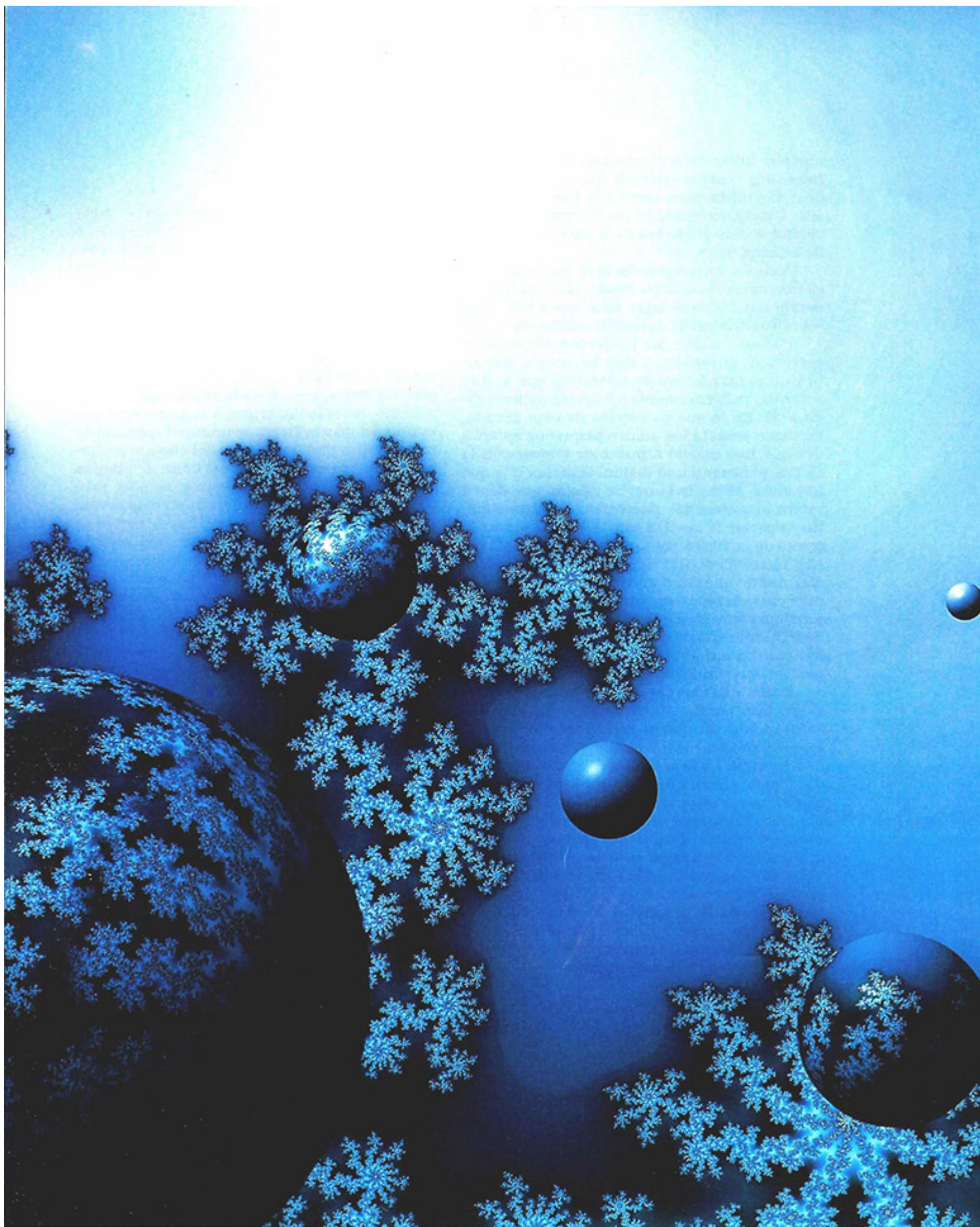
Por otra parte, el evento ocurrido hace 65 millones de años, también examinado antes, permitió que los mamíferos se apoderaran del nicho ecológico vacante debido a la desaparición de los dinosaurios. Ambas clases de animales aparecieron casi simultáneamente, pero durante 140 millones de años los dinosaurios fueron los dueños y señores del planeta y no permitieron el desarrollo evolutivo de los mamíferos. Sin embargo, éstos sobrevivieron al choque mientras que los dinosaurios se extinguieron, y al cabo de diez millones de años ya había toda clase de mamíferos habitando el planeta entero.

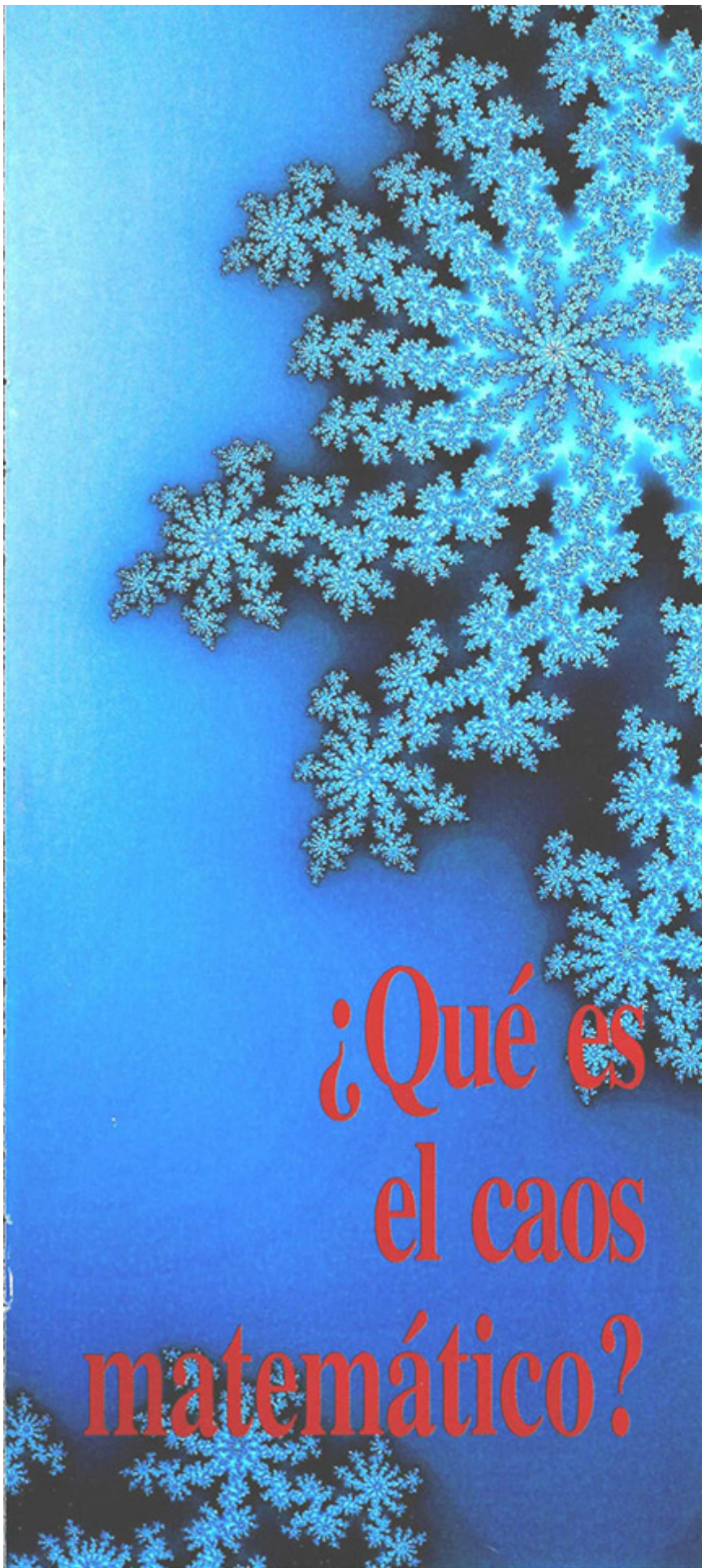
Para terminar, no está de más reconocer que aunque un choque con un asteroide o un cometa puede hacernos regresar a la Edad de Piedra en cualquier momento, nuestra existencia se debe, en parte, a la ocurrencia de este tipo de sucesos.



## Referencias

1. Gore, R. *Extinctions*. National Geographic: 175 (6):662-699, junio, 1989.
2. Chapman, C., Morrison, D. *Impacts on the Earth by Asteroids and Comets: Assessing the Hazard*. Nature: 367:33-40, enero, 1994.
3. Morrison, D. *Target Earth: It will Happen*. Sky & Telescope: 261, marzo, 1990.
4. Alvarez, L. et al. *Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction*. Science: 208:1095-1108, junio, 1980.
5. Begley, S. *The Science of Doom*. Newsweek: 23:56-60, noviembre, 1992.
6. Chyba, C. et al. *The 1908 Tunguska Explosion: Atmospheric Disruption of a Stony Asteroid*. Nature: 361: 40-44, enero, 1993.





# ¿Qué es el caos matemático?



Luz Myriam Echeverry  
Departamento de Matemáticas  
Universidad de los Andes  
Bogotá, Colombia

## Introducción

La capacidad de predicción es una de las cualidades más importantes de la ciencia en el mundo contemporáneo, en virtud del entendimiento de la relación causa-efecto. Por ejemplo, es posible predecir un eclipse con siglos de anterioridad. Sin embargo, esto no es posible en lo relativo a las predicciones meteorológicas, aunque los dos casos están regidos por leyes físicas determinísticas, como lo explica Laplace:

"El estado actual de un sistema de la naturaleza es, evidentemente, una consecuencia del estado anterior. Si nos imaginamos una inteligencia que, por un momento, abarque todas las relaciones de los entes del universo, ella sería capaz de decir, para cualquier tiempo pasado o futuro, la posición y la velocidad, y en general el estado de todos estos entes.

La astronomía, reina de las ciencias, nos da una idea, aunque imperfecta, de lo que sería una tal inteligencia. La sencillez de la mecánica celeste, la proporción de las masas y de las distancias entre los cuerpos celestes, permiten al analista hacer el seguimiento, hasta cierto punto, de su movimiento y determinar el estado del sistema de estos cuerpos en siglos pasados y futuros. Al geómetra le basta saber la posición y la velocidad en un instante arbitrario, el hombre le debe esta ventaja a la potencia del instrumento usado y al pequeño número de relaciones presentes en estos cálculos. Pero la ignorancia de las diferentes causas que intervienen en la producción de los eventos, su complejidad unida a la imperfección del análisis, le impiden tener la misma certidumbre en un gran número de fenómenos. Existen para él eventos inciertos, y muchos, muy poco probables. Ante la imposibilidad de conocer todos los eventos, el hombre se las ha ingeniado para determinar sus diferentes grados de certeza, de tal manera que le debemos a la

\* Laplace, *Ensayo filosófico sobre la probabilidad* (1776)

debilidad del espíritu humano una de las teorías más ingeniosas de las matemáticas: la ciencia del azar y la probabilidad".\*

A comienzos del siglo XX, el principio de causalidad recibió un serio ataque con el principio de incertidumbre de Heisenberg, en el cual se afirma que no se puede pretender conocer exactamente la posición de una partícula subatómica, a menos que se renuncie a conocer su velocidad y viceversa. Si bien, desde el punto de vista filosófico esta apreciación representó un serio cuestionamiento, esto no hizo cambiar la actitud de los científicos hacia la investigación. Aunque el comportamiento individual de una molécula de gas no se puede predecir con certeza, en general las moléculas obedecen a ciertas leyes, y es posible predecir su comportamiento estadísticamente, de la misma manera como una compañía aseguradora calcula tablas de mortalidad sin poder predecir la muerte de un individuo en particular. Esta objeción al principio de causalidad tuvo impacto desde el punto de vista filosófico mas no llegó al público en general. No obstante, al final del siglo XX la idea de que un sistema determinístico pueda resultar impredecible logró poner a pensar al mundo científico sobre la causalidad.

El tema de lo que hoy se llama caos en matemáticas apareció con Poincaré, hace más de cien años. En 1890, el rey Oscar II de Suecia ofreció un premio al primer matemático que resolviera el problema de los  $n$  cuerpos, para probar la estabilidad del sistema solar. Este problema consiste en calcular la posición y la velocidad en cualquier instante de  $n$  cuerpos celestes, siendo  $n$  un número mayor que dos, sujetos a su mutua atracción gravitacional. Nadie resolvió el problema, que aún hoy está abierto, pero Poincaré fue el ganador. Su trabajo no se encaminó a calcular las trayectorias de los cuerpos, sino que se concentró en el estudio de todos los posibles estados del sistema, utilizando métodos cualitativos y herramientas geométricas y topológicas. Así explica Poincaré el problema de la predicción:

"Una causa pequeña, que se nos escapa, determina un efecto considerable que no podemos ignorar y en ese caso decimos que el efecto es debido al azar. Si conocemos exactamente las leyes de la naturaleza y la situación del universo en su estado inicial podremos predecir, exactamente, la situación de este universo en un tiempo ulterior. Pero, aunque conociéramos perfectamente las leyes del universo, sólo conocemos la situación inicial aproximadamente. Si esto nos permite calcular el estado futuro con la misma aproximación, decimos que el fenómeno es predecible y que obedece a



*Figura 1. La necesidad de predecir el tiempo, con suficiente antelación, ha llevado a la humanidad a dedicar grandes esfuerzos al estudio de modelos matemáticos para simular el clima de una región determinada. Estos modelos usualmente llevan a sistemas dinámicos impredecibles.*



las leyes de la naturaleza. Esto no siempre es así, puede suceder que una pequeña diferencia en las condiciones iniciales, genere grandes diferencias en los estados finales; un error pequeño en las primeras produce un error enorme en estos últimos. La predicción se vuelve imposible y tenemos un fenómeno fortuito.”\*\*

Sin embargo, las ideas de Poincaré sobre la capacidad de predicción de la ciencia no hallaron eco en su época. Es frecuente que científicos con ideas brillantes e ingeniosas no logren desarrollarlas a cabalidad, como en el caso de Leonardo Da Vinci, pues la ciencia y la tecnología de la época no se lo han permitido. A pesar de ello, hay algunos trabajos matemáticos que se pueden ver como consecuencia de las observaciones de Poincaré. Es el caso de los desarrollos de Gaston Julia y Pierre Fatou en 1920, treinta años después. Pero quienes realmente retomaron las ideas de Poincaré fueron G.D. Birkhoff, S. Smale y sus alumnos, quienes trabajaron en ecuaciones diferenciales desde el punto de vista cualitativo, y contribuyeron enormemente al estudio de los sistemas dinámicos.

Hasta hace unos treinta años, existía la idea generalizada como creía Laplace de que al reunir suficiente información era posible predecir el comportamiento de cualquier sistema. Un descubrimiento desconcertante, el hallazgo de sistemas determinísticos que tienen un carácter imprevisible o aleatorio que no desaparece al mejorar los métodos de cálculo y medición puso en tela de juicio esta hipótesis. El meteorólogo estadounidense Edward N. Lorenz,

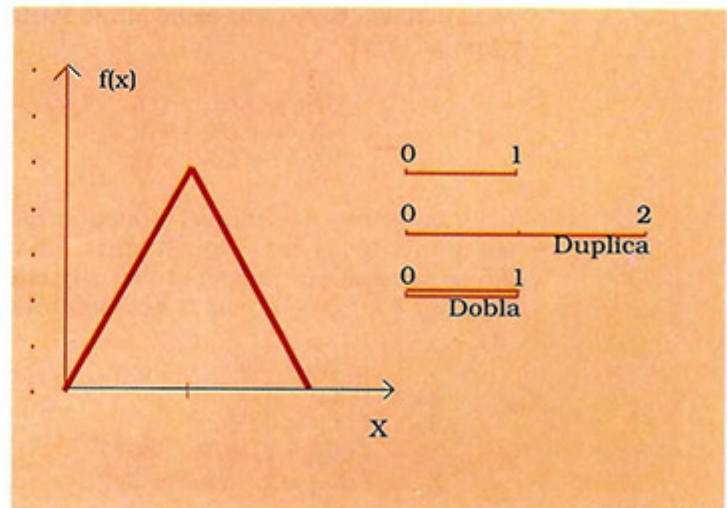
del M.I.T. (Instituto Tecnológico de Massachusetts) descubrió en 1963,

usando un computador rudimentario, que unas ecuaciones diferenciales muy sencillas pueden presentar un comportamiento aleatorio. Lorenz, en su tesis de Ph.D., realizada bajo la dirección de Birkhoff, observó que su modelo meteorológico simplificado tenía lo que hoy se denomina *sensibilidad a las condiciones iniciales*. Para él, esto se tradujo en la imposibilidad de predecir con suficiente antelación el estado del tiempo. También, desde el punto de vista teórico, D. Ruelle y F. Takens, quienes no conocían el trabajo de Lorenz, estaban investigando la naturaleza de la turbulencia desde el punto de vista matemático, y llegaron a las mismas conclusiones de Lorenz: un sistema de sólo tres variables independientes puede desestabilizarse y tener un comportamiento totalmente errático.

### ¿Qué es un sistema dinámico caótico?

Una característica importante del caos es la posibilidad de que dados dos puntos cercanos en diferentes etapas, éstos se alejen y tracen trayectorias impredecibles. Por ejemplo, si tenemos un montón de sal en una masa de harina, marcamos dos granos de sal y al amasar vamos trazando su trayectoria, nos podemos imaginar dos líneas que se pasean en la masa alejándose y aproximándose de manera impredecible. El cuadro sería más interesante si “viéramos” todos los granos de sal y de harina paseándose al amasar. ¿Cómo representaríamos esto con un ejemplo matemático?

Figura 2



\*\* Poincaré, *Ciencia y método* (1903)

En el intervalo  $[0,1]$  definimos la siguiente función:

$$f(x) = \begin{cases} 2x & \text{si } 0 \leq x < 1/2 \\ 2 - 2x & \text{si } 1/2 \leq x \leq 1 \end{cases}$$

La gráfica es muy sencilla: (Figura 2).

Esta función toma el intervalo  $[0,1]$ , lo duplica y luego lo dobla sobre sí mismo (algo parecido a la acción de amasar). La idea es tomar un punto inicial y aplicar sucesivamente la función generando lo que podríamos llamar su trayectoria. Por ejemplo, si se toma:

$$\begin{aligned} X_0 &= 0.3 \\ X_1 &= f(X_0) = 0.6, \text{ duplica} \\ X_2 &= f(X_1) = 0.8 > 1/2, \text{ duplica y resta de dos} \\ X_3 &= f(X_2) = 0.4 \\ X_4 &= f(X_3) = 0.8 \end{aligned}$$

Vemos que llegamos a un ciclo de longitud dos: de 0.8 pasa a 0.4 y repite, es como si tuviéramos un grano de sal que sólo ocupa dos posiciones. ¿Cuál será el comportamiento de los otros puntos? ¿Alguno se quedará quieto? ¿Alguno recorrerá todo el conjunto?. Como existen todo tipo de números posibles, algunos tendrán un comportamiento similar al ejemplo. El cero, no importa el número de veces que apliquemos la función, siempre tenemos el mismo resultado, por eso se llama *punto fijo*.

Se pueden ilustrar otros ejemplos:

$$\begin{aligned} X_0 &= 2/3 \\ X_1 &= f(X_0) = 2 - 2(2/3) = 2/3 \\ X_2 &= f(X_1) = 2/3 \end{aligned}$$

También es un punto fijo y son los únicos puntos fijos. Si se toma como punto inicial  $1/2$  ¿Qué pasará?

$$\begin{aligned} X_0 &= 0.5 \\ X_1 &= f(X_0) = 1 \\ X_2 &= f(X_1) = 0 \end{aligned}$$

Ya tenemos tres comportamientos diferentes: punto fijo, puntos que llegan a un punto fijo y puntos que terminan en un ciclo de longitud dos. ¿Habrá ciclos de longitud tres?

$$\begin{aligned} X_0 &= 1/7 \\ X_1 &= f(X_0) = 2/7 \\ X_2 &= f(X_1) = 4/7 \\ X_3 &= f(X_2) = 2 - 8/7 = 6/7 \\ X_4 &= f(X_3) = 2 - 12/7 = 2/7 \end{aligned}$$

También hay un ciclo de longitud diez:

$$x = 0.77 \text{ termina en: } \{0.32, 0.64, 0.72, 0.56, 0.88, 0.24, 0.48, 0.96, 0.08, 0.16, 0.32\}$$

Se puede experimentar fácilmente con diferentes valores iniciales, en general, los números racionales, cociente de dos enteros, terminan en ciclos y los irracionales, por ejemplo:  $2/2$ , no se estabilizan (si se usa un programa para calcular las iteraciones, 2 debe aparecer con todas sus cifras decimales).

Con la imagen geométrica de la función, podemos entender lo que quiere decir sensibilidad a condiciones iniciales. Si tomamos el cero, este se queda quieto; si tenemos otro punto cerca de cero pero diferente, éste último se comienza a alejar del cero en cada aplicación de la función y llegará el momento en que estará a una distancia superior a 0.5 del cero. En general, se llama trayectoria el conjunto generado a partir de un punto inicial, por ejemplo la de  $1/2$  sería  $\{0.5, 1.0\}$  la de  $2/3$  se reduce a  $\{2/3\}$  y la de  $2/2$  es infinita:

$$\begin{aligned} X_0 &\text{ dado} \\ X_1 &= f(X_0) \\ \text{y en general: } X_{n+1} &= f(X_n) \end{aligned}$$

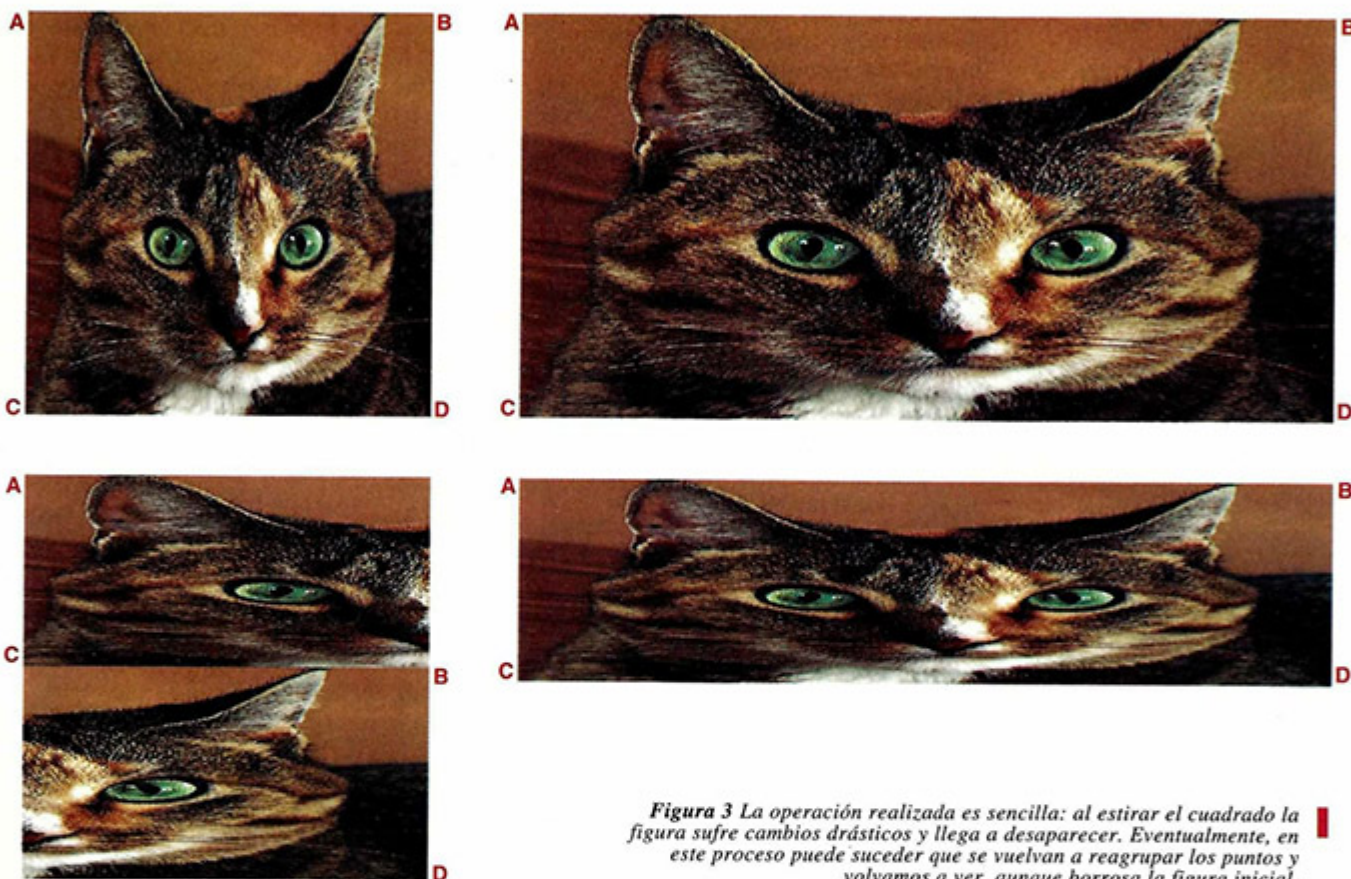
Si tomamos dos puntos muy cercanos  $x$  y  $y$  en proceso habrá un valor de  $n$  tal que  $x$  y  $y$  estarán lejos uno del otro. Esto quiere decir que un pequeño error inicial se magnifica e impide predecir el comportamiento a partir de una aproximación.

En el ejemplo de la masa de harina, la dinámica de amasar hace que los granos de sal se repartan uniformemente. Si la harina ya está bien amasada, se deben encontrar granos de sal en cualquier porción de masa. Esto ilustra una noción topológica interesante: un *subconjunto denso*. En general, se podría pensar que los granos de sal forman un subconjunto denso en la harina: se les encuentra por todas partes. Se trata precisamente de un subconjunto  $P$  tal que dado cualquier elemento  $s$  del conjunto se puede encontrar un elemento del subconjunto  $P$  tan cerca como

**Un pequeño error inicial se magnifica e impide predecir el comportamiento a partir de una aproximación.**

uno quiera, es decir, a una distancia menor que un número positivo dado. Una noción también fundamental es la de *órbita densa*, que sería la trayectoria completa de un grano de sal, que pasa "cerca" de todos los puntos ¿existirá una *órbita densa*? La respuesta es complicada, pero admitamos que existe un número irracional tal

color pardo se fracciona en franjas que aparecerán por todas partes y llegarán a "ocupar" todo el cuadrado (**figura 3**). Además, dos vértices, A y C, se quedan quietos y los otros dos, B y D van a los puntos medios de los lados ubicados en sentido vertical; geoméricamente es posible imaginar el proceso y lo impredecible



**Figura 3** La operación realizada es sencilla: al estirar el cuadrado la figura sufre cambios drásticos y llega a desaparecer. Eventualmente, en este proceso puede suceder que se vuelvan a reagrupar los puntos y volvamos a ver, aunque borrosa la figura inicial.

que su órbita se pasea cerca de todos los puntos del intervalo. Esta propiedad es importante porque nos dice que no podemos descomponer el conjunto para estudiarlo por partes.

Otro ejemplo más gráfico podría ser el siguiente: imaginemos la cara de un gato pardo enmarcada en un cuadrado de lado uno; el siguiente paso es estirarlo horizontalmente para que quede de longitud 2 y luego, encogerlo en sentido vertical para que quede de longitud 0.5. Después, el rectángulo se parte en dos y se superponen las dos partes volviendo así al tamaño inicial del marco. Al aplicar este procedimiento sucesivamente, el gato desaparece, el

que puede ser el destino de dos puntos que inicialmente estaban cerca en una de las orejas del gato. Globalmente, podemos encontrar propiedades como las señaladas en el ejemplo anterior P: el conjunto de los "puntos" periódicos del cuadrado es denso, tiene una órbita densa y es sensible a condiciones iniciales.

Los dos ejemplos tienen una formulación matemática muy interesante. Si se tienen los números en sistema binario en los dos casos la dinámica se describe como un desplazamiento de los dígitos lo cual permite demostrar teoremas y encontrar matemáticamente las propiedades descritas.

## Una definición matemática de caos

**Cualquier disciplina que recurra a un modelo matemático con un sistema dinámico no está libre de sufrir caos.**

Con los ejemplos anteriores hemos ilustrado lo que en matemáticas se define como sistema caótico. Antes, es conveniente observar que un sistema dinámico se caracteriza por dos cosas: su estado, entendido como la información que lo caracteriza, es decir, los números del intervalo, y su dinámica, definida como la ley que determina la evolución del estado del sistema en función del tiempo. Citemos como ejemplo el crecimiento de una población: su estado es el número de individuos, y su dinámica, la ecuación que determina la población que se tendrá en un futuro, teniendo en cuenta la tasa de crecimiento. Consideremos ahora el caso de un péndulo cuyo estado es la pareja posición-velocidad, y su dinámica, la ecuación diferencial que rige su movimiento. Por último, pen-

semos en un capital puesto a interés en el cual el estado es la cantidad de dinero y su dinámica, en qué forma y en qué cantidad se liquidan los intereses.

Decimos que un sistema dinámico es caótico si cumple con las tres propiedades encontradas en los ejemplos citados:

1. Los puntos periódicos son densos.
2. Tiene una órbita densa.
3. Es sensible a las condiciones iniciales.

Los ejemplos anteriores ilustran la definición, pero ésta se aplica a una gran cantidad de fenómenos físicos, económicos, biológicos, químicos, etc. En general, cualquier disciplina que recurra a un modelo matemático con un sistema dinámico no está libre de sufrir caos. La propiedad más evidente es la tercera, que explica por

qué a pesar de tener un modelo determinístico somos incapaces de predecir el comportamiento de nuestro sistema. Fue lo que encontró Lorenz. El problema fundamental para la ciencia actual es la necesidad de construir sistemas que sean totalmente predecibles, ¿qué tal que los electrodomésticos se enloquecieran de vez en cuando?.

## Conclusión

El problema de los  $n$  cuerpos sigue sin solución, no sabemos si el sistema solar es estable. En el caso de la turbulencia podemos entender que se trata de un sistema caótico y que es difícil de calcular la presión y la velocidad en cada punto, la meteorología es un campo importante del conocimiento humano en el que las dificultades de cálculo explican la incapacidad de predecir con exactitud el clima. En química, abundan las reacciones en las que es importante la exactitud de las mediciones, algunas de ellas conllevan a un sistema caótico. En fin, cualquier modelo matemático en economía, demografía, neurociencias, etc. que use ecuaciones diferenciales o ecuaciones en diferencias no lineales tiene la posibilidad de generar fenómenos caóticos.

Aparentemente la existencia del caos lleva a un resultado negativo para un sistema determinístico, pero tal vez esta posibilidad de variar su comportamiento de manera importante a partir de pequeñísimas alteraciones posibilita la existencia de un modelo que explique la biodiversidad. La producción intelectual podría deber su fecundidad a esta propiedad del caos de amplificar pequeñas diferencias. Así, las nuevas ideas surgen a pesar de estar inmersas en un mundo regido por leyes determinísticas y con una educación cada vez más homogénea.



## Referencias

1. Crutchfield J., Farmer D., Packard N., Shaw, R. *Le Chaos, L'ordre du Chaos, Bibliothèque pour la Science*, 1990.
2. Devaney R.L. *An Introduction to Chaotic Dynamical Systems, Second Edition, Addison-Wesley, Redwood City, Calif., 1989.*
3. Devaney R.L. *A First course in Chaotic Dynamical Systems Theory and Experiment, Second Edition, Addison-Wesley, Redwood City, Calif., 1992.*
4. Holden A.V. & Muhamad M.A. *A graphical zoo of strange and peculiar attractors, Chaos, Princeton University Press, 1986.*
5. Ruelle D. *Déterminisme et prédictibilité, L'ordre du Chaos, Bibliothèque pour la Science, 1990.*
6. Ruelle D., F. Takens. *On the nature of turbulence, Communications in Mathematical physics, 20, 167, 1971.*



**Todo lo que aprendiste,  
lo aprendiste  
en casa.  
El mundo es tu casa.**

# En búsqueda del potencial de los universitarios colombianos para la investigación

.....

**Ángela Restrepo Moreno**  
Comisionada, Misión Ciencia, Educación  
y Desarrollo, 1995.

**Carlos Eduardo Vasco Uribe**  
Comisionado, Misión Ciencia, Educación  
y Desarrollo, 1995.

**Elizabeth Castañeda**  
Asesora, Misión Ciencia, Educación  
y Desarrollo, 1995.

---

Trabajo adaptado de la publicación original de la Misión Ciencia, Educación y Desarrollo, Informes de la Misión, Tomo III, Presidencia de la República, Colciencias, Consejería para el Desarrollo Institucional. Santafé de Bogotá, 1995.



**L**a experiencia demuestra que la generación de conocimiento y el avance tecnológico constituyen motores poderosos del desarrollo y del progreso de las sociedades contemporáneas<sup>1-6</sup>. La existencia de personas formadas para investigar y aplicar creativamente el co-



nocimiento incide más que la abundancia de recursos naturales, la mano de obra y el capital, en la capacidad de los países para resolver sus problemas<sup>7</sup>.

En todos los seres humanos existe una tendencia natural a aprender de sí mismos y del entorno, junto con la voluntad de modificar

y mejorar las condiciones de su medio ambiente. Una sociedad que no posibilita la realización exitosa de tales tendencias priva a sus miembros de ejercer una de sus más hermosas y valiosas capacidades. El surgimiento de investigadores no es un fenómeno de «generación espontánea» sino, por lo general, el resultado de un proceso formativo deliberado cuyo elemento principal es la educación, conjugada con el talento individual<sup>8</sup>. Las sociedades deben tomar la decisión de educar a sus ciudadanos y de alcanzar niveles que garanticen la existencia de investigadores de carrera, dándole a este objetivo la debida prioridad, para lo cual deben asignarse los recursos necesarios y, algo de fundamental importancia, existir continuidad<sup>2</sup>.

El investigador constituye elemento primordial, condición *sine qua non*, del proceso de generación de conocimiento y de su aplicación a la resolución de problemas concretos. En Colombia han surgido investigadores que se desempeñan satisfactoriamente en ambientes de alta calidad y competitividad científicas fuera del país. ¿Por qué, entonces, no contamos aun con una masa crítica de científicos? La respuesta debe buscarse en los procesos que conducen a la formación y al perfeccionamiento de investigadores.

La iniciativa del proyecto que describiremos surgió del reconocimiento de la capacidad investigativa de los universitarios colombianos y del buen desempeño académico demostrado por quienes consiguen continuar sus estudios en universidades y centros académicos en el exterior<sup>9</sup>. Esta apreciación, básicamente subjetiva e individual, requería un análisis objetivo que pudiera ser procesado estadísticamente. Por otra parte, si se considera que Colombia debe aumentar en forma significativa el número de investigadores para alcanzar sus metas de desarrollo<sup>3,10</sup>, resultaba lógico buscar un método analítico que permitiera identificar investigadores en potencia, en las universidades del país.

El estudio en cuestión, realizado en 1994 con la asesoría de los psicólogos Octavio Escobar, Patricia Briceño y Claudia García (Psinergia, asesores en desarrollo humano, Santafé de Bogotá), se dirigió a las áreas de biología, química y física –por tratarse de ciencias que contemplan la experimentación como fundamento de su metodología de trabajo–, y tuvo como objetivo detectar la presencia de características propias del investigador en estudiantes de pre y posgrado.

El primer paso consistió en la determinación del perfil de la personalidad de investigadores reconocidos a nivel nacional, con el empleo, como instrumento básico, del cuestionario de personalidad 16PF, desarrollado por Cattell et al<sup>11</sup> y de la técnica estadística del análisis discriminante; posteriormente, la misma prueba fue aplicada a los estudiantes.

### El cuestionario 16PF

Desarrollado originalmente por Cattell, Eber y Tatsuoka (1949), y modificado en años posteriores hasta alcanzar su presentación actual<sup>11</sup>, el cuestionario 16PF (16 Factores de personalidad) se apoya en el análisis factorial de condiciones que miden 16 rasgos de primer orden (las llamadas dimensiones-fuente de la personalidad), un factor de pensamiento abstracto (inteligencia) y cuatro factores de segundo orden, que permiten el análisis estadístico de un conjunto de variables y de un valor total<sup>12</sup>, así como la determinación de grupos mutuamente excluyentes, mediante un análisis discriminante. Los 16 factores se miden en decatipos, lo cual posibilita una gradación en puntajes<sup>13</sup>. El cuestionario 16PF considera, además, ecuaciones de segundo orden que se derivan del perfil y que lo complementan.

Como muestran diversos trabajos analizados en publicaciones recientes del servicio de pruebas educativas de Estados Unidos<sup>14</sup>, existe una profusa literatura sobre el empleo del cuestionario 16PF. Algunos autores objetan su valor intrínseco, por considerar arriesgado juzgar la personalidad y las capacidades de un individuo con base en un método psicométrico, especialmente si con él se pretende orientar la elección de una futura carrera<sup>15,16</sup>. No obstante, el 16PF proporciona resultados valiosos si se utiliza como una herramienta que permite constatar, sin proponer prototipos<sup>17</sup>, la presencia de ciertos rasgos deseables en personas que pretenden orientarse hacia metas definidas, como, por ejemplo, la investigación.

### Etapa preliminar

Teniendo en cuenta la falta de experiencia en la aplicación de pruebas de personalidad a científicos, la primera fase del estudio consistió en ofrecer el cuestionario 16PF a profesores colombianos de universidades oficiales y privadas, a través de las rectorías y de las diversas decanaturas. Igualmente, se estableció contacto con los directores de cuatro centros de investigación, solicitándoles identificar dos grupos de profesionales: los destacados en docencia y los destacados en investigación. Para estos últimos se hizo especial énfasis en su trayectoria investigativa, el tiempo dedicado a las tareas correspondientes y las publicaciones nacionales e internacionales.

Se encuestó un total de 158 profesores e investigadores y se seleccionó una muestra de características extremas, indispensable para el análisis discriminante. Para el estudio se escogieron 78 personas (44 hombres y 34 mujeres), de las cuales 54 eran investigadores y 24 docentes; los 80 encuestados restantes no fueron incluidos, pues poseían características de ambos grupos.

Según el análisis estadístico, el 92,3% de los casos fue correctamente clasificado con la prueba de personalidad, razón por la cual los resultados obtenidos en el análisis discriminante podían considerarse confiables.

### Perfil del investigador

La correlación entre los factores de personalidad y la función discriminante reveló 19 características importantes del investigador (figura 1), algunas de ellas derivadas de las ecuaciones

Figura 1.

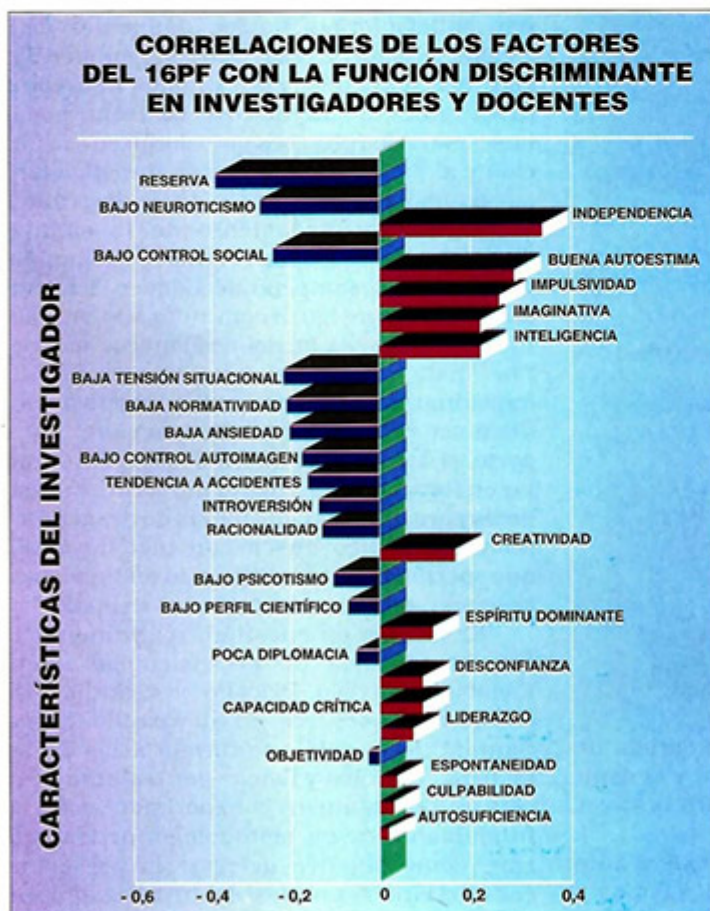




Figura 2.

de segundo orden. El conjunto permitió configurar el perfil de los investigadores (hombres y mujeres).

Se observaron alta inteligencia, liberalidad de pensamiento, imaginación, y capacidad analítica, crítica y de experimentación. En el área emocional, el investigador se mostró reservado, con gran fuerza del yo interior, estable, maduro, tranquilo, realista, animoso, entusiasta y dinámico. Desde el punto de vista social, apareció como altamente dominante, competitivo, obstinado, decidido e independiente. En la relación con otros se mostró suspicaz, desconfiado y celoso. En cuanto al área de normas y valores, se observó que era despreocupado por la normatividad y las obligaciones sociales. Finalmente, se registraron diferencias significativas entre investigadores e investigadoras, en 10 de los rasgos de personalidad (figura 2), configurándose así dos perfiles diferentes. Las marcadas diferencias existentes en el perfil del investigador, según el sexo, fueron un hallazgo interesante y pusieron de presente la necesidad de tenerlas en cuenta al evaluar a los universitarios.

Los análisis de conglomerados practicados al grupo de investigadores revelaron que uno de ellos permitía hasta tres posibles combinaciones de los datos obtenidos con el cuestionario 16PF. Los puntos de convergencia fueron: actitud reservada, inteligencia, espíritu inquieto, imaginación, estabilidad y buena autoestima.

### Selección de universitarios

Un total de 656 estudiantes de 21 centros universitarios, en 11 ciudades, respondió el

cuestionario (tabla 1). Adicionalmente se obtuvo, de los centros participantes, información relativa a sus actividades, especialmente las relacionadas con la investigación (tabla 2).

Directivos, docentes y coordinadores de los centros de enseñanza colaboraron en las tareas de motivación, difusión, suministro de información y aplicación del cuestionario. Éste se promovió por medio de afiches y volantes en los que se invitaba a los universitarios a participar voluntariamente, sin otras exigencias que las de estar cursando como mínimo el cuarto semestre y sentirse atraídos por la investigación. La inscripción fue limitada y se realizó según el orden de llegada de las solicitudes. Inicialmente se distribuyeron 500 cuestionarios; sin embargo, al presentarse peticiones de ampliación de cupos, se aumentó su número a 656.

### Resultados

Una vez diligenciados los 656 cuestionarios fue establecida la correlación con el perfil previamente determinado para el investigador, seleccionando a 232 (35.3%) estudiantes (figura 3). De ese grupo preseleccionado fueron escogidos 74 estudiantes, con base en los siguientes criterios: nivel general de correlación,

## ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS DE 54 INVESTIGADORES

Modelo de conglomerado 1, 2 y 3: características más acentuadas

### CONGLOMERADO 1:

- Indiferente, preciso, rígido, irascible.
- Prudente, con tendencia a la introspección y reflexivo.
- Libre de condicionamientos sociales, desatento a las normas.
- Racional, confiado en sí mismo, nada sentimental, práctico y poco afectado por ilusiones.
- Celoso, suspicaz, exigente con los demás en cuanto al cumplimiento de responsabilidades.
- Ambicioso, diplomático, calculador.
- Ansioso, se deprime ante resultados no esperados, se exige mucho a sí mismo.
- A nivel de ideas es más conservador que radical.

### CONGLOMERADO 2:

- Serio, convencional, competitivo, inteligente, rebelde, necesitado de admiración.
- Franco, expresivo, entusiasta, inclinado hacia el grupo, emprendedor.
- Sincero, se implica emocionalmente, confía en los demás, de gustos simples.
- Es buen seguidor, le importa estar bien con los demás.
- Más que ansioso, es tranquilo.

PUNTOS DE ENCUENTRO ENTRE LOS TRES CONGLOMERADOS

- Ser reservado.
- Tendencia hacia el pensamiento abstracto.
- Ser imaginativo, inquieto.
- Tendencia a la estabilidad.
- Buena autoestima.

### CONGLOMERADO 3:

- Normativo, escrupuloso.
- Oscila entre la espontaneidad y la timidez.
- Se guía por la autoimagen, controlado en sus emociones.

Tabla 1.

**DISTRIBUCIÓN POR CIUDAD E INSTITUCIÓN DE LOS UNIVERSITARIOS QUE DILIGENCIARON EL CUESTIONARIO 16PF**

Departamento	Ciudad	Institución	Número	(% Dpto.)
Antioquia	Medellín	CES	17	
		U. Pont. Bolivariana	21	
		Corp. La Salle	5	
		U. de Antioquia	69	
	Rionegro	U. Nacional (Ant.)	19	
		U. Cat. Oriente	5	
			136	(20,5)
Atlántico	Barranquilla	U. Metropolitana	10	
		U. del Norte	15	
		U. Libre	15	
			40	(6,1)
Bolívar	Cartagena	U. de Cartagena	62	(9,5)
Caldas	Manizales	U. de Caldas	39	(6,0)
Cauca	Popayán	U. del Cauca	29	(4,5)
Quindío	Armenia	U. de Quindío	30	(4,6)
Risaralda	Pereira	U. Tecnológica de Pereira	39	(6,0)
Santander	Bucaramanga	UIS	53	
Cundinamarca	Santafé de Bgtá.	U. Nacional	94	
		U. Javeriana	22	
		U. de los Andes	17	
		U. del Rosario	9	
		Esc. Colomb. Medicina	10	
			152	(23,3)
Valle	Calí	U. del Valle	76	(11,6)
<b>Total</b>			<b>656</b>	<b>(100)</b>

Tabla 2.

>0,88; edad, <30 años; puntajes adecuados (de al menos 6-7 decatipos por grupo) en por lo menos tres de las cinco escalas indicadoras de salud mental medidas por el 16PF (inteligencia, estabilidad emocional, confianza, seguridad y tranquilidad). Los 74 universitarios seleccionados 38 hombres (51,4%) y 36 (48,6%) mujeres—que provenían de 13 de los 21 centros participantes, representan el 11,2% del total de encuestados y su edad promedio era de 23 años.

Al comparar investigadores y estudiantes de sexo masculino, se apreció un nivel de desempeño intelectual significativamente mayor en los segundos (figura 4). En el área social, ambos se mostraron reservados y poco expresivos, aunque los universitarios fueron más espontáneos. Tanto investigadores como universitarios asumen una actitud de mando en el trabajo de equipo. En el área emocional, ambos grupos mostraron buena valoración personal y equilibrio emocional. En el grupo de investigadores se destacó la preocupación por cumplir, dado que son muy exigentes consigo mismos. En cuanto a normas y valores, los investigadores tienen más independencia de criterio que los estudiantes, quienes se rigen más por las prescripciones sociales.

En el caso de las investigadoras y las universitarias, no se observaron

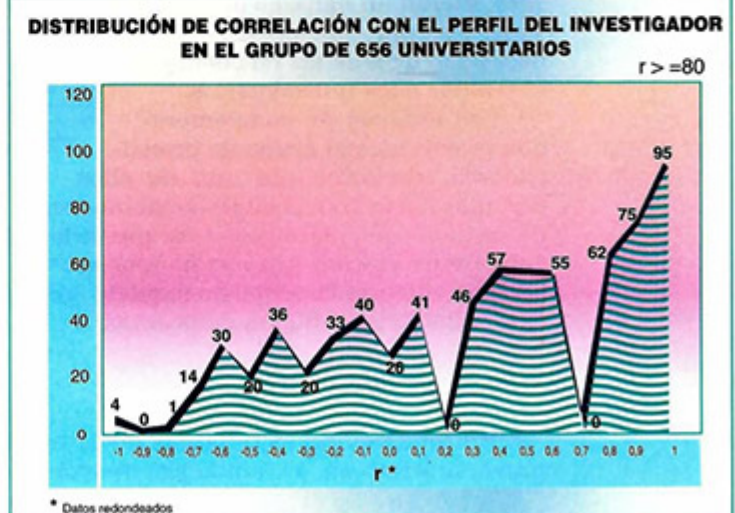
diferencias significativas en el área intelectual (figura 5). Socialmente, unas y otras disfrutaban más las actividades de tipo intelectual. En las universitarias se aprecia una mayor inclinación a conducir grupos. Desde el punto de vista emocional, ambas muestran un adecuado nivel de autoestima y estabilidad. En el área de normas y valores, las dos respondieron positivamente a los compromisos.

## Entrevistas

La fase siguiente consistió en la realización de entrevistas semi-estructuradas con los 74 estudiantes preseleccionados. Las entrevistas se llevaron a cabo en cinco ciudades del país; en cada una de ellas, un investigador y un psicólogo conversaron (utilizando una guía de entrevista) con los universitarios y analizaron su conducta y respuestas. Para evitar sesgos, se contó, en cada ciudad, con un entrevistador diferente de aquellos que formaban el equipo de trabajo.

Con base en su apreciación individual, los entrevistadores asignaron una calificación ponderada de 1 a 5 (5 el puntaje máximo) en cada una de las tres áreas a explorar: intereses (40%), habilidades (20%) y cualidades (40%). Los criterios de selección fueron una calificación de 4 en la entrevista y un perfil de correlación de 0,88. Al establecer la correlación perfil-entrevista, se encontró que en 43 universitarios (58%) existía buena concordancia. Sólo en 6 casos (8%) se observó discrepancia entre la buena correlación con el perfil y la nota baja (3) en la entrevista; en dos casos, la entrevista no permitió asignar una calificación; se establecieron entonces parámetros matemáticos para llevar a cabo el análisis.

Figura 3.



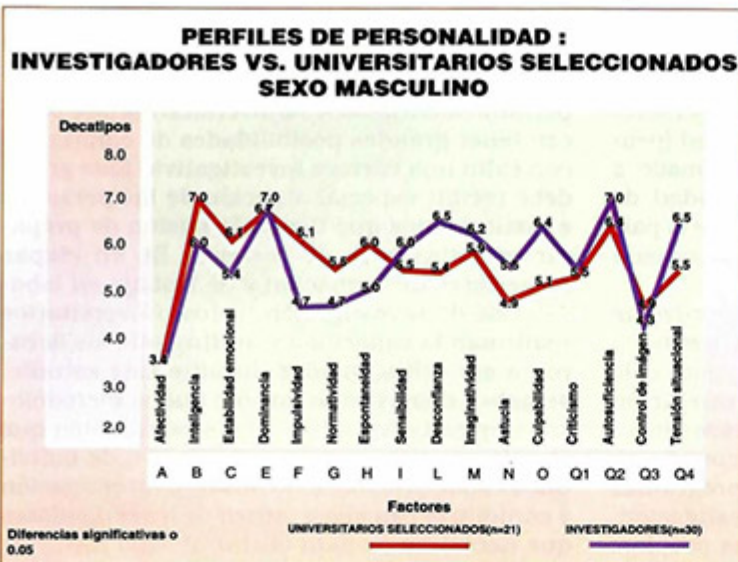


Figura 4.

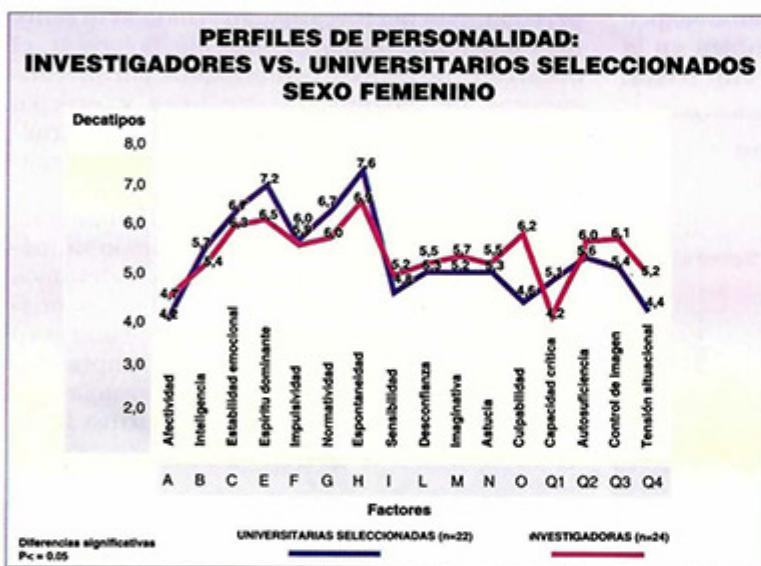


Figura 5.

En esta forma se obtuvo un grupo de 43 individuos –58% de los preseleccionados y 6,5% del total (656) de los encuestados– con grandes probabilidades de emprender con éxito la carrera investigativa; llama la atención su distribución similar por sexo, 22 mujeres (51,1%) y 21 hombres (48,8%), y por edad, la cual osciló entre 19 y 30 años, con una media de 22,5. Trece (61,9%) de los 21 centros incluidos en la encuesta estuvieron representados por uno o varios estudiantes seleccionados (tabla 3).

## Discusión

Debe recalarse que el cuestionario 16PF y el correspondiente análisis discriminante, sólida-

mente establecidos como instrumentos para la búsqueda de individuos con perfil de éxito en el campo de gestión administrativa<sup>14</sup>, fueron utilizados en este estudio con un propósito diferente, a saber, la elaboración de un perfil que caracterizara al investigador en ciencias. La utilización del cuestionario mencionado y el análisis discriminante de investigadores y docentes permitieron conocer las características de personalidad de ambos grupos, con base en las que se trazaron los perfiles correspondientes. Como lo indicó el análisis de conglomerados, probablemente estos perfiles sean sólo una primera aproximación, dado el limitado número de investigadores y docentes que participaron.

La convocatoria fue limitada por razones de tiempo y restricciones presupuestales. Por ello, el número de centros de enseñanza involucrados por área de ciencia no fue tan significativo ni tan equitativamente distribuido como habría sido deseable. Sin embargo, los 21 centros que participaron se encuentran localizados en distintas regiones geográficas del país, y los 656 estudiantes que respondieron a la convocatoria conforman un núcleo que puede considerarse, hasta cierto punto, representativo del conglomerado estudiantil existente en las diversas áreas de las ciencias exploradas.

La primera selección de estudiantes, basada en la correlación con el perfil trazado para el investigador, permitió identificar una proporción importante (35,3%) de universitarios con capacidad para desarrollar tareas investigativas. La etapa siguiente, que buscó afinar la correlación empleando criterios más estrictos, condujo a la selección de 74 universitarios (11,2% del total de participantes), quienes fueron entrevistados para darles la oportunidad de reafirmar su interés por la investigación y verificar si se conservaba la correlación previamente determinada con el cuestionario 16PF. Los entrevistados se vieron gratamente sorprendidos por la madurez, el deseo de superación, la vocación para la investigación y la estabilidad emocional de la gran mayoría de los entrevistados, demostrados por las altas calificaciones obtenidas.

El perfil de personalidad de los universitarios revela características que les permitirían desempeñarse en forma tan satisfactoria como los investigadores mismos. Los 43 estudiantes seleccionados presentan un alto nivel de factores de personalidad directamente relacionados con el desarrollo científico: inteligencia y capacidad de raciocinio (área

de pensamiento abstracto); disciplina y perseverancia (área de normatividad); creatividad (pensamiento imaginativo). Lo anterior, sumado a una sana actitud social y a la capacidad de liderazgo del grupo analizado, señala que el país cuenta con significativos recursos humanos para la investigación.

La mayoría de los seleccionados provenía de centros de enseñanza en los cuales existen grupos activos de investigación, capaces de estimularlos y abrirles sendas. La correlación entre número de estudiantes y recursos disponibles en los centros educativos demostró que 92% de estos últimos cuentan con programas de posgrado, grupos activos de investigación, biblioteca y publicaciones periódicas propias. Por ello, el fomento de la investigación debe ser tarea prioritaria en las universidades<sup>8,5,18-23</sup>.

La selección final, basada no solamente en la medición psicométrica (diseño metodológico empleado en este estudio) sino también en la evaluación personal lograda en la entrevista,

permitió identificar 43 universitarios que parecen tener grandes posibilidades de emprender con éxito una carrera investigativa. Este grupo debe recibir especial atención de las personas e instituciones que tienen la misión de preparar investigadores de carrera<sup>6</sup>. Si, en etapas posteriores de formación y de trabajo en laboratorios de investigación, estos universitarios reafirman la capacidad y aptitud que los llevaron a ser seleccionados durante este estudio, se habrá demostrado no sólo que la metodología empleada fue adecuada, sino también que el país cuenta con una gran reserva de individuos capaces de hacer avanzar la investigación y conformar esa masa crítica de investigadores que necesitamos para entrar al siglo XXI.

El presente trabajo abre el camino a futuros estudios psicométricos de mayor trascendencia que permitan afinar el perfil de personalidad del investigador. Dada la urgente necesidad que tiene el país de favorecer el desarrollo de grupos conformados por investigadores de carrera, la oportuna y precisa identificación de universitarios con las características mencionadas adquiere una innegable importancia.

Con la discreción que exigen el tamaño de la muestra y la desigual representación numérica de carreras universitarias, consideramos que el grupo de individuos seleccionados constituye apenas «la punta del iceberg» de una gran masa de estudiantes capaces de emprender una carrera investigativa, circunstancia que permite mirar con optimismo el futuro de la actividad científica en Colombia.

## Perspectivas

Colciencias convocó a los 43 universitarios seleccionados, invitándolos a participar en un programa de becas para la realización de estudios de posgrado en Colombia y, en algunos casos, en el exterior. En este momento se considera la posibilidad de continuar la búsqueda, a nivel nacional, de universitarios con potencial para el trabajo investigativo.

De otra parte, la Subdirección de Programas Estratégicos de la División de Recursos Humanos y Fortalecimiento de la Comunidad Científica de la entidad ha puesto en funcionamiento el programa Jóvenes Investigadores. Con base en la disponibilidad de tutores y la capacidad de entrenamiento en laboratorios de investigación y centros de excelencia, Colciencias facilita la incorporación de universitarios recientemente graduados a proyectos de investigación conducidos por investigadores de reconocida trayectoria. Los seleccionados reciben,

Tabla 4.

DISTRIBUCIÓN DE LOS UNIVERSITARIOS PRE Y SELECCIONADOS DE ACUERDO AL CENTRO DE ESTUDIO			
Institución	No. total	No. preselección	Selección
CES	17	2	1
U. Pont. Bolivariana	21	1	1
Corp. La Salle	5	1	0
U. de Antioquia	69	10	7
U. Nacional(Ant.)	19	2	1
U. Cat. Oriente	5	0	0
Sub - total(%)	136(21)	16(22)	10(23)
U. Metropolitana	10	0	0
U. del Norte	15	2	1
U. Libre	15	0	0
Sub - total(%)	40(6)	2(3)	1(2)
U. de Cartagena			
Sub - total(%)	62(9)	8(11)	6(14)
U. de Caldas			
Sub - total(%)	39(6)	7(9.5)	2(4.7)
U. del Cauca			
Sub - total(%)	29(4)	2(3.0)	0
U. del Quindío			
Sub - total(%)	30(5)	1(1)	0
U. Tecnológica de Pereira			
Sub - total(%)	39(6)	2(3)	1(2)
UIS			
Sub - total(%)	53(8)	5(7)	2(5)
U. Nacional	94	7	6
U. Javeriana	22	4	3
U. de los Andes	17	1	0
U. del Rosario	9	4	3
Esc. Colomb. Medicina	10	1	0
Sub - total(%)	152(23)	17(23)	12(28)
U. del Valle			
Sub - total(%)	76(12)	14(19)	9(21)
<b>Total</b>	<b>656(100)</b>	<b>74(100)</b>	<b>43(100)</b>

por un período de un año, una beca financiada conjuntamente por Colciencias y el centro de entrenamiento respectivo. En la actualidad, 180 profesionales jóvenes cursan su «año de investigación» en cerca de 30 centros del país.

### Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la efectiva colaboración de los rectores, directores, decanos, jefes de departamento, secretarios académicos, investigadores, docentes y secretarías de todas las universidades, institutos y centros de investigación en donde se realizaron las encuestas. Presentamos nuestro sentido homenaje y manifestamos nuestro apre-

cio a todos y cada uno de los universitarios, seleccionados o no, que acogieron nuestra convocatoria. Sin su interés y manifiesto deseo de cooperación, el propósito de nuestro estudio habría sido vano. A nuestros especiales colaboradores Myrtha Arango, Hortensia Barrios, Marta Lucía Bueno, Diego Cadavid, Álvaro Correa, María Teresa Ochoa, Juan McEwen, Astrid Elena Montoya, María Mercedes Patiño, Zanoni Ramos, Mauricio Restrepo, Martha Rincón y María Elena Salazar, así como a nuestras secretarías, Consuelo Agudelo y Esperanza Gaona, sin cuya colaboración e interés no habría sido posible llevar a buen término este trabajo.



### Referencias

1. Vallejo A, J. ¿Pueden la ciencia y la tecnología responder al reto del desarrollo económico y social del país? En: *Ciencia y tecnología para el desarrollo regional y nacional. Memorias de la VIII Convención Científica Nacional-1990* (pp. 13-19). Santafé de Bogotá: Contextos Gráficos, 1992.
2. Londoño J.L. La ciencia y la tecnología en el nuevo plan de desarrollo de Colombia. En: *Ciencia y tecnología para el desarrollo regional y nacional. Memorias de la VIII Convención Científica Nacional, 1990* (pp. 20-37). Santafé de Bogotá: Contextos Gráficos, 1992.
3. Villaveces J.L. Ciencia en un contexto de apertura. En: *Ciencia y tecnología para una sociedad abierta* (pp.29-52). Colciencias, Santafé de Bogotá, Tercer Mundo Editores, 1991.
4. Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología. Instrumentos jurídicos. Colciencias, Santafé de Bogotá, Tercer Mundo Editores, 1991.
5. Alvarez H B. Las instituciones del conocimiento y su contexto. En: B. Álvarez Heredia & H. Gómez Buendía (Eds.), *Ciencia y tecnología* (pp.11-24). Santafé de Bogotá: Instituto de Estudios Liberales, CIID, Tercer Mundo Editores, 1993.
6. Restrepo T, M. Perspectivas para la función de investigación en el Instituto Nacional de Salud. (Documento, noviembre 1993). Santafé de Bogotá, 1993.
7. The Commission on Health Research for Development *Health Research: Essential link to equity in development*. Oxford, Oxford University Press, 1990.
8. Misas A. G. Estrategias para la conformación de una cultura científica. En: *Ciencia y Tecnología para una Sociedad Abierta* (pp.203-225). Colciencias, Santafé de Bogotá, Tercer Mundo Editores, 1991.
9. Restrepo A. Promoción de investigadores jóvenes, fascículo especial, Fundación Ames Pro-investigación en Ciencias de la Salud, (pp. 3-8). Santafé de Bogotá, 1990.
10. Aldana E., Chaparro L.F., García-Marquez, G., Gutiérrez R., Llinás R., Patarroyo M.E., Posada E., Restrepo A. y Vasco C.E. Colombia al filo de la oportunidad. Informe conjunto. Colección Documentos de la Misión Ciencia, Educación y Desarrollo. Tomo 1, Presidencia de la República-Colciencias. Santafé de Bogotá, julio, 1994.
11. Catell R.B., Eber H.W., Tatsuoka M.M. *Handbook for the 16 Personality Factors Questionnaire (16PF)*. Institute for Personality and Ability Testing. Champaign, Ill, 1970.
12. Norusis, M. SPSS Inc. SPSS Professional Statistics. Chicago: SPSS Inc., 1992.
13. Mitchell J.V. *The Ninth Mental Measurement Yearbook. Vol.11.* (pp.1389-1384). The Buros Institute of Mental Measurement, The University of Nebraska, Lincoln, Lincoln, Nebraska, 1985.
14. The Educational Testing Service (ETS). *Collection Catalog Vol VI. Affective Measures and Personality Tests, compiled by The Test Collection, The Oryx Press, Phoenix, Arizona, 1992.*
15. Zuckerman M. Review of the Sixteen Personality Factor Questionnaire. En J.N. Mitchell (Ed.), *The Ninth Mental Measurement Yearbook.* (pp. 1392-1394). The Buros Institute of Mental Measurement, The University of Nebraska, Lincoln, Lincoln, Nebraska, 1985.
16. Blinkhorn S., Johnson C. The Insignificance of Personality Testing. *Nature*, 348 (6303), 671, 1990.
17. Buthcher J.N. Review of the Sixteen Personality Factor Questionnaire. En J.N. Mitchell (Ed.), *The Ninth Mental Measurement Yearbook.* (pp. 1391-1392). The Buros Institute of Mental Measurement, The University of Nebraska, Lincoln, Lincoln, Nebraska, 1985.
18. Ahumada B, J. Consolidación de la comunidad científica. En: *Ciencia y Tecnología para una Sociedad Abierta* (pp.204-225). Colciencias, Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1991.
19. Restrepo F, G. Contexto, función y propuesta de los doctorados en una nueva estrategia de desarrollo del país y de la Universidad. En: J.H. Cárdenas (Ed.), *Doctorados, Reflexiones para la formulación de políticas en América Latina* (pp.339-371). Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, Universidad Nacional de Colombia, CIID, 1991.
20. Villaveces J.L. Los Programas doctorales: Algunas reflexiones para su iniciación. En: J.H. Cárdenas (Ed.), *Doctorados, reflexiones para la formulación de políticas en América Latina* (pp.307-322). Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, Universidad Nacional de Colombia, CIID, 1991.
21. Alvarez H, B. Programas de Doctorado: Una decisión inaplazable. En: J.H. Cárdenas (Ed.), *Doctorados, reflexiones para la formulación de políticas en América Latina* (pp.19-25). Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, Universidad Nacional de Colombia, CIID, 1991.
22. Posada E. Estímulos a la investigación y a los investigadores. En: *Ciencia y Tecnología para una Sociedad Abierta* (pp.135-162). Colciencias, Santafé de Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1991.
23. Hoyos, N.E. La situación del investigador en Colombia frente a la iniciativa de otros países. En: *Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Regional y Nacional. Memorias de la VIII Convención Científica Nacional, 1990* (pp. 121-133). Santafé de Bogotá: Contextos Gráficos, 1992.

# Estado

# actual de la

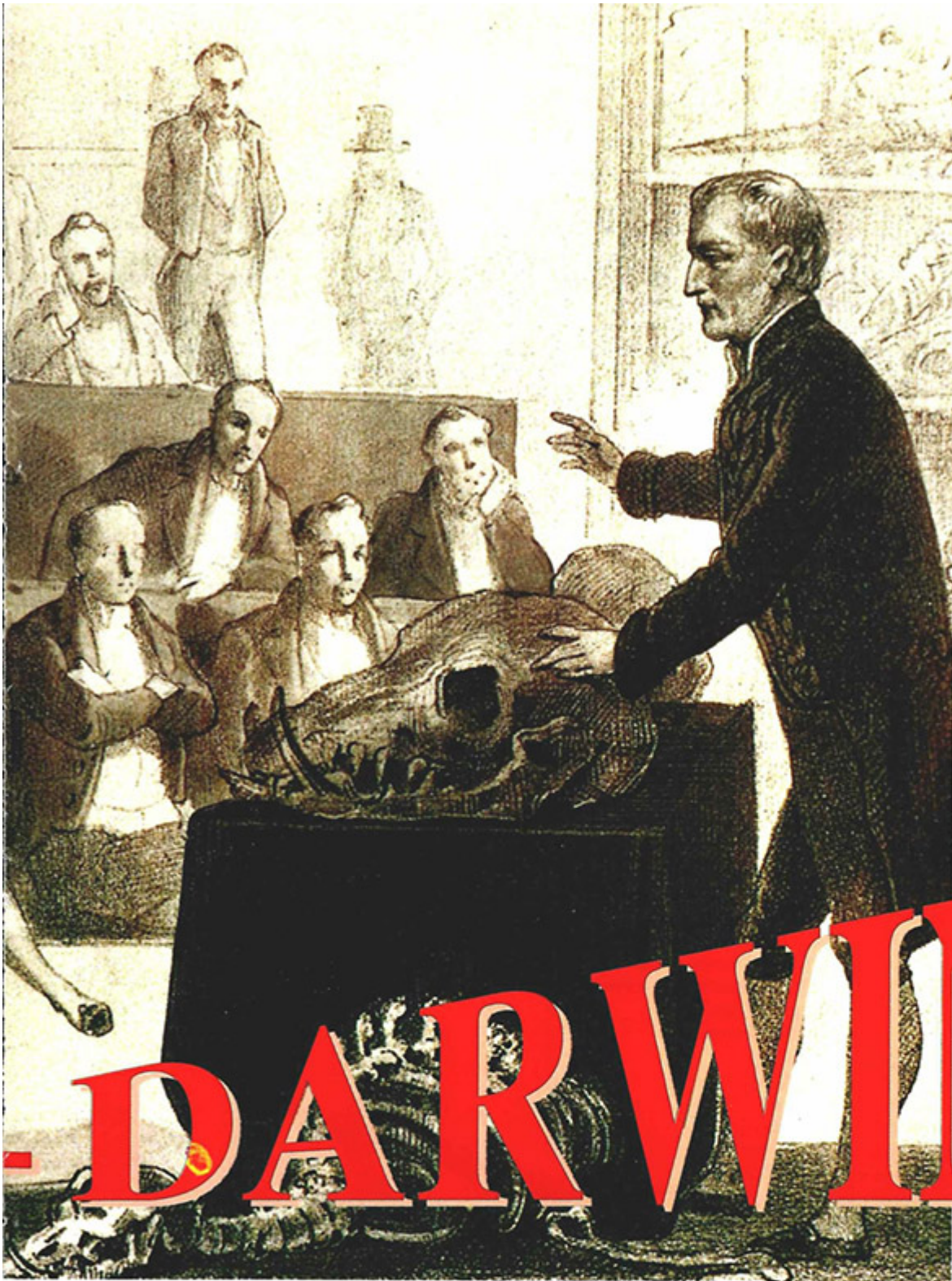
# controversia

# LAMARCK

Luis Eugenio Andrade P.  
Genética Molecular M.Sc.  
Profesor Asociado, Departamento de Biología,  
Universidad Nacional de Colombia.



**E**n general, las teorías evolutivas han girado siempre en torno a las propuestas de Lamarck o a las de Darwin. Lamarck (1800) sostenía que los seres vivos generan procesos internos que los llevan a ascender hacia una mayor perfección, adaptándose a circunstancias determinadas. El comportamiento, el uso y el desuso se darían como consecuencia de estos impulsos y se constituirían en la causa principal del cambio.



# - DARWIN

Joan Senet, en su presentación de la *Filosofía Zoológica*, afirma que para Lamarck «el análisis y la comparación en los seres vivos deben hacerse no solamente sobre los elementos constitutivos de sus distintas partes, sino entre las relaciones internas que se establecen entre dichos elementos. El funcionamiento del organismo, debe ser tomado como una totalidad, como un conjunto integrado de funciones y de órganos».

Puesto que se trata de procesos que involucran al organismo como sistema, concuerda con esta doctrina el postulado sobre el mantenimiento en un linaje determinado, con el paso de las generaciones, de los cambios adquiridos como respuesta a estas necesidades de adaptación. Este planteamiento, conocido como la «herencia de los caracteres adquiridos», es intraducible al lenguaje de la teoría genética de la herencia, hecho que lo llevó al

## El darwinismo, a pesar del avance de la teoría celular en el siglo XIX, se postuló sobre un desconocimiento implícito de la estructura interna de los sistemas

descreído. La posición de Lamarck tiene que ver con «plasticidad organizativa» o «flexibilidad somática», puesto que sucesivas generaciones de organismos pueden reaccionar de manera similar a determinados estímulos del medio por acondicionamiento de sus respuestas fisiológicas, sin que por ello se haya necesariamente integrado y transmitido un nuevo gen.

Estos procesos generados desde el interior de los organismos no solamente explicarían su capacidad adaptativa, sino también el aumento gradual de complejidad en las producciones de la naturaleza.

Posteriormente, Darwin (1859) propuso que la evolución ocurre debido al proceso de selección natural, que discrimina las variaciones que por azar se producen en los seres vivos, de manera que los organismos mejor adaptados dejan mayor número de descendientes.

La visión de ambos científicos comparte un criterio de gradualidad para explicar el proceso evolutivo de los seres vivos, a la vez que se trata de teorías adaptacionistas o funcionalistas, pues la existencia de formas particulares se explica por referencia a un entorno determinado. Las transiciones evolutivas bruscas, discontinuas o puntuadas, y la existencia de características no adaptativas o neutras, no encuentran una explicación adecuada dentro de estas teorías.

En el esquema de Lamarck subyace una intuición de tipo sistémico. Sin embargo, la carencia de un conocimiento sobre la estructura interna de los sistemas biológicos y el no haberse percatado de las variaciones a nivel poblacional fueron hechos que contribuyeron al fracaso de esta propuesta. Aunque las visiones sistémicas están siendo rescatadas por la ciencia actual, éstas suponen un conocimiento previo de las partes o elementos constitutivos.

El darwinismo, a pesar del avance de la teoría celular en el siglo XIX, se postuló sobre un desconocimiento implícito de la estructura interna de los sistemas, excusable en ese entonces. Para Darwin, la unidad de lo vital eran los organismos.

A. Weismann fue quien tendió el puente entre estas dos teorías. Sin embargo, su postulado sobre la continuidad del plasma germinal, que establece una separación entre las células germinales y las somáticas, condujo a que los temas de la embriología, la ontogenia y la teoría del desarrollo fueran dejados de lado en las explicaciones evolutivas, por cuanto cualquier cambio que pueda ocurrir durante el desarrollo y la vida de un organismo nunca podrá pasar de las células somáticas a las germinales.

Aunque durante el siglo XX se avanzó notablemente en la comprensión de la organización interna de los sistemas biológicos, el neodarwinismo no incluye postulados sobre la estructura molecular, la organización genómica, las tasas intrínsecas de cambio y los patrones que se generan en estos niveles, ni sobre los procesos epigenéticos, ni una teoría sobre el desarrollo o generación de los fenotipos. Todas estas carencias están relacionadas con descripciones de la organización interna propia de los sistemas biológicos. A pesar de lo anterior, el esquema neodarwiniano permitió correlacionar las variaciones a nivel individual con la variación a nivel poblacional que se describe en términos de cambio de las frecuencias génicas.

Hoy en día, gracias al aporte de la biología molecular, podemos pensar el genoma como un conjunto integrado de complejos de información cuya dinámica es entendible a la luz de las teorías de sistemas autoorganizantes sometidos a dinámicas no lineales. El genoma es una entidad altamente organizada, poseedora



Charles Darwin

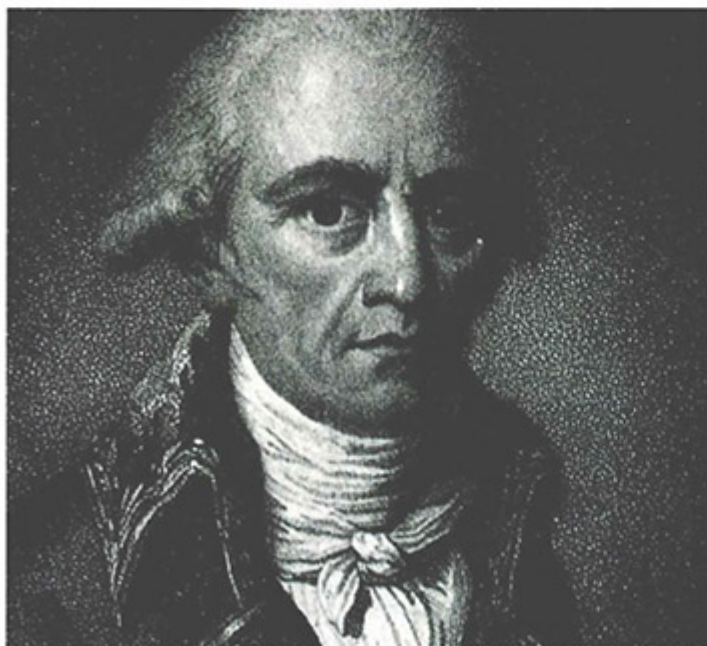
de una dinámica interna representada en un conjunto de fenómenos descritos como trasposición, entrecruzamientos desiguales, conversiones génicas, retrotranscripciones y retroinserciones, entre otros. Podría afirmarse que las mutaciones ocurren dentro de los límites, definidas por «atractores». Éstos corresponden al conjunto definido de soluciones posibles o de configuraciones relativamente estables, que involucran en el caso del genoma no solamente mutaciones puntuales, sino reorganizaciones génicas.

El concepto de variación aleatoria tiene una legitimidad de tipo heurístico que permitió el desarrollo de leyes estadísticas y probabilísticas, constituyendo un indudable avance de la biología. Sin embargo, cuando el azar se considera como categoría ontológica, en la práctica se está abandonando el estudio de la dinámica interna y de sus patrones de cambio.

### Formas posibles y leyes naturales

Uno podría preguntarse, ¿por qué razón todas las formas posibles o pensables no se dan en la naturaleza? Una respuesta sería la existencia de restricciones que actúan a diferentes niveles y que se manifiestan como:

1. Restricciones debidas a la naturaleza física y química de las moléculas biológicas.
2. Restricciones debidas a los tipos de organización precelular y celular posibles.
3. Restricciones genéticas o genealógicas.
4. Restricciones en el proceso de desarrollo.



Jean Baptiste de Lamarck

que hacen que no todos los patrones corporales sean igualmente posibles.

5. Restricciones ejercidas por el medio ambiente, que equivalen a las que conocemos como presiones de selección.

Asimismo, la dinámica viviente conlleva una serie de procesos autocatalíticos que hace que las estructuras tiendan a conservarse. El proceso de reproducción da lugar a errores que se manifiestan como variantes. Estos errores (mutaciones a nivel génico) son consecuencia del carácter entrópico, que implica la reproducción en general y la replicación en particular. A su vez, las estructuras están sujetas a un proceso permanente de interacciones con otras estructuras vivientes, generándose ajustes o modificaciones estructurales recíprocas, lo que lleva a la reorientación permanente de los linajes (línea de continuidad genealógica en el tiempo). Los sistemas no evolucionan en el «vacío», sino en la interacción permanente con otros sistemas biológicos. La complejidad de estas interacciones es responsable de que los linajes eventualmente se desvíen de la ruta evolutiva por la que venían transcurriendo, abriendo una nueva vía evolutiva.

La evolución, por lo tanto, no es imaginable en términos lineales de acumulación gradual de cambios, sino en términos compatibles con la descripción de sistemas complejos no lineales, altamente organizados.

### Entorno y proceso evolutivo

La relación organismo-entorno no se puede entender como un estado de equilibrio, a causa de la actividad de los organismos que generan y transforman continuamente su entorno. En los procesos de cambio rápido, los organismos generan un entorno al cual se van adaptando gradualmente con posterioridad. En las grandes transiciones, los organismos todavía no están adaptados al entorno generado por sus antecesores, pero su capacidad adaptativa les permite irse acoplando a las nuevas circunstancias. La extinción de una especie se produce cuando los organismos se hallan tan integrados y adaptados al entorno que un súbito cambio del mismo los deja sin posibilidades de reaccionar adaptativamente.

La relación organismo-entorno en el proceso evolutivo debe ser observada en varios niveles:

1. El entorno como agente que facilita los distintos flujos de energía, de materiales y de nutrientes que hacen posibles los procesos de organización biológica.
2. El entorno como instancia que actúa a lo largo de los procesos de desarrollo, en la interacción epigenética que puede generar variaciones a nivel fenotípico.

3. Por último, el entorno que opera sobre el producto final (los organismos). En este caso, se trata de las llamadas presiones de selección impuestas por las condiciones externas.

4. Los organismos que controlan sus propias condiciones de evolución y selección a través de la modificación permanente de su entorno.

En la actualidad, el terreno está abonado para aventurar dos hipótesis que enriquecerían la dinámica de la relación organismo-entorno:

1. Los organismos perciben su entorno, cada cual a su nivel. Por ejemplo, la bacteria lleva una representación química del entorno dada por moléculas sensoras, receptoras, gradientes iónicos, etc. En el otro extremo de la escala evolutiva (vertebrados superiores), estas representaciones pueden incluir además elementos de naturaleza más abstracta.

2. Los organismos utilizan su percepción del entorno para modificar sus respuestas fisiológicas y metabólicas, algunas de las cuales podrían favorecer cierto tipo de mutaciones por encima de otros. Esta hipótesis no enfrenta problemas conceptuales serios en lo relacionado con aquellos organismos en los que no hay distinción entre línea somática y germinal (bacterias, protozoos, hongos, plantas y gran parte de los invertebrados). No obstante, para organismos con una clara separación entre genotipo y fenotipo (insectos y vertebrados), esta hipótesis es de difícil aceptación. En este caso, se propone como hipótesis de trabajo que las mutaciones en las células germinales podrían acoplarse con cambios fenotípicos a través de reajustes recíprocos que incluyen indefectiblemente procesos de variación y selección, entre niveles adyacentes de la organización jerárquica. Por ejemplo, el uso de un órgano implica de hecho una selección que favorece o amplifica una fluctuación propia de un patrón morfológico.

### ¿Determinismo genético o sistémico?

El esquema neodarwinista es compatible con la noción de determinismo genético, la cual es apenas una aproximación para definir los determinismos inherentes a los sistemas biológicos. Cuando una característica o un comportamiento están fuertemente enraizados y condicionados por la naturaleza biológica, eso no significa que necesariamente estén determinados genéticamente, aunque en algunos casos sí puedan estarlo. Sin embargo, estos determinismos son más compatibles con la noción de «caos determinista», en la cual no hay certidumbre absoluta sobre un resultado



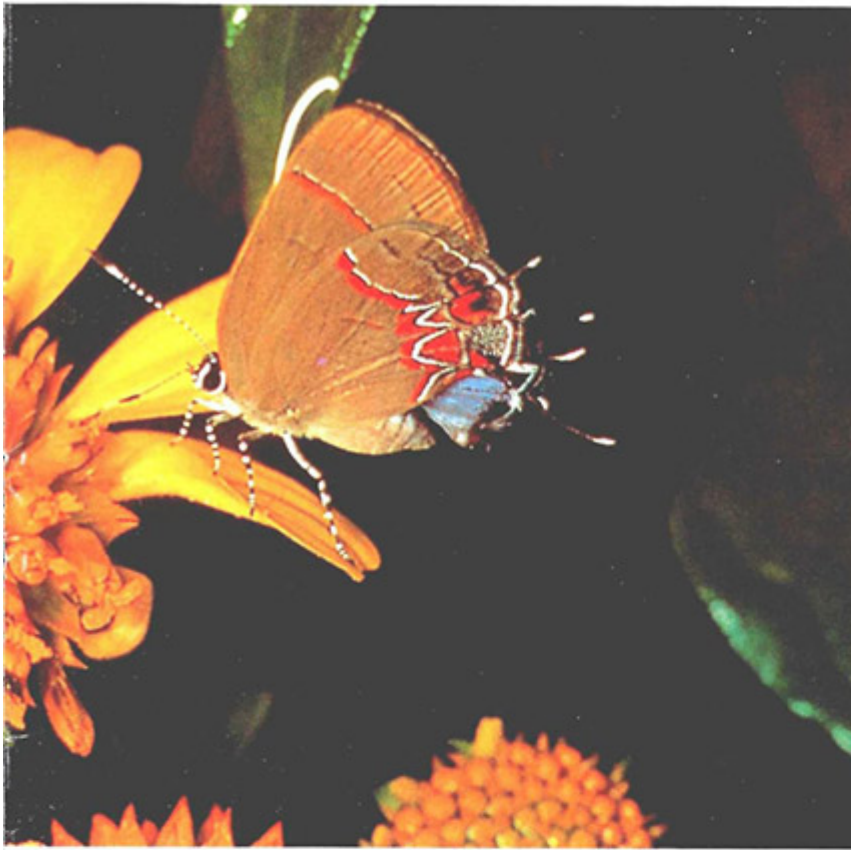
particular, sino definición de tendencias y posibles soluciones o estados cuasiestables.

El «caos determinista» corresponde a un determinismo irreducible a una única instancia, puesto que surge como resultado de un proceso sistémico que ocurre en cada uno de los niveles jerárquicos de la organización de lo viviente. Los determinismos genéticos son solamente parte de los determinismos sistémicos y no la única instancia donde se definen los rasgos propios de los sistemas vivientes. Este punto es de suma importancia para evitar subestimar el potencial de cambio que se genera en otras instancias distintas a la organización estrictamente genética, por ejemplo, la de tipo epigenético.

### Neutralismo y crisis de la noción de adaptación

Se ha tratado en vano de establecer una correlación inequívoca entre los cambios genéticos moleculares y los procesos de especiación. A medida que los sistemas interactuantes se acoplan por la modificación de algunas estructuras, éstas sincronizan sus tasas de cambio, mientras que otras (la mayoría) varían de modo asincrónico y errático. En un sentido amplio, los cambios moleculares neutros no participan en el fenotipo del organismo; varían independientemente mientras no interfieren con la organización global del sistema.

Las mutaciones neutras pueden considerarse como cualquier tipo de cambio que pasa sin ser detectado por la presión selectiva ejercida desde el nivel superior de organización, y no únicamente las mutaciones puntuales sinónimas a nivel del ADN. Incluso arreglos



genéticos complejos pueden ser neutros, en tanto son compatibles con la macroestructura que los contiene. Modificaciones en las vías epigenéticas o de desarrollo son neutras en la medida en que no se altera el producto final. Por lo tanto, se puede hablar de cambios neutros siempre que sea posible definir un nivel de organización al cual corresponda un conjunto degenerado de subniveles. Se habla de «degenerado» siempre que a un nivel corresponde un conjunto de subniveles. Por ejemplo: en lo relativo al código, para cada aminoácido hay asignado un conjunto degenerado de codones; a un fenotipo determinado puede corresponder un conjunto degenerado de genotipos; para una estructura proteica tridimensional existe un conjunto degenerado de secuencias lineales; diferentes linajes evolutivos pueden satisfacer una misma descripción morfológica, como en el caso de los eutéridos y marsupiales.

L.A. Cadena (1995) ha mostrado que los cambios neutros generan de hecho un patrón oculto que se acumula hasta que se sobrepasa un umbral de estabilidad, tras el cual se descubre una nueva configuración macroscópica que es capaz de definir nuevos tipos de relaciones con el entorno y que a medida que se estabiliza despliega un nuevo ramillete de subniveles degenerados. Son numerosas las estructuras moleculares que evolucionan antes de que se dé la especiación. Por ejemplo, el polimorfismo transespecífico del complejo ma-

**T**anto la adaptación completa (equilibrio) como la no adaptación (desequilibrio) no son viables en sus formas extremas.

yor de histocompatibilidad es anterior a la especiación misma.

Hoy, en opinión de muchos, la evolución se representa como un viaje de lo inferior a lo superior, convirtiéndose en sinónimo de la optimización de la eficiencia y la adaptación. Tanto la adaptación completa (equilibrio) como la no adaptación (desequilibrio) no son viables en sus formas extremas.

La debilidad de la teoría evolutiva darwiniana y, más aún, de la de Lamarck, radica en la suposición de que todas las características son progresivamente adaptativas. Algunos evolucionistas, como Kimura y Ohta, consideran que gran parte de las variaciones en la estructura de las proteínas es al azar y no adaptativa.

Dobzhansky sostiene que es difícil postular una selección que preserve a los más aptos y prefiere hablar de los tolerablemente adaptados, es decir de aquéllos que apenas alcanzan a dejar descendencia. Los coeficientes de selección dependen del tamaño de la población. La selección de los individuos más aptos no necesariamente produce poblaciones más adaptadas.

Igualmente, en la naturaleza se presentan muchas características que son independientes de una necesidad adaptativa. Entre otras figuran la incontable variedad de formas foliares en un mismo medio ambiente, el alto grado de polimorfismo proteico en los animales, los comportamientos opuestos que se presentan en un mismo medio (por ejemplo, ciertos monos que matan a los jóvenes, mientras otros los ayudan); la baja fecundidad en chimpancés y cóndores; la muerte prematura que se presenta en algunas especies, etc.

A pesar de todo lo anterior, se confunde supervivencia con eficiencia. La adaptación es relativa a un entorno determinado. El espacio adaptativo no es estático sino dinámico. Por ejemplo, supongamos que tiene lugar una adaptación que es favorable en un entorno determinado; este hecho puede favorecer que otras adaptaciones se seleccionen de modo similar. Sin embargo, la acumulación de estos cambios

adaptativos altera de hecho el entorno, trayendo como resultado que las mismas adaptaciones dejen de ser benéficas.

Una de las razones por las cuales no todos los resultados evolutivos corresponden a un mayor grado de adaptación estriba en el hecho de que los patrones estructurales tienden a conservarse, im-

poniendo restricciones al tipo de cambio permisible. El plan de organización corporal presenta un tipo de patrón que da coherencia estructural a las distintas agrupaciones taxonómicas, independientemente de que todas las características tomadas aisladamente sean útiles o no.

### Las adaptaciones positivas suponen un sistema cognitivo natural

Para entender las adaptaciones positivas, habría que retomar las dos hipótesis mencionadas anteriormente sobre la actividad del organismo respecto al entorno, con el fin de comprender por qué justamente ciertas adaptaciones positivas se dan con alta frecuencia. Es decir, habría que ver a los sistemas biológicos como sistemas «cognitivos» que interpretan el entorno, proponiendo una panoplia de soluciones que se constituyen en las innovaciones evolutivas. Estas innovaciones estarían canalizadas tanto por las direccionalidades internas del sistema como por fuerzas externas, tales como la selección natural.

La idea de la evolución influida por el ambiente, no sólo a través de la selección sino por mutaciones dirigidas, ha ido ganando terreno a partir de los trabajos sobre adaptabilidad de bacterias. J. Cairns (1988) demostró que a partir de cepas de *Escherichia coli* incapaces de digerir lactosa se seleccionaron mutantes capaces de hacerlo con mayor frecuencia en bacterias expuestas a la lactosa que en bacterias control. Este fenómeno se ha explicado en términos de variación fortuita y de selección, pero el hecho de que la primera tienda a ocurrir mucho más frecuentemente en aquellos genes necesarios para encontrar la solución adaptativa restringe notablemente el campo de lo casual. Es como si a lo largo de la historia evolutiva hubiera habido selección no solamente para características particulares, sino sobre todo para favorecer la capacidad de generar variación útil.

Para que un sistema funcione como cognitivo no requiere de una inteligencia extramaterial,

sino de un sistema químico de representación que le permita generar una imagen interna del entorno que experimenta. Los sistemas vivientes han evolucionado para poder reaccionar ante los cambios externos y encontrar las soluciones adaptativas, aprovechando la experiencia. Esta aparente capacidad anticipatoria es análoga a la que se adquiere por aprendizaje, la cual no los exime de equivocaciones. Por ejemplo, Thaler (1994) ha propuesto un esquema para mostrar cómo la interacción con el ambiente genera reacomodamientos génicos que allanan la búsqueda de las soluciones adaptativas, en el caso particular de las bacterias. En el mismo sentido, Cohen (1992) propuso que el sistema inmunológico tiene una sorprendente capacidad para responder efectivamente ante antígenos desconocidos, justamente porque ha desarrollado la capacidad de aprender a distinguir lo extraño, como resultado de la generación de una representación química del mundo antigénico al cual ha sido previamente expuesto. De acuerdo con este autor, la selección antigénica que efectúan las células clonales estaría ajustada a la experiencia antigénica previa de cada individuo.

Estas ideas sobre la dinámica interna de los sistemas vivientes difieren notablemente del esquema lamarckiano, en el que la solución planteada es siempre correcta, mientras que aquí los organismos plantean un conjunto de soluciones de las cuales se seleccionan las más adaptadas. En este sentido, se trata de una ampliación del darwinismo, aunque con aparentes connotaciones lamarckianas.

Hoy asistimos a una proliferación de propuestas que buscan ir más allá de las teorías clásicas. Sin embargo, del lamarckismo podemos retener la idea sobre la dinámica organizativa propia de los sistemas vivientes y la idea de heredabilidad como un fenómeno que no es exclusivo de los genes. En cuanto al darwinismo, debemos preservar y desarrollar su axioma fundamental, definiendo los rangos de variación aleatoria y precisando los niveles donde actúa la selección.




### Referencias


1. Brook D. and R. Wiley. *Evolution as Entropy. Towards unified theory of Biology.* The University of Chicago Press. 1986.
2. Cadena A. *Selección y neutralidad, ¿antagónicas?.* Innovación y Ciencia. Vol.IV. No.1. 1995.
3. Cairns J., Overbaugh J. and Miller S. «The Origin of Mutants», *Nature* 335:142-145., (September 8), 1988.
4. Cohen I. «The cognitive principle challenges clonal selection», *Immunology Today*. Vol.13 (11): 441-444, 1992.
5. Kimura M. «The Neutral Theory of Molecular Evolution», Cambridge University Press. Cambridge, England, 1983.
6. Maturana H. *The Tree of Knowledge.* Shambala Boston & London: 47-52, 1992.
7. Moffat A. «A challenge to Evolutionary Biology», *American Scientist* 77: 224-226 (May-June), 1989.
8. Senet J. *Presentación de la Filosofía Zoológica de Lamarck.* Editorial Mateu, Barcelona: 13-14, 1971.
9. Haler D. «The Evolution of Genetic Intelligence» *Science*, Vol. 264: 224-225, April, 1994.


# Sabe usarlo?



Cualquier niño  de 4 años sabe como hacerlo!!

Lo que difícilmente se sabe, es que el baño es el lugar de la casa  donde más se consume agua. Un promedio de 200 litros al día.

Multiplique por el número de hogares de Colombia  y eso es mucha agua!

Sabemos que usted no puede dejar de usar el baño, pero lo que si puede hacer es utilizar los sanitarios de Bajo Consumo de Agua de Corona .

Pregunte por las líneas Acuacer, Nova, Royal y Tiffany.

Aprenda a usar racionalmente el baño y con la porcelana sanitaria de Corona, viva su ambiente!



**Corona**<sup>®</sup>  
*Viva su Ambiente!*



# ¿Qué sabe Usted sobre la biodiversidad de la fauna colombiana?



Obra impresa a todo color en papel Lumiart brillante, pasta forrada en tela CIALUX, estampada y repujada. Sobrecubierta plastificada. Tamaño 16.5 x 16.5 cm.

## ¡Descúbralo en esta bella colección de Cristina Uribe Editores!

Conocerá la vida y costumbres de 40 especies de mamíferos, 47 de reptiles y anfibios, 100 de insectos y 65 de peces de agua dulce. Muchas de estas especies, fotografiadas por primera vez, no han sido clasificadas aún por los científicos.

- Mamíferos del Llano: 96 páginas, 96 fotografías, 1 mapa. Premio Andigraf "Mejor Libro del Año 1992 - 1993"
- Anfibios y reptiles del Llano: 96 páginas, 93 fotografías, 1 mapa.
- Insectos del Llano: 104 páginas, 120 fotografías, 1 mapa. Premio Andigraf "Mejor Libro del Año 1995 - 1996"
- Peces del Llano: 104 páginas, 102 fotografías, 1 ilustración, 1 mapa.



**COMPRELA EN:**

Cristina Uribe Editores y en las Principales Librerías del país.

Calle 93B No. 16-66 Oficina 201 Teléfono: 622 11 10 Fax: 622 10 57 Bogotá - Colombia

# Novedades editoriales

## DESARROLLO TECNOLÓGICO ENDÓGENO: REALIDADES Y PERSPECTIVAS

**Elsa Beatriz Acevedo**  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Departamento de Humanidades

Pretendiendo enriquecer la crítica universitaria sobre algunos aspectos de actualidad mundial, entregamos el presente libro con la certeza de que generará interrogantes, dudas y debates en torno a importantes aspectos relacionados con la ciencia y la tecnología así como con la inserción en el desarrollo económico y en la calidad de vida de nuestra sociedad.

## PROYECTOS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA: GESTIÓN Y FINANCIACIÓN

**Roberto Sbragia**  
**Santiago Maya López**  
CYTED



Los proyectos de innovación, de carácter nacional e internacional, como unidades organizativas con objetivos, planes de trabajo, cronogramas, equipos y presupuestos, tienen, por lo general su origen en las empresas, ya sea de una manera individual, o en asociación con otras empresas, institutos tecnológicos o universidades. Para que lleguen a ser viables, estos proyectos necesitan, a su vez, organismos gubernamentales que contribuyan a captar aportes financieros reembolsables. Por esta razón dichos organismos necesitan una capacidad técnica que les permita promover, evaluar, seguir y comprobar los resultados de los proyectos, frente a los riesgos y desafíos que se van presentando.

## LA INVESTIGACIÓN EN LA UNIVERSIDAD JAVERIANA. III CONGRESO.

Pontificia Universidad Javeriana

La Misión de la Universidad establece la actividad investigativa como prioritaria en la vida de la institución. La rectoría, la vicerrectoría académica y las facultades y departamentos han dado gran importancia al fomento y apoyo de la Investigación, que hoy ocupa un lugar destacado en el concierto de las universidades del país. Nuestra Investigación se caracteriza por atender principalmente a las necesidades y problemáticas de nuestra sociedad, siguiendo así las orientaciones dadas en el Documento de Misión de la Universidad. Los Congresos "La investigación en la Universidad Javeriana" se han venido realizando desde el año de 1990, cada dos años, y en ellos se reúnen profesores investigadores de la institución para presentar y compartir sus esfuerzos y sus logros en el campo de la investigación científica.

## HISTORIA SOCIAL DE LAS CIENCIAS EN AMÉRICA LATINA

**Juan José Saldaña**  
Universidad Nacional de México  
Coordinación de Humanidades  
Coordinación Investigación Científica

Esta es una obra realizada de manera colectiva por especialistas de varios países. Concebida desde un enfoque metodológico original –la ciencia en su contexto–, contiene valiosa información y agudos análisis sobre la evolución que siguieron las ciencias en la región desde la época precolombina hasta la presente. Es sin duda, una publicación de interés para quienes siguen con atención la problemática cultural de las sociedades científico-tecnológicas que han emergido recientemente, en tiempos de una globalidad que paradójicamente demanda el nutriente de la diversidad cultural.

## MATEMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON LAS CIENCIAS DE LA VIDA



**Rafael Escudero T.**  
Ediciones Uninorte

Este libro es el resultado de la revisión al manual «*Matemáticas Aplicadas a las Ciencias de la Salud*». Han sido revisados los ejercicios y la nomenclatura, teniendo en cuenta las sugerencias de colegas y estudiantes que tuvieron la oportunidad de trabajar con el autor.

Este texto tiene el propósito de presentar los temas de matemáticas en un primer curso para estudiantes de ciencias de la salud y de ciencia en general como una actividad que socialmente puede ser compartida, y no como un producto para transmitir. De acuerdo con esta óptica, este libro ha sido escrito para ser desarrollado mediante talleres, trabajos en grupo o seminarios que les permitan a los estudiantes, con la guía del profesor, generar sus propios procesos de aprendizaje a partir del conocimiento informal que posean.

## GLOBALIZACIÓN Y GESTIÓN DEL DESARROLLO REGIONAL

**Francisco Albuquerque**  
**Sergio Boisier**  
**Luis Lira**  
**Javier Medina**  
**Milton Santos**  
**María Laura Silveira**  
**Edgar Varela B.**  
Universidad del Valle

Este libro reúne diferentes perspectivas latinoamericanas acerca de cómo la globalización conduce a un reordenamiento de las prioridades del desarrollo de las regiones, y a su vez destaca cómo ello implica construir una nueva visión del desarrollo que haga posible nuevas modalidades de políticas públicas, acercando al Estado, al mundo empresarial y al mundo laboral en torno a proyectos comunes que les permitan afrontar los desafíos que impone la primera revolución global.

1950- SEPTIEMBRE 15 - 1996

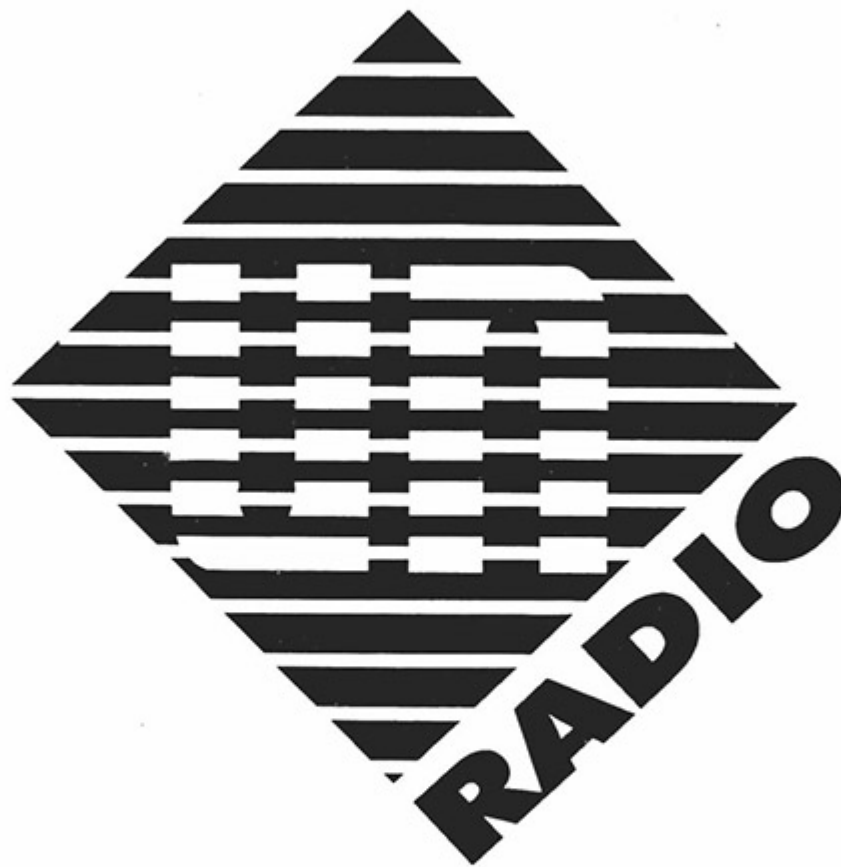
46 AÑOS



89.9 F.M. ESTEREO

Una emisora para la inmensa minoría

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



**98.5 F.M.**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA**

...AHORA  
SU NUEVA  
TARJETA  
GRANAHORRAR  
LLAVE UPAC  
ESTA...

MAS  
CERCA  
...DE CADA  
REGION,  
MAS CERCA  
DE SU  
CORAZON!

DISEÑADA PENSANDO EN SU TIERRA!



Young & Rubicam

REGISTRO DE MARCA SUPERINTENDENCIA BANCARIA

USARLA EN ESTABLECIMIENTOS  
AFILIADOS NO LE VALE NADA



RED  
MULTICOLOR



**Granahorrar**  
CORPORACION GRANCOLOMBIANA DE AHORRO Y VIVIENDA