



# Innovación y Ciencia

Volumen XIX • N°4 • Tarifa postal reducida 2012 - 194 • Colombia \$ 13.000

Antimateria: ¿Por qué hay algo en lugar de nada?



ASOCIACIÓN COLOMBIANA



# **XIII EXPOCIENCIA** **EXPOTECNOLOGÍA** **2013**

OCT. 28 / NOV. 03  
CORFERIAS - BOGOTÁ  
C O L O M B I A



ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

[www.acac.org.co](http://www.acac.org.co)

## REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA

VOLUMEN XIX N° 4- 2012

### PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC

### JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez

Marcelo Riveros R.

Carlos Corredor P.

Elena Stashenko

Guillermo Hoyos V.

Helena Groot

Horacio Torres S.

Rubén Ardila Ardila

Corporación para Investigaciones

Biológicas - CIB

Centro Internacional de Entrenamiento

e Investigaciones Médicas - CIDEIM

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales - ACCEFYN

Centro Interactivo Maloka

### PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

### DIRECTORA EJECUTIVA

María Piedad Villaveces Niño

### EDITOR

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC

### COORDINACIÓN EDITORIAL

Germán Cubillos Alonso

### COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Flórez

María Piedad Villaveces Niño

Carmen Helena Carvajal

Elizabeth Castañeda

Marcelo Riveros

Jordi Carreras

María Fernanda Gutiérrez

Germán Puerta Restrepo

Eduardo Rueda Barrera

Carlos Arroyave Posada

Sergio Torres Arzayús

### CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

José Antonio López Cerezo

Alejandro Franco García

### PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Susana Carrié M.

### CORRECCIÓN DE ESTILO

María Teresa Ropaín García

### FOTOGRAFÍA

Autores y Banco de imágenes

### IMPRESIÓN

Nomos Impresores

### COMERCIALIZACIÓN

Departamento de Mercadeo de ACAC

### DISTRIBUCIÓN



### CARÁTULA

*Paul Adrien Maurice Dirac y la antimateria*

Composición digital: Susana Carrié

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

### DERECHOS RESERVADOS

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

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

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

ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida: 2012-194 4-72. La Red Postal de Colombia, vence 31 de diciembre de 2012

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

Teléfonos: 3150734 – 3155900

Fax: 2216950

Email: [innovacionyciencia@acac.org.co](mailto:innovacionyciencia@acac.org.co)

Bogotá, D.C. – Colombia

Precio de venta al público: \$13.000

Suscripción (4 números al año): \$55.000 para Bogotá,

\$65.000 fuera de Bogotá.

## XIX Convención Científica

Entre la ciencia, la tecnología y la innovación  
La XIX Convención Científica Nacional, investigación e innovación con impacto social: una convención llena de expertos, propuestas y polémicas

MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

8



## Filosofía de la ciencia

La estructura de las revoluciones científicas: 50 años de reflexión sobre la racionalidad de la ciencia

SERGIO TORRES

18



## Astrofísica

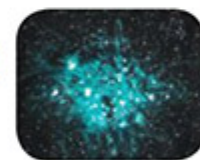
Antimateria: ¿Por qué hay algo en lugar de nada?

ALEJANDRO AYALA

JORGE NAVARRO

HORTENSIA SEGURA

32



## Educación científica

Los planetarios: la gran herramienta de la educación científica

GERMÁN PUERTA

42



# Sumario

Innovación y Ciencia Volumen XIX Nº 4 • 2012

## Ornitología y música

Cantores... de plumas multicolores

ALFREDO DUQUE

50



## Nanotecnología y ambiente

Nanopartículas: ¿una nueva fuente de contaminación?

Parte II. Situación después de la primera década del siglo XXI

LUCERO ÁLVAREZ

58



## Fotografía

Ver para conocer, conocer para preservar

FOTOGRAFÍAS DE CARMEN HELENA CARVAJAL

66



## Sitios web

Portal Francia en Línea

Red de información y comunicación del sector agropecuario

68





## El legado Carvajal: ciencia y creatividad

C

on mucho pesar tenemos que dar cuenta hoy del retiro por razones personales de Carmen Helena Carvajal, Directora de la Asociación, cargo que ocupó durante los últimos quince años.

Carmen Helena llegó a la ACAC como asesora del programa *Cuclí Cuclí* de Colciencias, una estrategia de divulgación de la ciencia para niños y niñas reconocida nacional e internacionalmente por unir temas artísticos con temas de conocimiento científico. Luego, ya como miembro del personal de la ACAC, gestó el programa *Actividades Científicas Juveniles*, más conocido como ACJs, a partir del cual numerosos niños y niñas de nuestro país empezaron a realizar, a través de los clubes de ciencias, sus primeros experimentos científicos. El enfoque de ese programa se sustentó en la capacidad de los niños y niñas de generar sus preguntas sobre temas científicos de manera espontánea, probando que con recursos alternativos no escolarizados también se podía aprender ciencia. Desde las mismas oficinas del primer piso del edificio de la ACAC (en donde quedaban las ACJs), también jugó un papel destacado como asesora de la *Misión de Ciencia Educación y Desarrollo* y en la gestión de la estrategia pedagógica del Centro Interactivo de Ciencia y Tecnología de la ACAC que hoy se conoce como *Maloka*.

Su claridad de que la ciencia y el arte parten de la creatividad permitió que los avances que se alcanzaron en la ACAC —desde 1998, cuando pasó a ocupar la dirección ejecutiva de la institución, hasta la fecha— tuvieran un sello de inteligencia racional mezclado siempre con inteligencia emocional, recordando siempre la integralidad y la complementariedad del ser humano.

Además de consolidar y enriquecer los programas de la ACAC —como *Expociencia-Expotecnología y Expociencia Juvenil*, la *Convención Científica Nacional*, el *Premio al Mérito Científico* y el *Encuentro con el Futuro*— y la administración de proyectos, la labor de Carmen Helena se destacó por la concepción, estructuración y ejecución de programas como el *Encuentro de Ciencia y Arte*, el cual inició como un espacio de debate entre personas inquietas y creativas y rápidamente evolucionó hasta llegar a ser un foro reconocido nacionalmente y apoyado por el Gobierno Francés a través de la Alianza Colombo Francesa.

Convencida de la necesidad de llegar, no sólo a los niños y niñas, sino también a los jóvenes y adultos con inquietudes científicas, con su equipo de trabajo creó el *Encuentro con las Ciencias*, que se conoce como unas tertulias en las que los científicos salen del laboratorio y cuentan a las personas del común sus investigaciones.

Su labor en la apropiación social de la ciencia y su claridad de que ésta debe estar al servicio de la sociedad permitió que, bajo su dirección, se gestaran en la ACAC tres diplomados que han capacitado a más de 2.500 personas en temáticas de interés científico.

Una de las labores que con competencia y tenacidad lideró en los últimos años fue la adquisición para nuestra institución de la sede académica, gracias a la cual se desarrollan de manera mucho más apropiada las actividades educativas y científicas de la ACAC.

Por la infatigable labor desarrollada por ella, la Asociación es hoy una entidad sólida y de un gran reconocimiento nacional y regional. Su pasión y convencimiento del papel de la ACAC en la creación de estrategias de desarrollo para el avance de la ciencia en nuestro país, hizo que nuevas generaciones del personal de la ACAC compartan esa misión. Con ese gran equipo y con esa visión tenemos la responsabilidad de seguir los rumbos que marcó Carmen Helena para la proyección de la ACAC en la sociedad colombiana.

## Primeros proyectos con recursos de regalías

En el momento del cierre de esta edición el OCAD —Órgano Colegiado de Administración y Decisión del Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación— tuvo la reunión para aprobar los primeros proyectos financiados con recursos de regalías para ciencia y tecnología. Los resultados de esa primera decisión aún no se han publicado oficialmente. La ACAC está muy atenta a hacer seguimiento a ese importante proceso que, por primera vez, garantizará recursos estables para proyectos de innovación en ciencia y tecnología de impacto regional. Con el detalle que requiere, será entonces tema del próximo número de la revista *Innovación y Ciencia*.

Por la trascendencia de estos nuevos procesos, la ACAC ha creado el *Diplomado en Formulación de Proyectos de Investigación*, que incluye una revisión de la estrategia para la presentación de proyectos al Fondo de Regalías. La próxima versión del Diplomado inicia en el mes de marzo de 2013.

Cordialmente,  
**EDUARDO POSADA FLÓREZ**  
Presidente

**MARÍA PIEDAD VILLAVECES NIÑO**  
Directora Ejecutiva

Publique en

# Innovación y Ciencia



## Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

**I**nnovación y Ciencia es una revista de divulgación de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, cuyo objetivo es dar a conocer las investigaciones científicas que se desarrollan en Colombia y los avances en ciencia y tecnología de nuestro país y de América Latina. Necesariamente, en un mundo globalizado, se busca también la divulgación de la ciencia que se desarrolla en otras regiones del mundo.

El contenido de la revista depende de la generosidad intelectual de los investigadores y académicos, quienes envían espontáneamente sus artículos. También, permanentemente la revista envía invitación a participar en sus páginas a universidades y centros de investigación. Los artículos, ensayos, reseñas, noticias y fotografías que se publican corresponden a temáticas de ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación y epistemología. El tercer número de cada año, que circula en septiembre, es un número especial dedicado a un solo tema que se anuncia en el primero, que circula en abril.

### POLÍTICA EDITORIAL

Los escritos que llegan a la revista son revisados en primera instancia por el editor, quien, si lo considera necesario, le sugiere al autor cambios o complementos necesarios antes de enviarlos al Comité Editorial. Este es el encargado de realizar la evaluación de los escritos y, según el grado de especialización, lo envía a evaluadores expertos siguiendo las tradiciones internacionales de anonimato e independencia. Las sugerencias de este proceso de evaluación se le envían al escritor quien tendrá plena libertad de acogerlas o no. La versión final será revisada nuevamente y se tomará la decisión de publicar o no el escrito. Cuando la revista toma la decisión de publicar un escrito, éste se somete a una rigurosa corrección de

estilo de acuerdo con las normas del español, particularmente las de la Real Academia de la Lengua. Puesto que las comunidades científicas involucran cierta terminología especializada, muchas veces no reconocida aún en español, después de la corrección de estilo el escrito vuelve al autor para su aprobación general, correcciones puntuales y sugerencias.

Puesto que la revista pretende que cada número refleje el interés de la ACAC por acoger una diversidad intelectual y científica, los artículos no se publican por orden de aceptación sino atendiendo al equilibrio temático.

La comunicación de los autores con la revista se da a través del editor quien expresa la posición de la revista y la opinión del Comité Editorial.

### ESPECIFICACIONES

#### *Temas*

Ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación, epistemología.

#### *Escritos*

Artículos y ensayos de alrededor de 10 páginas tamaño carta en letra Arial 12, a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros). Notas cortas, noticias científicas y reseñas de libros de alrededor de 4 páginas.

#### *Lenguaje*

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Evitar la terminología técnica y sustituirla por su equivalente en el lenguaje cotidiano. Si no es posible, dar una definición sencilla entre paréntesis o entre comas. Por ejemplo: "...en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa de mucosas y partes más claras de piel)...".

- Evitar, hasta donde sea posible, el uso de expresiones y demostraciones matemáticas, así como el uso innecesario de formulaciones químicas.
- Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- 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)".
- Sólo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.
- Las ecuaciones y fórmulas deben generarse desde un archivo de Word.
- Todo cuadro, figura o ilustración debe estar traducida al español.

### Envío

Por correo electrónico o en CD, en formato Word. Si se usa otro formato, es necesario el envío también en formato Word.

### MATERIAL GRÁFICO

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

- Fotografías en versión digital de alta resolución (300 dpi) en formato tif, jpg o eps.
- Si no es posible el material digital, entonces fotografías originales en papel fotográfico o diapositiva de muy buena resolución.
- Los esquemas gráficos explicativos en formato digital deben estar generados en Corel, In Design, Illustrator u otro programa de lenguaje vectorial.
- Las tablas o recuadros sin demasiadas columnas. (Generados en Word o en los programas vectoriales arriba señalados).
- Los archivos de imagen que necesariamente ilustran el texto deben estar guardados en una carpeta aparte del archivo de texto en Word, aunque deben ir insertos también en este para facilitar su ubicación.
- El material fotográfico no debe ser tomado de libros, revistas o internet sin autorización expresa de los editores y debe indicarse la autoría y la fuente. Del material recibido se seleccionará el de mayor calidad para su publicación.

### Referencias

En el texto, las referencias se deben citar con el sistema autor-fecha (apellido del primer autor, inicial del nombre, la fecha de publicación, dos puntos y número de página. (La revista dispone de un documento sobre este tema que se le puede enviar a los autores que lo soliciten: *Citas, notas y bibliografía*). El listado de referencias se debe organizar en orden alfabético, con el siguiente formato:

Cita de artículo de revista científica:

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

Cita de Libro:

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

### Resumen

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

### IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo Actual
- E-mail
- Dirección postal

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

La revista *Innovación y Ciencia* está indexada en Latindex: Sistema de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. UNAM, México

Asociación Colombiana  
para el Avance de la Ciencia, ACAC  
Calle 44 N° 45 - 67 Unidad Camilo Torres  
Bloque C • Módulo 3

Fax: 2216950 • 2219953 • Tels: 3155898 • 3150734  
innovacionyciencia@acac.org.co  
Bogotá, DC, Colombia

XIX Convención Científica



## ENTRE LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA INNOVACIÓN

La XIX Convención Científica Nacional,  
investigación e innovación con impacto social:  
una convención llena de expertos,  
propuestas y polémicas.

MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

PROFESORA TITULAR,  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA  
UNIVERSIDAD JAVERIANA  
BOGOTÁ, COLOMBIA

[mariafgutierrez@hotmail.com](mailto:mariafgutierrez@hotmail.com)

**P**asaba la mañana del 26 de septiembre de 2012 y se multiplicaban en el twitter frases que revelaban la importancia que los expertos le atribuyen a la Ciencia, Tecnología e Innovación (CT+I). Vale la pena rescatar algunas de ellas: "...la investigación científica es el insumo más importante para la innovación", Doctor Raimundo Abello; "...la generación de conocimiento es la generación de riqueza de manera sostenible", Señor Presidente de la República, Doctor Juan Manuel Santos; "...es un error conceptual grave separar la ciencia de la innovación, puesto que sin innovación no hay ciencia", Doctor Eduardo Posada; "...no hay regiones fracasadas, hay regiones diferentes", Doctor Carlos Fonseca; "...la necesidad es la madre de la innovación", autor desconocido; "...innovación implica lo nuevo y, en nuestro país, lo nuevo es la biodiversidad", Doctora Elena Stashenko; "...la innovación requiere de ecosistemas más que sólo de empresas", Doctor Raimundo Abello; "...el aumento en la frecuencia de algunas enfermedades sucede de manera simultánea al aumento de la tecnología", Doctor Luis Caraballo; "...necesitamos muchos jóvenes en los institutos de investigación", "...buena salud y buena alimentación implica buena agricultura", Doctor Rubén Echavarría; "...hay que saber mirar lo que aparece en el mundo de súbito", Doctora ElenaStashenko.

Con estas frases, con estos expositores, en medio del twitter y con un auditorio de cerca de seiscientas personas, la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia dio inicio a la **XIX Convención Científica Nacional**, dedicada a la Investigación e Innovación con impacto social.

Un sutil pero perceptible murmullo fue la manifestación de la audiencia cuando el maestro de ceremonias informó que el Presidente de la República había enviado a los directivos de ACAC una carta para ser leída en el inicio del evento. En ella, el Señor Presidente se comprometió con la C y T cuando menciona que en el Plan Nacional de Desarrollo se incluye la inversión en *ciencia* como uno de los motores de la innovación, enfatiza en la necesidad de llevar al país hacia una economía del conocimiento y para lograrlo destina el plan de regalías, puesto que considera que si las regiones se fortalecen, gana el país. Planteó su intención de apoyar los procesos de innovación, pero no de forma "ligera" sino formal y seria; propuso disminuir la brecha entre los científicos y el gobierno, no solo con palabras sino con hechos manifiestos en dinero para becas, aumentando del 0,5 al 1,0% del PIB en estas actividades y la consolidación de Colciencias en su nueva posición como Departamento Administrativo. Para el Señor Presidente, la *calidad* es el principal criterio de selección de los proyectos y con ella espera lograr una verdadera cultura científica.

Una vez leída la carta, el Doctor Eduardo Posada, Presidente de la ACAC, dio la bienvenida al auditorio y manifestó su satisfacción por la voluntad del Presidente de apoyar la C y T, por los avances que se han logrado con la organización y el crecimiento de grupos y centros de excelencia y por el entusiasmo, el compromiso y la competencia de los científicos colombianos.

No obstante, manifestó también su preocupación por el rezago que tiene el país en este frente de desarrollo, que se puede detectar, entre otros aspectos, por el desconocimiento que tanto la población como el gobierno tienen sobre las capacidades y la producción de nuestros investigadores.

Así, dijo el Doctor Posada, el gobierno ha tomado la decisión de entregar el 60% de su presupuesto en C y T para becas doctorales en lugar de distribuirlo de manera integral para que se apoyen proyectos, grupos, estudiantes y planes de retorno que permitan a los nuevos doctores espacios para iniciar su vida laboral. Adicionalmente, la baja presencia de los científicos en la generación de políticas para el fortalecimiento de la ciencia y la tecnología en nuestro país, y el desconcierto que se ha creado en la comunidad científica alrededor de los mecanismos de acceso a los recursos de regalías, no contribuyen a lograr los objetivos manifestados por el Señor Presidente de la República. Para terminar, el Doctor Posada hizo algunas propuestas para mejorar estas condiciones, las cuales



• Arriba:  
El Doctor  
Eduardo Posada  
Flórez, Presidente  
de la ACAC.

giran en torno al fortalecimiento de Colciencias como entidad que debe modernizarse y coordinar a todos los actores que intervienen en la C y T de nuestro país.

La tercera exposición de la primera mañana estuvo a cargo del recién nombrado director de Colciencias, Doctor Carlos Fonseca, poco conocido aún, pero a quien se le percibe mucha energía, interés por impulsar la CT+I y por fortalecer la comunidad científica del país. En su discurso expuso su propuesta de ligar los recursos del plan de regalías a planes y pensamientos estratégicos, negociar con universidades extranjeras becas en grupo, para enviar más estudiantes a menores costos y ligar la ciencia con la sociedad.

A la ACAC le propuso el reto de demostrar la rentabilidad de la CT+I; y al Presidente de la República, transformar su metáfora de que la ciencia es un motor en la locomotora del desarrollo del país, por la posibilidad de que Colciencias sea un tren bala para impulsar este desarrollo.

Luego, el Doctor Fonseca presentó sus cinco planes de desarrollo denominados: Ciencia para la paz y la convivencia; Ciencia para la productividad y competitividad; Ciencia para la sostenibilidad y biodiversidad; Ciencia para saber más y Ciencia de las regiones. De estas cinco ciencias, la de saber más, incluye el fortalecimiento de las ciencias básicas, y la ciencia de las regiones incluye el reconocimiento y la concertación con las regiones así como la creación y el fortalecimiento de una geografía económica. Es tal el compromiso, confianza y seguridad de que su plan de trabajo va a ser un éxito, que se atrevió a darle a la audiencia su número de teléfono, lo cual, además de sorprender, llevó al auditorio a solicitar bolígrafos y pedir a sus compañeros que lo repitieran para no perder esta "oportunidad" de poderse hablar con tan importante funcionario público, casi a cualquier hora del día o de la noche.

La segunda parte de la mañana fue planeada por ACAC para que cinco importantes investigadores, de las más altas calidades de nuestro país, presentaran experiencias exitosas de cómo la ciencia, la tecnología y la innovación generan un impacto social. El Doctor Marcelo Riveros, moderador del panel, planteó a los expositores dos preguntas. La primera, de dónde surge la innovación; y la segunda, qué modelos de investigación e innovación han generado un impacto social.

Este panel lo inició la Doctora Helena Groot de Restrepo, quien presentó tres de sus trabajos como modelos de innovación. Uno de ellos es el de nuevos antibióticos en las secreciones de la piel de las ranas; otro el de la técnica del cometa para medir el daño y la reparación del DNA, prueba ya implementada en varios laboratorios de genética; y el tercero, el de la epidemiología molecular del cáncer. En sus reflexiones, la Doctora Groot afirmó que es la suma de saberes lo que genera la investigación, que "bombillazos" no son frecuentes como fuente de invención y que se requiere trabajar en grupo y de manera persistente.

Continuó el panel la Doctora Nancy Gore Saravia, directora científica del CIDEIM, quien presentó su trabajo sobre leishmaniasis y mostró al auditorio cómo han trabajado por la implementación, la eficacia y eficiencia de una droga de administración oral que implica tratamientos más sencillos y con gran éxito. Ante la pregunta: ¿de dónde surge la innovación?, la Doctora Nancy parafraseó a un autor desconocido diciendo "...la necesidad es la madre de la invención".

La siguiente panelista fue la Doctora Elena Stashenko de la Universidad Industrial de Santander, quien, aprovechando la biodiversidad y la bioactividad de los productos naturales, logró montar una cadena productiva y llegó a ofrecer a la comunidad una nueva línea de productos con marca registrada, llamada "Chicamocha magic" que vende aceites para usos múltiples. La visión con la cual ha trabajado la Doctora Stashenko le permitió generar empresa y desarrollar dentro de la UIS un centro de investigaciones en biomoléculas, CIBIMOL, un centro de cromatografía y espectrofotometría de masas CROM-MASS,

un centro de investigaciones de excelencia CENIVAM y una marca registrada. Ante la misma pregunta: ¿de dónde surge la innovación?, ella responde que de lo natural, que innovar implica utilizar lo nuevo y que esto se encuentra en la biodiversidad. Para ella, el éxito en innovación esta en conjugar la universidad con el campo y con la industria.

La cuarta expositora fue la Doctora María Cristina Plazas, quien presentó su programa de física médica donde, a partir de las matemáticas y la física, ha incursionado en la radioterapia. En su tiempo de exposición incluyó la presentación de un video histórico de Pierre y Marie Curie, el cual muestra el proceso que permitió el descubrimiento de un nuevo elemento radioactivo, más fuerte que el uranio, llamado “polonio” en honor al país de origen de “Madame Curie”. El objetivo de mostrar este video fue el de sensibilizar al auditorio con respecto a cómo la recursividad, la persistencia, el estudio y la perseverancia llevan a obtener resultados de impacto tal como el descubrimiento de sustancias que años más adelante fueron fundamentales para el tratamiento del cáncer.

El último participante en el panel fue el Doctor Raimundo Abello, de la Universidad del Norte, quien presentó a su institución como modelo de investigación con impacto social mediante la creación de un ecosistema de investigación asociado con el ecosistema empresarial, el universitario, el financiero y el tecnológico. También propuso que no se hable de empresas innovadoras sino de ecosistemas de innovación. Para responder a la pregunta de cómo innovar, propuso para la universidad una actividad científica de investigación con estrategias definidas, orientadas a la producción de conocimiento, el cual, una vez creado, debe ser usado y protegido para, con él, lograr negociaciones y comercialización. Piensa que el modelo I+D debe ser interactivo: intelectual, estructural y relacional, y también afirma que “si la administración no se pone la camiseta de la investigación, esto no funciona”.

Al terminar la mañana el grupo de expertos había coincidido en tópicos como la importancia de la interdisciplinariedad, del trabajo en equipo, de la interinstitucionalidad, del desarrollo de la investigación básica y del aprovechamiento de la biodiversidad como riqueza natural explotable y fuente de innovación. También coincidieron en que para lograr innovación hay que saber ver, sentirse seguro de lo que se hace e informarse; si bien la investigación trae altibajos que podrían generar deserción, la perseverancia, persistencia e insistencia son fundamentales en la vida de un profesional dedicado a la CT+I.

En la tarde, tres conferencistas presentaron sus trabajos y destacaron cómo estos han generado importante impacto social. El Doctor Luis Caraballo presentó su trabajo sobre alergias, destacó el impacto que éstas tienen en las regiones tropicales y los avances investigativos logrados. En su presentación llamó la atención sobre cómo el aumento en la frecuencia de aparición de estas patologías está relacionada directamente con el mejoramiento de la tecnología para su diagnóstico.

Más tarde, el Doctor Rubén Echeverría presentó una charla sobre la evolución de los sistemas nacionales de investigación agrícola en América latina. En su charla resaltó que mientras más desarrollado es un país, más dinero invierte en desarrollos agrícolas; que Colombia no invierte en CT+I, lo que se evidencia, entre otros aspectos, en que de cada cien pesos que se invierten en el país, solo cincuenta centavos son para investigación. Plantea que los desarrollos tecnológicos en la industria agrícola tienen a la agricultura de precisión. Su charla terminó con la propuesta de que la buena salud y la buena nutrición están relacionadas con la buena agricultura. Al final de la tarde el Doctor Mauricio Hoyos habló de cómo separar y caracterizar especies químicas de tamaños supramoleculares.

La mañana siguiente inició con una charla del profesor Carlos Eduardo Vasco; y no es fácil definir qué estuvo más interesante, si la exposición o las respuestas a las preguntas que el

• Abajo a la izquierda:  
la Doctora Elena  
Stashenko con la  
Doctora Nancy Gore  
Saravia.





• De izquierda a derecha: El Doctor Moisés Wasserman, las Doctoras Natalia Ruiz Rodgers y Sonia Esperanza Monroy Varela, El Capitán Alberto Ospina y el Doctor Juan Carlos Orozco.

auditorio le planteó. En los dos casos es necesario resaltar la sabiduría del profesor, así como su capacidad de atraer al público con sus actitudes irónicas, con sus manifestaciones de preocupación y con los planteamientos serios, documentados y extraídos de su experiencia como pensador, matemático y actualmente profesor dedicado a la modelación y teorización en ciencia cognitiva.

Su charla giró en torno a cómo “la atención a los productos invisibiliza los procesos”, “los productos y los procesos invisibilizan a las personas”, si se atendieran los procesos se evidenciaría la necesidad de infraestructura (definida por él como todo lo que está por debajo del sistema productivo en Colombia) que es la que lleva a aumentar la inversión en I+D. Sin embargo, se prefiere invertir en maquinaria más que en las personas, no se valoran las personas sino sus productos (su número de publicaciones, de títulos, de patentes). La tesis que propuso es que la economía colombiana se basa en el sector primario, es decir, lo extractivo (minería) y de allí da un salto al sector terciario, el de servicios. En ambos sectores somos muy buenos, pero se desatendió la infraestructura que permite el movimiento de productos para su exportación. Así las cosas, tenemos una superestructura muy sólida, la de los servicios, la administración, etc. Pero se desestimó la estructura productiva y sólo con la firma de los TLCs nos dimos cuenta de que no tenemos una infraestructura que permita el desarrollo de la estructura y la superestructura. Propone que debajo de la infraestructura se encuentra una infra-estructura que corresponde a la formación de las personas que ponen a mover los niveles superiores, y, lo que es más, que no hay realmente conexiones entre los tres niveles sino que se alimentan a sí mismos en forma independiente.

Con respecto a las preguntas y respuestas, el Profesor Vasco promovió la filosofía para niños como un primer momento para enseñarles a pensar, resaltó la importancia del programa Ondas y, dentro de la formación del investigador, insistió en el fomento de una actitud crítica y autocrítica que le permita un mejoramiento continuo en su proceso de aprendizaje y de producción. Después de un café que permitió recargar las neuronas y sedimentar el problema de la deficiencia de investigación en educación, se inició un panel dedicado a la investigación e innovación educativa, sus posibilidades y retos, moderado por la Doctora Sonia Esperanza Monroy, quien lo inició presentando a la viceministra de educación, Doctora Natalia Ruiz Rodgers.

Ella, aprovechando una especie de datáfono con el que se acercó al auditorio, dejó en el ambiente la frase “la innovación educativa puede necesitar herramientas, pero tener herramientas no significa innovar”. Para el Ministerio, la posibilidad de aumentar la investigación que permita innovación implica formar personas con maestría y doctorado. Una vez formadas se debe incentivar la investigación experimental en sus temas de trabajo y en temas de educación relacionados con su investigación, fortalecer planes estratégicos, crear centros de innovación y consolidar el sistema de innovación educativa que contribuya con la construcción de una cultura educativa. Para esto, el Ministerio de Edu-

cación tiene dentro de sus proyectos a RENATA, ENREDA Y PlanEsTIC, que conectan las instituciones de educación superior buscando aunar esfuerzos en los procesos de investigación. En cuanto a los retos para la innovación educativa, se han previstos estrategias que incluyen formación de doctores, disminución de la deserción de los estudiantes de doctorado, fortalecimiento del proyecto PlanEsTIC, creación de centros que promuevan la innovación educativa, gestión de contenidos a partir del portal *Colombia Aprende*, fomento a la educación virtual y creación de un fondo de inversión y apoyo tecnológico. Para terminar su intervención, y utilizando de nuevo el datáfono, preguntó dónde está el reto, si en la formación de alto nivel, en las nuevas tecnologías, en las nuevas metodologías docentes o en la investigación experimental. Extrañamente encontró que, para el público, lo menos importante eran las nuevas tecnologías.

El segundo panelista fue el Capitán Alberto Ospina, primer director de Colciencias, quien habló sobre la creación del conocimiento y la necesidad de tener políticas y estrategias socialmente inspiradas que den origen a la innovación, el cambio técnico, la felicidad y el bienestar social de la población. El progreso y la innovación son hijos de la educación. Crear una cultura científica, fomentar el espíritu de innovación y utilizar las aplicaciones del conocimiento son requisito para el crecimiento económico y el bienestar social. El conocimiento y el capital intelectual son activos muy importantes para una economía y sociedad del conocimiento. La causa del atraso en *CT+I*, está en la no generación o no aplicación del conocimiento que transforme y mejore los bienes y servicios. Actualmente, lo importante son las mentes, la educación, la ciencia y el conocimiento. El éxito de los pueblos está en la generación del conocimiento, la habilidad de agregar valor a las materias primas, innovación y construcción de bienes competitivos a nivel internacional. La pregunta es cómo crear capital intelectual, cómo apreciarlo y usarlo. El conocimiento no es innato, se debe crear y fortalecer y es responsabilidad de la familia, del estado y del colegio, orientados por el estado y sus políticas públicas, el permitir el estudio continuo y de calidad.

Dos son las propuestas que el Capitán Ospina hizo para contribuir con la solución de este problema: una es generar una política de educación para *CT+I* que inicie en los niveles de primaria, encaminados a lograr una cultura científica. Para él, la falta de políticas de educación para la ciencia se evidencia en la deficiencia en la apropiación de la ciencia, la indiferencia con respecto a temas de ciencia, la escasa demanda por las carreras científicas y por la formación técnica y tecnológica. Es evidente la falta de vocación de los jóvenes por la ciencia, así como la debilidad de las empresas por la demanda de estos profesionales y el escaso impacto en la población de los proyectos de apropiación social de la ciencia. Todo esto se ve reflejado en una pobre cultura científica, causa clara del subdesarrollo. La otra propuesta es la de generar políticas para el cambio tecnológico que incluyan la educación para la ciencia y que tengan como uno de sus principales resultados la apropiación social de la ciencia.

• De izquierda a derecha: las Doctoras Elena Stashenko y Elena Groot de Restrepo, el Doctor Marcelo Riveros Rojas, la Doctora María Cristina Plazas, El Doctor Raimundo Abello y la Doctora Nancy Gore Saravia.





• De izquierda a derecha: Los Doctores Fernando Chaparro Osorio, Francisco Miranda Miranda, Gabriel Cadena Gómez, Eduardo Posada Flórez, Gustavo Buitrago Hurtado y Jorge Hernando Panqueva.

El tercer panelista fue el Doctor Juan Carlos Orozco, Rector de la Universidad Pedagógica, quien orientó su discurso a la relación investigación-innovación, al problema del maestro investigador y a la necesidad de apoyar la investigación escolar como fuente necesaria de la transformación de la cultura. Inició planteando que existe una confusión entre innovación e investigación. La investigación educativa busca prospectar nuevas realidades a partir de nuevas prácticas y saberes tendientes a resolver problemas de naturaleza práctica y generar cambios deseables en la cultura. Por eso las prácticas de investigación no son neutrales, están en un contexto cultural con una demanda social. No se puede reducir la investigación en educación a un esporádico intento de innovación de los maestros para resolver problemas delicados de la educación. Por su parte, la innovación no es solo nuevas vivencias o interacción mediática con nuevas tecnologías, sino que necesita un trascender del diario hacer, para dar cuenta en qué medida se ha de innovar. La innovación debe estar dirigida a la transformación de las prácticas cotidianas. Es así como la investigación, la innovación y la educación deben incluirse como hechos culturales con expresión y autonomía de las comunidades educativas y con diversidad cultural como elemento que enriquece la construcción de intersubjetividad.

El último de los panelistas de la mañana fue el Doctor Moisés Wasserman, quien rápidamente entró en el tema de la generación de una nueva política para la educación. Las universidades colombianas han apropiado el modelo humboldtiano de universidad, donde la institución está al servicio del individuo; existe en ella un espacio para desarrollar la universidad de investigación y es un modelo apropiado para sociedades abiertas y democráticas, pues apuesta a la equidad e igualdad social; sin embargo, presenta el problema de cobertura y calidad. La sociedad frente a este modelo tiene como expectativa más calidad con democracia, equidad e inclusión, espera la generación de conocimiento, por lo tanto más investigación; que la universidad participe en el desarrollo económico y social del país, que ofrezca programas de educación continua y que tenga una crítica suficiente para realizar un análisis de su realidad a nivel ético ciudadano. Se requiere que la universidad trabaje en la generación de cultura, en la creación artística, que la divulgue y que sea el instrumento de inserción e internacionalización en el mundo globalizado. Para el Doctor Wasserman, la innovación no es un asunto tecnológico ni de sistemas, es un proceso de aprendizaje activo, colaborativo, de educación cooperativa, pluralismo cultural y de enseñanza de pares.

En cuanto a construcción de políticas educativas, la educación es un servicio público y un compromiso del estado, la familia y la sociedad. Para incluir la innovación educativa dentro de la educación es importante estar consciente de que ésta va a tener un costo. Si este costo extra se le deja a las familias, ahondará en la inequidad social. Así pues, como el estado considera a la innovación como un instrumento de equidad y de movilidad social, es él quien debe asumirlo.

Después de un agradable almuerzo en donde se discutieron pormenores y algunas propuestas aún no públicas con respecto a la educación y al manejo de los recursos para CT+I, se dio inicio a la jornada

da de la tarde donde la Doctora Ana Cristina Abad presentó el Programa Universidad de los Niños y el Doctor Horacio Torres habló sobre innovación tecnológica, redes inteligentes y predicción de rayos, temas que no voy a comentar, puesto que el primero está presentado en un artículo del número especial de la revista *Innovación y Ciencia*, del mes de septiembre, dedicado al tema de esta Convención, y el segundo apareció en la edición especial de 2011 dedicada al Año Internacional de la Química. La tarde finalizó con una interesante presentación del Doctor William Rodríguez sobre investigación y formación de maestros.

La mañana siguiente la inició la Doctora Eulalia Pérez Cedeño, profesora del CECIT en España, quien presentó una charla donde explicó cómo la desigualdad de género ha retrasado los procesos de *CT+I*. Para llegar a este tema inició hablando de cómo producir innovación social desde la innovación tecnológica y conceptual, ya que considera el conocimiento como una fuente importante de innovación. Ella define innovación en economía como una alteración de las estructuras existentes y de los patrones de acción. Para lograr innovación se requiere conocimiento, creatividad y capacidad de implementar iniciativas. La innovación está relacionada con el cambio y por ende con la evolución humana. A nivel social, la innovación requiere aceptación, es decir, nuevos procesos para llevar a cabo nuevos trabajos con participación de la comunidad.

Una vez hecha esta introducción, la Doctora Pérez explicó cómo la aparición del concepto de género ha supuesto innovaciones fundamentales en diversas áreas. Su charla giró en torno a la desigualdad de sexos y planteó cómo las diferentes culturas han limitado las capacidades de la mujer de participar activamente en los desarrollos locales. La introducción de políticas de igualdad en los años 1980, han contribuido a que la mujer incursione en nuevas profesiones, nuevos trabajos, mejores sueldos, entre otros; esto les ha permitido incursionar en *CT+I* desde diferentes disciplinas. Esta situación actual ha generado muchos proyectos de investigación relacionados con la diversidad de género, que han llevado a conclusiones donde una de las más importantes es que el conseguir o no un trabajo depende de conductas, valores y actitudes, y no de problemas de género.

El panel de esa mañana giró en torno a la investigación tecnológica para el desarrollo del país. Este fue moderado por el Doctor Eduardo Posada, quien propuso a los panelistas que mostraran experiencias donde la investigación tecnológica ha contribuido con el desarrollo del país. Las exposiciones las inició el Doctor Francisco Miranda quien, para introducir el tema, hizo varias afirmaciones como, por ejemplo, "...para que haya una transformación productiva se necesita de sectores de clase mundial capaces de desarrollar conocimiento", "...se requiere incluir un sello en la productividad y en el empleo, lo que implica una formalización laboral y empresarial", y "...es importante reconocer que la *CT+I* son la base de la transformación productiva del país". Por otra parte, define a una persona innovadora como aquella capaz de introducir el conocimiento en la generación de productos; así pues, el conocimiento es un factor innovador. ¿Cómo se produce el conocimiento? A través de la educación y de la inversión en *C+T* y para esto se necesita una política de *C+T* o sea una política de conocimiento. Una vez terminada su introducción, mostró la creación del Parque Biopacífico, construido en las inmediaciones del CIAT, CORPOICA y la Universidad Nacional sede Palmira, donde se reúnen un gran grupo de investigadores para desarrollar proyectos de *CT+I* en problemas agrícolas. Este parque es una muestra de que construyendo políticas que perduren, se convierte la *CT+I* en un importante factor de desarrollo.

El Doctor Gabriel Cadena, Rector de la Universidad Autónoma de Manizales y anterior director de Cenicafé, inició aclarando que las apuestas en *CT+I* requieren de tiempo, que deben ser planes a largo plazo, que para desarrollarlos se requiere de la tecnología y que los éxitos que se han conseguido con las variedades resistentes a la roya del café radican en el uso del conocimiento científico y los desarrollos tecnológicos basados en la ciencia. Además de este ejemplo, el Doctor presentó otros proyectos realizados desde la Universidad Autónoma de Manizales. Durante su exposición manifestó una queja de que los colombianos no confiamos en la ciencia producida en nuestro país, lo cual debe ser evaluado, pues existen nuevos conocimientos, desarrollos tecnológicos y avances que hemos generado a través de los años usando la ciencia, el conocimiento y la interdisciplinariedad.



Continuó el panel con el Doctor Gustavo Buitrago, director del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional. El presentó las actividades del IBUN, el número de personas que trabajan allí, así como el número de estudiantes formados en los diferentes programas de posgrado que desde allí se apoyan. Mostró cómo a través de una investigación participativa, se explota la biodiversidad y se genera conocimiento. Para lograrlo, se han implementado tres programas: el de biocultivos, en donde se manejan cadenas productivas de arroz, desde el desarrollo del conocimiento hasta la comercialización del producto; el programa del cultivo de ñame como modelo de interdisciplinariedad e interinstitucionalidad que también inicia con la propagación clonal de la semilla, la investigación participativa y la elaboración del producto. Su tercer programa es el trabajo en altillanura que busca mejorar los cultivos de caucho.

Más tarde, el Doctor Jorge Hernando Panqueva mostró la creación y evolución de la Corporación para la Investigación de la Corrosión, un centro tecnológico con 18 años de vida, donde se genera conocimiento con base en problemas del sector productivo, buscando solucionar problemas inmediatos y mejorar la calidad de vida. Como resultados, cuenta con desarrollos tecnológicos innovadores en el sector de hidrocarburos, uno de ellos el ITION, que es una herramienta inteligente para inspección y diagnóstico de líneas de transporte de hidrocarburos. El trabajo realizado en la creación de la corporación inició con cuatro empleados y actualmente cuenta con más de cien, muchos de ellos dedicados a investigar sobre la corrosión. Actualmente ya se ha abierto un número importante de otras líneas de investigación que contribuyen a lograr desarrollos integrales en sus productos. El centro ha crecido tanto que ahora se encuentra asociado a otros centros y algunas empresas y desde allí proponen proyectos integrales que incluyen el bienestar de la población.

La última exposición del panel estuvo a cargo del Doctor Fernando Chaparro, quien fue director de Colciencias y actualmente es el Director del Centro de Gestión del Conocimiento y la Innovación (CGCI) de la Universidad del Rosario, quien presentó la necesidad de retomar el discurso con respecto a cómo integrar C y T con I, puesto que se había propuesto que la innovación puede ser apoyada de manera independiente a la C+T.

Dentro de las metas propuestas en el CGCI están: discutir cómo apoyar la infraestructura de los nuevos centros tecnológicos creados recientemente; proponer cómo manejar la regionalización en su paso a recibir los recursos de las regalías para construir desarrollos tecnológicos por y para las regiones y analizar cómo ha evolucionado la financiación para la investiga-



ción en el país. También destacó la importancia de saber cómo se van a abordar los grandes cambios que se están produciendo en ciencias de la vida que están transformando el panorama científico mundial y creando nuevas oportunidades y desafíos, y cómo relacionar las políticas de Colciencias con la construcción de la capacidad científica nacional. Uno de los grandes problemas que tiene la inversión en C y T en Colombia se originó cuando el apoyo que Colciencias venía prestando a los doctorados, primero con fondos del préstamo del BID y luego con parte de sus propios fondos, se fue haciendo cada vez mayor, a expensas de los fondos dedicados a financiar proyectos de investigación hasta llegar a la situación actual en la que el 60% del presupuesto se va para los doctorados. Esta política hizo que Colciencias se convirtiera más en un ICETEX que en un fondo de investigación. El error es que el dinero para financiar los doctorados está siendo obtenido a expensas de la investigación, que en vez de ser financiados por el Ministerio de Educación se están financiando por la política en Ciencia y Tecnología.



Para dar por terminada la temática de la Convención, durante la última tarde se presentaron tres expositores, quienes mostraron ejemplos de tecnologías implementadas para el desarrollo del país. El Capitán Oscar Darío Tascón, ingeniero de la escuela naval, mostró diseños y desarrollos de buques y embarcaciones de guerra, elaborados para zonas agrestes como las de nuestro ecosistema. Dentro de estos diseños, el Capitán mostró una lancha diseñada para poder ser transportada en aviones de guerra como uno de los equipos que Colombia ha vendido a gobiernos extranjeros. Por último, el Doctor Jorge Reynolds presentó su conferencia "Nuevas tecnologías en estimulación artificial de órganos". Al finalizar su intervención y la sección de preguntas, el Doctor Posada presentó al público las conclusiones de este evento.

Después de terminar la convención, yo me pregunto: ¿Qué es innovación con impacto social? Y fácilmente llego a la conclusión que innovación es este evento, la **xix Convención Científica Nacional**, donde además de impulsar la apropiación social de la ciencia, se abre un espacio para conocer los problemas por los que pasa el país en sus políticas de *CT+I*, problemas que son desconocidos por los científicos y mucho más por el público en general, que no sabe qué sucede con el dinero de sus impuestos destinado a investigación. La posibilidad de conocer, compartir y hasta debatir con el pequeño grupo de expertos que manejan los recursos y las políticas de C y T, logra disminuir la brecha entre los científicos, los políticos y el público, que merece no solo construir una cultura científica sólida sino también desmitificar la inclusión de la burocracia en el manejo del dinero dirigido a este fin. Eventos como estos muestran la necesidad de empezar a creer que en Colombia sí se construye ciencia, que ésta es de calidad y logra la competitividad suficiente para ingresar en el mercado internacional, que los científicos colombianos logran innovar y generar conocimiento y que, si bien hacen mucha falta las estrategias de divulgación y apropiación social de la ciencia y la tecnología, el capital humano, científico y técnico que tiene Colombia está trabajando con ahínco para contribuir con el desarrollo del país.

Por último, deseo resaltar los apoyos comerciales con los cuales se ayudó a financiar la convención. Al visitar los *stands*, encontré más de quince universidades de todo el territorio colombiano ofreciendo a los asistentes sus programas y mostrando algunos de sus avances en investigación. Esta actividad, que en ese momento fue vista como comercial, debe ser promovida y ampliada para que no solo los estudiantes de colegio conozcan lo que las universidades tienen y hacen por el desarrollo de la ciencia y la tecnología del país.

Filosofía de la ciencia



# la estructura de las revoluciones científicas:



**50**  
Años  
de reflexión  
sobre la  
racionalidad  
de la ciencia

SERGIO TORRES, PH.D.  
CENTRO INTERNACIONAL DE FÍSICA

storresmd@gmail.com  
<http://astroverada.com/torres/>



Para una versión extendida del artículo véase: <http://www.astroverada.com/ciencia.html>

Los productos de la tecno-ciencia impregnan todos los poros de la sociedad moderna, la ciencia está transformando el mundo y la sociedad, la ignorancia en asuntos científicos por parte de los líderes y los ciudadanos tiene un costo muy alto. Por esas razones es urgente que el ciudadano entienda el proceso científico. Una oportunidad para reflexionar sobre el tema de ciencia y sociedad nos lo ofrece la ocasión de los 50 años de la obra principal de Thomas Kuhn (1922-1996), el libro *Estructura de las revoluciones científicas* (1962, abreviado *Estructura* en este artículo). Kuhn fue un físico convertido en historiador y filósofo que contribuyó de manera significativa a la filosofía de la ciencia. *Estructura* se convirtió en guía y referente ubicuo de los estudios sociales de la ciencia. En el área de las humanidades y las ciencias sociales fue la fuente académica más citada entre 1976 y 1983. Kuhn abre un capítulo nuevo de un debate milenario sobre el valor del conocimiento científico, su validez, justificación, objetividad, metodología y poder explicativo.

## El debate de la ciencia

Las posiciones filosóficas sobre la ciencia cubren una amplia gama de tesis que van desde el realismo científico absoluto hasta el rechazo de la objetividad y la racionalidad de la ciencia. Estos son dos extremos que no son compartidos por la mayoría de estudiosos del tema, sin embargo nos sirve para enmarcar el debate. Dada la confusión sobre temas científicos que a menudo se encuentra entre el público y en los medios de comunicación, es oportuno hacer una reflexión sobre la contribución de Kuhn al debate y los adelantos que se han registrado en estos 50 años.



Figura 1.

¿Tenemos acceso al mundo externo independiente de nuestras percepciones? (grabado de Camille Flammarion, 1888). Fuente: Wikipedia commons.

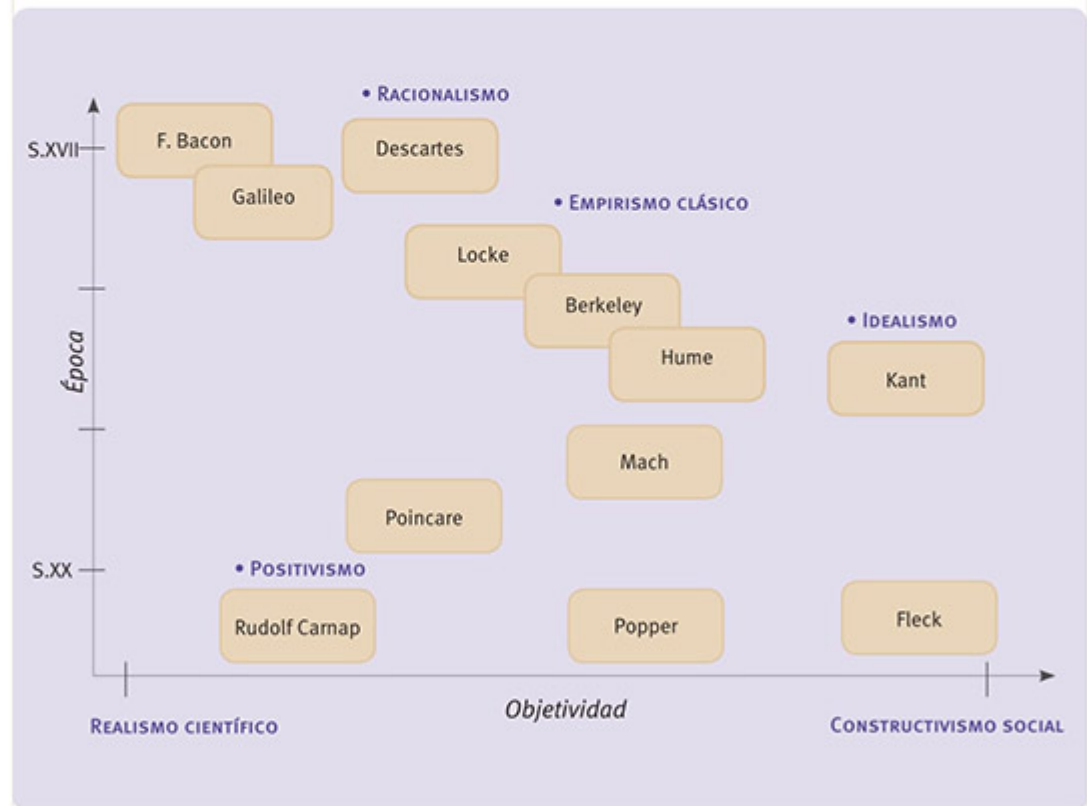
Desde la época de los grandes pensadores griegos la pregunta sobre cómo ganamos conocimiento verdadero sobre el mundo externo ha preocupado a los filósofos. En el diálogo *El Sofista*, Platón pone en escena el intercambio entre quienes piensan que existe una realidad externa e independiente de las percepciones de los humanos y entre los que sostienen que, en el fondo, todo es opinión y que no es posible establecer con absoluta certeza que un concepto elaborado por la mente humana corresponde a una realidad objetiva. El problema del conocimiento, o epistemología, en relación a la ciencia moderna se ha movido en torno a un puñado de preguntas específicas:

- ¿Corresponde el conocimiento científico a verdades universales, necesarias y objetivas sobre la naturaleza?
- ¿Las disputas científicas ante teorías alternativas se resuelven apelando a un método puramente racional?
- ¿Es posible acercarnos a las realidades externas mediante la observación y la inducción?
- ¿Cómo sabemos que una teoría científica es verdadera?
- ¿El objeto de la ciencia es la experiencia de lo que se percibe? ¿O es la realidad externa independiente del observador?

Para navegar el terreno intelectual donde encontramos respuestas nos valdremos de un mapa, una especie de guía que nos será muy útil al momento de entender el legado de Kuhn. En el diagrama (Figuras 2 y 6) se representa el terreno intelectual antes y después de Kuhn, incluyendo personajes, movimientos notables y su posición con referencia a los dos extremos en el “eje de objetividad”.

Figura 2.

Contribuciones al debate de la ciencia (antes de Kuhn).



Las semillas de la ciencia moderna fueron plantadas por el monje del siglo XII Adelard of Bath y por Francis Bacon y los cimientos fueron levantados por Nicolás Copérnico y Galileo Galilei. Adelard, con su proposición de exigir que las explicaciones ofrecidas por la filosofía natural no invoquen fuentes sobrenaturales, y Bacon, con su idea de aplacar las especulaciones desenfrenadas de la mente a favor de la cuidadosa observación de los fenómenos, le dieron un giro al escolasticismo<sup>1</sup> que preparó el terreno de los “filósofos de la naturaleza”.

<sup>1</sup> Escolasticismo es el corpus académico, basado en la filosofía de Aristóteles, que prevaleció durante la Edad Media. También se

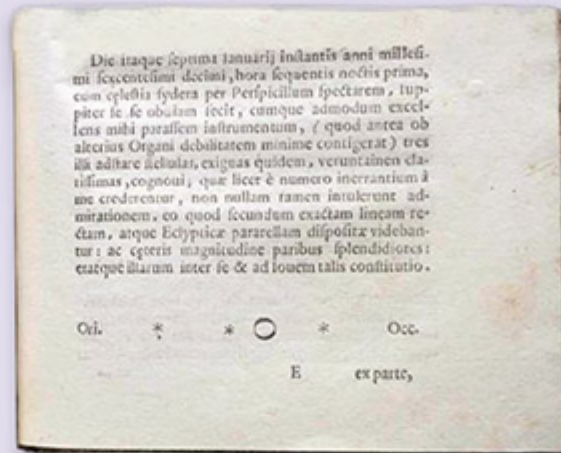
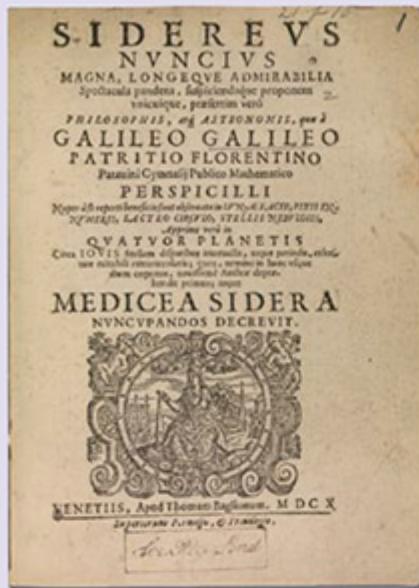


Figura 3.

Realismo científico: en esta página de *Sidereus Nuncius* de Galileo se registran las observaciones de tres lunas de Júpiter. Para Galileo esas lunas eran objetos astronómicos reales moviéndose en orbitas circulares reales.

Las ventajas del método experimental quedaron demostradas con el trabajo de Galileo, un exponente del realismo científico, quien se dio a la tarea de extraer las regularidades exhibidas por los fenómenos y expresarlas usando lenguaje matemático. En el proceso, Galileo mostró que los datos puros de un experimento no son suficientes para entender la realidad subyacente; es necesario elaborar modelos matemáticos que expliquen esos datos, aún si los modelos contradicen el sentido común. Un ejemplo es la ley de la inercia. Desde Aristóteles se pensaba que un movimiento no se podía dar sin una causa directa que en todo momento mantiene el movimiento. No es así, dice Galileo: un objeto en movimiento horizontal a velocidad constante continuará en movimiento hasta que sea disturbado. La genialidad de Galileo es descrita por Einstein así:

El descubrimiento y uso del razonamiento científico por Galileo fue una de las más importantes conquistas en la historia del pensamiento humano, y marca el comienzo real de la física. Este descubrimiento nos enseñó que las conclusiones intuitivas basadas en observaciones inmediatas no siempre deben ser tenidas por seguras, debido a que algunas veces conducen a caminos equivocados (Einstein & Infeld 1942).

Otra puntada a la problemática del realismo científico emerge del *affaire* de Andreas Osiander, el teólogo luterano quien, afanado por proteger a Copérnico de la furia de los teólogos en Roma, escribió el preámbulo anónimo en *De Revolutionibus* afirmando que la tesis heliocéntrica expuesta en el libro no quiere decir que el mundo realmente está configurado de esa forma (con el Sol en el centro) y que este modelo es apenas un instrumento que facilita el cálculo de efemérides. Aunque la advertencia de Osiander no tenía la intención de ser una tesis epistemológica, reconocemos en ella la semilla de una interesante manera de entender qué es una teoría científica. El razonamiento de Osiander sugiere que una teoría científica es un modelo que explica las observaciones, pero, más allá de su poder explicativo y consistencia con datos empíricos, no es lícito hacer extrapolaciones metafísicas sobre el mundo externo. En resumen, Osiander se adelantó por 150 años al empirismo clásico.

## Los científicos incursionan en filosofía

El cuestionamiento sobre las bases del conocimiento no fue asunto de filósofos exclusivamente; científicos de renombre también se manifestaron. Mach fue una figura influyente en quien se manifiesta una firme postura anti-metafísica. Nunca creyó en la realidad de los átomos, aduciendo que los modelos

físicos son mecanismos para describir y organizar observaciones pero no corresponden a una realidad externa. Siguiendo razonamientos similares, Mach criticó los conceptos absolutos de espacio y tiempo que encontramos en Newton, lo cual ejerció influencia en Einstein cuando estaba trabajando en su teoría de la relatividad restringida.

Para el físico-matemático Henri Poincaré, la ciencia apunta hacia una realidad objetiva, pero no en el sentido filosófico de realidad independiente del observador. La objetividad de la ciencia se basa en una conceptualización compartida de experiencias y en el uso de las matemáticas para expresar los patrones subyacentes encontrados en la naturaleza. Otro físico que incursionó en terrenos filosóficos fue Percy W. Bridgman, premio Nobel de física en 1946 por su trabajo experimental en altas presiones. Impresionado por la manera como Einstein usó el proceso de medición (así fuera imaginario) para definir conceptos, Bridgman promovió el desarrollo de conceptos basado en las operaciones que se usan para explicar los fenómenos físicos. En Bridgman, como en Mach, vemos la urgencia de huir de lo metafísico. ¿Qué es espacio? En lugar de inmiscuirse en una discusión filosófica, para Bridgman es suficiente definir el espacio

por medio de las operaciones que se usan para medirlo: la distancia entre dos puntos, o el tiempo que demora la luz en viajar de un punto a otro. Así definido el espacio depende del estado de movimiento de quien hace la medición, que es justamente la propuesta de Einstein.

Examinando las ideas de Mach, Poincaré y Bridgman queremos mostrar que no todos los científicos se adhieren al realismo científico. Sin embargo, la gran mayoría, especialmente a partir del siglo XX, no se preocupan mucho por los aspectos filosóficos expuestos en los párrafos precedentes e implícitamente aceptan una interpretación sencilla del realismo científico. Para ellos —igual que para el público en general— la ciencia trata de asuntos Reales (con mayúscula); las verdades científicas corresponden a objetos del mundo independiente a nuestra experiencia; el éxito de la tecnología y los productos de la ciencia son suficientes para validar la veracidad de las teorías científicas. Esa ingenua percepción de lo que es la ciencia es la que alimentó las críticas que un grupo de sociólogos e historiadores de la ciencia comenzaron a desatar a partir de la década de los 60s.

## Popper y el Positivismo Lógico

El científico promedio no fue el único defensor del realismo científico. Durante los años 1920-1950 Bertrand Russell, Moritz Schlick, Hans Reichenbach, Rudolph Carnap y otros pensadores, alineados con el *positivismo lógico*, acudieron a la lógica deductiva para dar sustento a la objetividad de la ciencia (Uebel 2012). El programa del positivismo lógico se

basa en expresar las teorías científicas usando deducciones que siguen las leyes de la lógica a partir de observaciones. Si partimos de hechos empíricos irrefutables y poco a poco se construye una estructura axiomática de afirmaciones deducidas de esas observaciones, entonces al final del proceso llegaremos a teorías verdaderas; argumentos de lógica justifican el salto de lo particular a lo general, respondiendo así al problema de inducción de Hume<sup>2</sup>.

“

... Examinando las ideas de Mach, Poincaré y Bridgman queremos mostrar que no todos los científicos se adhieren al realismo científico. Sin embargo, la gran mayoría, especialmente a partir del siglo XX, no se preocupan mucho por los aspectos filosóficos expuestos en los párrafos precedentes e implícitamente aceptan una interpretación sencilla del realismo científico. Para ellos —igual que para el público en general— la ciencia trata de asuntos Reales (con mayúscula)” ...

2. David Hume, considerado como el filósofo inglés que desarrolló hasta las últimas consecuencias los fundamentos del empirismo establecidos por Bacon, Locke y Berkeley, fue quien propuso el problema fundamental de la inducción en los siguientes términos: “La

En el mismo fermento intelectual donde surgió el positivismo lógico encontramos el trabajo de Karl Popper, el filósofo de la ciencia a quien le debemos el concepto de *falsación*, que propuso como criterio de demarcación entre teorías científicas y no científicas. Contrario a los positivistas lógicos, Popper rechaza el uso de la evidencia empírica para demostrar que una teoría es correcta. Que una predicción sea observada de acuerdo a lo que predice una teoría no se puede tomar como prueba de la teoría. El mismo resultado experimental pudo haber ocurrido por razones que nada tienen que ver con esa teoría; es posible inventar varias teorías que expliquen los mismos datos o ajustar las hipótesis auxiliares de una teoría acomodándola a los datos (Quine 1951). Los epiciclos tolemaicos deben dejar esto en claro. Lo que importa para Popper no es el uso de experimentos para probar teorías sino para rechazarlas. El ejemplo clásico es la predicción que hizo Einstein con su teoría de la relatividad general, según la cual los rayos de luz provenientes de una estrella lejana se deberían desviar en una cantidad específica de grados al pasar en cercanías del Sol. La predicción fue posible someterla a juicio durante un eclipse solar en una expedición organizada por Arthur Eddington a la isla de Principe en 1919. La propuesta de Popper es muy elegante: si las observaciones no resultan ser como lo predice la teoría, ésta queda *ipso facto* rechazada.

Nos detenemos en Popper no solo por la inmensa influencia de su filosofía sino también porque, como veremos más adelante, Kuhn desmonta la estructura popperiana quitándole piso a las pretensiones de superioridad de la ciencia. La mayoría de los científicos son popperianos (muchos sin darse cuenta) por la sencilla razón que con Popper es posible defender el avance progresivo del conocimiento científico hacia una mejor correspondencia con la naturaleza: rechazando teorías erróneas, aquellas que sobreviven las pruebas de falsación describen mejor la realidad; el proceso continuo de rechazar teorías que no sirven a medida que se va ampliando el dominio de los datos resulta en teorías cada vez más aptas en describir la naturaleza de manera similar al proceso de evolución darwiniana. Desafortunadamente en el mundo real del laboratorio el criterio de Popper no funciona: debido a que toda medición está sujeta a incertidumbre, siempre existe una probabilidad no nula de que un resultado experimental negativo sea falso. En el formalismo estadístico de test de hipótesis a esta condición se le llama “errores de tipo I” y no se pueden eliminar del todo.

## ¿Qué dice Kuhn?

Kuhn delata su intención con la primera frase del libro:

Si miramos apropiadamente a la historia, como un repositorio de hechos que van más allá de la anécdota o cronología escueta, se genera una transformación decisiva en la imagen de la ciencia de la cual estamos poseídos (Kuhn 1962:1).

*Estructura* es una crítica a la noción de objetividad y de superioridad epistémica que se le atribuye a la ciencia. Mediante un examen detallado de la historia (bastante euro céntrico) y del contexto social en el que emergen las teorías científicas, el libro identifica un patrón del quehacer de los científicos. La ciencia no progresa linealmente por acumulación de conocimiento, al contrario: los conceptos científicos sufren cambios radicales en los que lo que se tenía por verdadero es reemplazado por una nueva verdad y ese proceso no avanza hacia un acercamiento garantizado a las realidades de la naturaleza. La actividad científica —según Kuhn— exhibe periodos en los que los practicantes se ocupan de ejecutar la “ciencia normal” protegidos por la cobertura de la teoría de turno. Esos periodos de ciencia normal vienen interrumpidos por momentos de crisis seguidos por un proceso de reevaluación de los conceptos fundamentales que sustentan la teoría de turno. Los actores involucrados en la crisis entran en una contienda entre aquellos que insisten en mantener el *status quo* y aquellos que quieren reemplazar la teoría en crisis por una nueva (nótese la semejanza con los conflictos políticos). De este proceso emergen nuevos conceptos, nuevos moldes de resolución de problemas y nuevos compromisos, todo lo cual queda encapsulado en el término “paradigma”.

Hasta aquí la tesis de Kuhn parece inocua. La pólvora de la tesis aparece cuando se afirma que la escogencia de paradigmas no obedece a un método racional y lógico, sino más bien a presiones de índole social, histórica y personal (subjetivo). Durante las contiendas libradas para elegir teorías no podemos confiar en los datos empíricos porque éstos se interpretan de manera diferente de acuerdo a la teoría que los ilumina.

“

... Kuhn se refiere a la tarea del científico como simple “resolución de acertijos”. En inglés “puzzle-solving” quiere decir literalmente armar rompecabezas, significado que no está muy lejos de la manera como Kuhn concibe el trabajo rutinario del científico. El rompecabezas, sus fichas y el método de armarlo, vienen dictados por el paradigma. El científico que quiera hacer parte del “juego” tiene que aceptar el rompecabezas, sus fichas, y la metodología que viene en el paquete. Solo hay una rara excepción a las reglas del juego: cuando emerge una crisis persistente del paradigma, es lícito cambiar las fichas del rompecabezas”.

Kuhn necesita un vocabulario nuevo para introducir los conceptos que encontramos en *Estructura*. Para entender el texto de Kuhn es importante saber el significado preciso de términos como paradigma, compromiso, comunidad, ciencia normal, inconmensurabilidad, crisis, cosmovisión y revolución.

## Paradigma, compromisos y ciencia normal

La dificultad con el concepto de paradigma es que Kuhn usa la palabra paradigma con significados diversos. Por un lado, un paradigma es una teoría junto con los compromisos que ésta conlleva, por ejemplo, la mecánica newtoniana. La ciencia normal que ocurre dentro de este paradigma sería la extensión de la teoría para resolver problemas de mecánica celeste, hidrodinámica, cuerdas en vibración, etc. La comunidad de mecánicos newtonianos comparte el paradigma y sus miembros adquieren el compromiso de trabajar en los problemas que el paradigma ofrece. Los paradigmas vienen empaquetados con sus instrumentos y expectativas. Los estudiantes son entrenados para que trabajen en los problemas abiertos del paradigma.

Otro significado de paradigma aparece cuando Kuhn se refiere al arquetipo de problemas y métodos de solución que ofrece la teoría aceptada por la comunidad de practicantes. Volvemos a encontrar aquí un compromiso, esta vez, el compromiso metodológico: los practicantes siguen un molde de resolución de problemas. Se teje así una red de compromisos:

La existencia de esta red robusta de compromisos —conceptuales, teóricos, instrumentales y metodológicos— es fuente principal de la metáfora que asocia la ciencia normal con la resolución de acertijos (Kuhn 1962:42).

Aquí Kuhn se refiere a la tarea del científico como simple “resolución de acertijos”. En inglés “puzzle-solving” quiere decir literalmente armar rompecabezas, significado que no está muy lejos de la manera como Kuhn concibe el trabajo rutinario del científico. El rompecabezas, sus fichas y el método de armarlo, vienen dictados por el paradigma. El científico que quiera hacer parte del “juego” tiene que aceptar el rompecabezas, sus fichas, y la metodología que viene en el paquete. Solo hay una rara excepción a las reglas del juego: cuando emerge una crisis persistente del paradigma, es lícito cambiar las fichas del rompecabezas.



Figura 4.

Retrato digital  
de Thomas Kuhn  
(1922-1996).

Por Susana Carrié.

## Crisis y cambio de paradigma

La ciencia normal —dice Kuhn— no tiene como objetivo generar novedosas teorías, eso sería salirse del paradigma. Los compromisos adquiridos con la aceptación de un paradigma inevitablemente restringen el horizonte fenomenológico accesible a un programa de investigación. Sin embargo, si la tarea del científico fuese enteramente dedicada a trabajar sumisamente en los acertijos propuestos por un paradigma, no se darían los grandes descubrimientos científicos que bien conocemos. Kuhn es consciente de ello:

Un descubrimiento comienza en el momento en el que se toma conciencia de una anomalía, es decir reconociendo que la naturaleza ha violado las expectativas del paradigma que gobierna la ciencia normal. El proceso continúa con una exploración, más o menos extendida, del área donde se encuentra la anomalía. Y concluye cuando la teoría ha sido ajustada de tal manera que lo anómalo se convierte en lo esperado (Kuhn 1962:52).

Para exponer el patrón histórico “ciencia normal – crisis – cambio de paradigma”, Kuhn examina la crisis del modelo geocéntrico que originó la revolución copernicana, la crisis en química entre Lavoisier y Priestley donde surge el “descubrimiento” del oxígeno, y la crisis de la teoría de Maxwell del electromagnetismo que resultó en la teoría de la relatividad de Einstein. En suma, una comunidad de practicantes adopta un paradigma y con su trabajo se extiende el dominio de problemas donde se aplica la teoría exitosamente y se logran avances en la precisión de los experimentos que sustentan la teoría; surgen anomalías (la crisis) que persisten y que se pueden resolver con otra teoría; comienza la competencia entre los defensores de las diferentes teorías; al final el grupo que logra imponerse reemplaza el paradigma de turno; la nueva verdad científica se presenta como manifestación directa de la naturaleza y los vencedores reescriben los textos borrando las marcas humanas del forjado de la teoría. El cambio de paradigma es un cambio radical que se describe como un cambio de Gestalt (o ilusión óptica que cambia la figura percibida por la mente al observar un patrón de dibujos): Lavoisier ve oxígeno, Priestley ve aire deflogisticado. He aquí el origen de la inconmensurabilidad o

incompatibilidad de conceptos entre las dos cosmovisiones (cosmovisión es el andamiaje conceptual que da soporte a la manera de entender el mundo). Este es el aspecto más controvertido de *Estructura*: los mismos datos usados por los dos campos en la contienda son interpretados de acuerdo con la cosmovisión de cada comunidad, con lo cual es imposible decidir cuál es la teoría correcta usando resultados experimentales; la decisión queda entonces sujeta a factores extra-científicos:

La ciencia normal, en última instancia está únicamente encaminada a la identificación de anomalías y crisis. Estas a su vez se terminan, no por medio de la deliberación y la interpretación [de datos], sino por un evento relativamente rápido y no estructurado, tal como sucede con un cambio de Gestalt (Kuhn 1962:122).

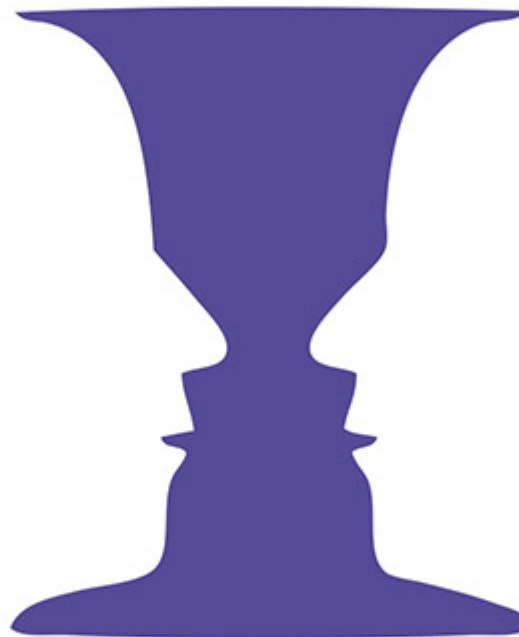


Figura 5.

Gestalt: ¿vemos una copa?, ¿o dos caras?  
Fuente imagen: Wikimedia Commons.

Llevado a sus consecuencias más extremas, el razonamiento de Kuhn implica que el proceso subyacente en el surgimiento de teorías científicas no es racional, el conocimiento científico por lo tanto no es acumulativo y la ciencia no progresa hacia mayor entendimiento del mundo exterior. Aquí encontramos el golpe mortal a las pretensiones de objetividad de la ciencia:

Es posible que nos veamos obligados a abandonar la noción, explícita o implícita, de que los cambios de paradigma llevan a los científicos y sus seguidores cada vez más cerca a la verdad (Kuhn 1962:170).

## La respuesta a *Estructura*

La tesis de Kuhn suscitó fuertes reacciones entre los científicos y académicos a lo largo y ancho del espectro político inyectando fuerza al debate e intensificando la polarización entre los bandos. *Estructura* precipitó entre los académicos una revaloración del carácter de superioridad de la ciencia. En la década de 1980 la virulencia del debate ciencia-cultura subió de temperatura al punto de provocar la denominada “guerras de la ciencia” (véase por ejemplo Sokal 2010).

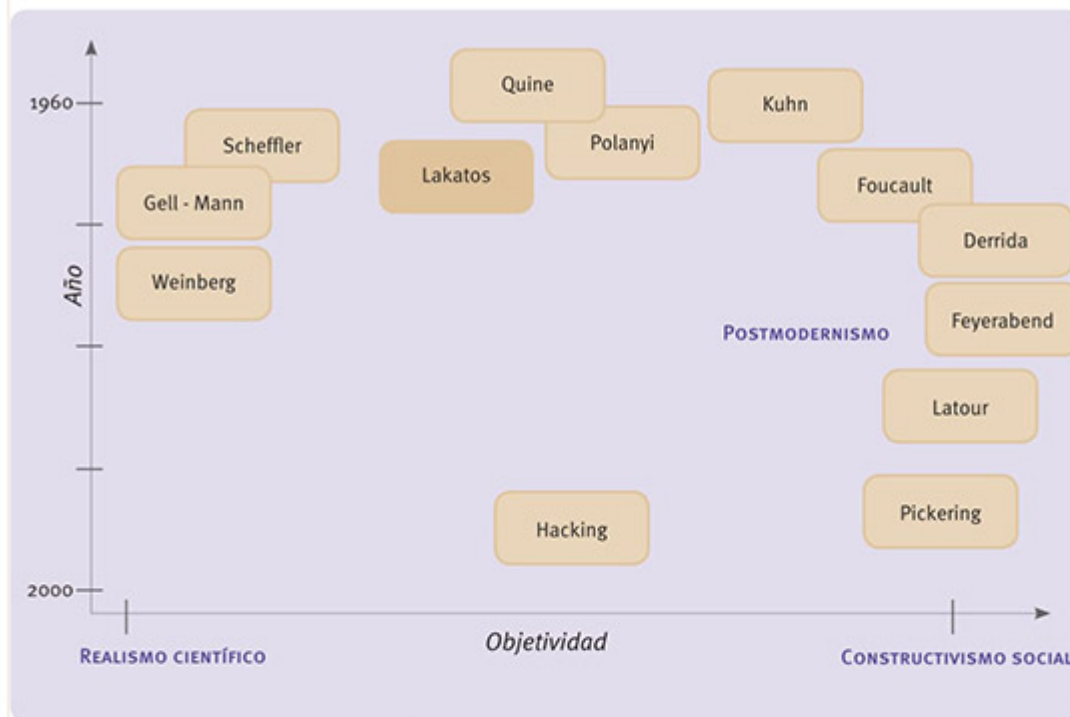


Figura 6.

Contribuciones al debate de la ciencia (post-Kuhn). La comparación con la situación antes de Kuhn (ver Figura 2) muestra la polarización del debate.

Las ideas de Kuhn no fueron muy originales. El análisis de Kuhn es similar a las ideas de Ludwik Fleck, el médico y biólogo polaco pionero en el campo de la sociología de la ciencia. Su análisis, editado en 1935 (Fleck 1986), explora los factores sociológicos que rodean la gestación de una teoría científica. Según Fleck los conceptos científicos (tanto teorías como “hechos” científicos) son producto de la cultura, en el sentido de ser producto del consenso de una comunidad de practicantes cuyos miembros comparten un mismo marco interpretativo. No existe un investigador aislado; los conceptos son producto de una colectividad. Puesto que el conocimiento es producto de la cultura, las verdades científicas van cambiando de acuerdo a factores sociales, psicológicos e históricos, lo cual conlleva la pérdida de objetividad. No podemos decir que ahora estemos más cerca de la verdad objetiva de lo que estaban los filósofos del pasado hace 100, 200 o 1.000 años. La cohesión de una comunidad viene provista por un “estilo de pensamiento” (Denkstil) propio y la noción de “colectivo de pensamiento” (Denkkollektiv) implica el establecimiento de comunidades separadas por fronteras conceptuales infranqueables. Con estas bases Fleck desarrolla el concepto de inconmensurabilidad tal como lo encontramos en Kuhn.

Cuestionar la objetividad de la ciencia no es algo original de Kuhn, tampoco lo es el análisis histórico y social. Jerome Ravetz (1971) ya nos había hablado del carácter artesanal del quehacer científico. La idea de que la ciencia es neutral, libre de juzgamientos, impersonal y universal también fue criticada por otros autores de la época, como Michael Polanyi (1964) y Norwood Russell Hanson. Entonces, ¿cómo explicar el ascenso de Kuhn al trono de los héroes de las humanidades? Quizá (¡guiados por un análisis kuhniano!) podríamos decir que el fenómeno Kuhn fue producto de los años 60s cuando el orden del día era la protesta contra los

“ ... Cuestionar la objetividad de la ciencia no es algo original de Kuhn, tampoco lo es el análisis histórico y social. Jerome Ravetz (1971) ya nos había hablado del carácter artesanal del quehacer científico. La idea de que la ciencia es neutral, libre de juzgamientos, impersonal y universal también fue criticada por otros autores de la época, como Michael Polanyi (1964) y Norwood Russell Hanson. ”

sistemas de poder y la ciencia se percibía como un instrumento en colusión con el estado y su aparato militar.

El filósofo de la ciencia Paul Feyerabend, quien estudió con Popper, criticó a Kuhn por no ser más explícito en establecer la irracionalidad inherente en el proceso científico. En *Against Method* (1975) Feyerabend lleva la tesis de Kuhn al extremo, argumentando que no existe un método científico y que los avances científicos obedecen no a la lógica sino a movidas enteramente irracionales y anárquicas. La crítica y la postura anti-ciencia promovidas por Kuhn, Polanyi, Hanson, Feyerabend y otros, encontró

“

... La crítica y la postura anti-ciencia promovidas por Kuhn, Polanyi, Hanson, Feyerabend y otros, encontró terreno fértil en el movimiento de crítica a la noción clásica de racionalidad a cargo de la elite intelectual francesa. Específicamente Michel Foucault y Jacques Derrida, quienes cuestionaron la posibilidad de conocimiento objetivo, no solamente en las ciencias. Los conceptos son productos de la cultura —dice Foucault— y el significado que asignamos a los objetos y a los textos son construcciones producto de la interpretación —dice Derrida—. En suma, el análisis cartesiano es reemplazado por hermenéutica”.

terreno fértil en el movimiento de crítica a la noción clásica de racionalidad a cargo de la elite intelectual francesa. Específicamente Michel Foucault y Jacques Derrida, quienes cuestionaron la posibilidad de conocimiento objetivo, no solamente en las ciencias. Los conceptos son productos de la cultura —dice Foucault— y el significado que asignamos a los objetos y a los textos son construcciones producto de la interpretación —dice Derrida—. En suma, el análisis cartesiano es reemplazado por hermenéutica.

Historiadores y sociólogos de la ciencia tomaron nota de la aproximación constructivista y lo aplicaron al proceso científico. El “programa fuerte” de estudios sociales de la ciencia y el trabajo de Bruno Latour (1987) son una extrapolación de Kuhn, Foucault y Derrida que mostró cómo las teorías científicas se pueden entender como construcciones sociales. Según Latour y sus seguidores, entre los miembros de la comunidad científica se fragua un consenso en un proceso más bien parecido a las actividades de un partido político que lucha por el poder. Los quarks son una construcción social (Pickering 1984), los átomos son una construcción social, etc. No es la naturaleza la que está en control y la que justifica el conocimiento generado por la ciencia; las verdades científicas son elaboraciones que resultan de la interacción entre los actores que tienen acceso a los espacios donde se fabrica el consenso.

Esta visión postmodernista de la ciencia, rechazada por Kuhn (1991), fue acogida con entusiasmo por los académicos en las áreas de las humanidades y las ciencias sociales, sobre todo los sociólogos. Los filósofos de la ciencia y los sociólogos de la ciencia tomaron caminos separados. Israel Scheffler (1967), filósofo de la ciencia, profesor emérito de la Universidad de Harvard, fue un crítico severo de Kuhn y sus seguidores y advirtió que el rechazo de la objetividad científica nos lleva al relativismo cultural en el cual el chamán, el astrólogo, el demagogo, o cualquier prestidigitador puede reclamar la misma autoridad intelectual para validar sus ideas y promover su agenda ideológica. El discurso racional, ordenado y no coactivo es esencial para el buen funcionamiento de una sociedad —dice Scheffler— pero esa posibilidad se convierte en anarquía y da paso al dogmatismo si cualquier individuo reclama arbitrariamente su propia

verdad sólo porque se le ocurrió que tenía la razón o porque existen intereses comerciales o ideológicos de por medio.

Entre la comunidad científica los razonamientos de Kuhn fueron rechazados con vigor. Quizá la voz más clara y los argumentos más fuertes vinieron de la pluma de Steven Weinberg:

En los últimos cuarenta años yo he participado de cambios revolucionarios en la manera como los físicos entienden las partículas elementales que constituyen la materia. Las revoluciones más importantes del siglo XX, la mecánica cuántica y la relatividad, ocurrieron antes de mi tiempo, pero son la base de la investigación entre los físicos de mi generación. En ningún momento he observado indicio alguno de la inconmensurabilidad entre paradigmas pregonada por Kuhn. Nuestras ideas han cambiado pero siempre hemos continuado la evaluación de nuestras teorías de la misma manera: una teoría se considera exitosa si está basada en principios fundamentales y explica bien y de forma natural los datos experimentales. No estoy diciendo que poseemos una receta para verificar teorías, o que entendemos con claridad el significado de “principios fundamentales” o “de forma natural”. Solo afirmo que no han habido cambios repentinos en la manera como validamos las teorías y que siempre ha sido posible la comparación de la veracidad de una teoría antes y después de una revolución (Weinberg 2001) [mi traducción].

Weinberg desvirtúa el argumento de inconmensurabilidad, mostrando con ello que efectivamente el progreso de la ciencia sí es posible. La inconmensurabilidad entre paradigmas elimina la posibilidad de establecer un criterio externo para juzgar teorías. Recordemos el razonamiento de Kuhn: una misma entidad (por ejemplo masa) está asociada a conceptos completamente distintos de acuerdo al paradigma y por eso los seguidores de un paradigma no se pueden comunicar de manera significativa con los seguidores del paradigma rival; por otro lado, los mismos datos pueden ser interpretados simultáneamente por los defensores de paradigmas distintos como consistentes con su paradigma, con lo cual es imposible usar los datos para determinar cuál es la teoría correcta. Esos argumentos no tienen nada que ver con la manera como funciona la ciencia, nos dice Weinberg, quien no es un cualquiera. Nadie puede decir con honestidad que Weinberg no conoce el proceso científico. Weinberg es un científico destacado y uno de los arquitectos del modelo estándar de partículas y fuerzas. En 1979 recibió el Premio Nobel en física por su trabajo (junto con Glashow y Salam) en la teoría de unificación de la interacción nuclear débil y electromagnetismo.

Más adelante Weinberg critica la noción de Kuhn de “ciencia normal” recordando que las teorías o paradigmas se construyen paulatinamente, no por revolución sino por evolución gradual y continuamente retadas por anomalías que no precipitan las crisis presagiadas por Kuhn. Weinberg también señala que la noción de Kuhn del científico que trabaja hipnotizado por un paradigma es completamente errónea. Numerosos ejemplos muestran todo lo contrario: los científicos no son sumisos a un paradigma, continuamente están retando el consenso, identificando errores y proponiendo cambios a la teoría. Los científicos tampoco son ciegos, las observaciones de Eddington para verificar la predicción de la relatividad general de la desviación de las trayectorias de luz y las de Hubble donde mostró la expansión del universo, han recibido críticas porque en su momento no eran observaciones robustas que ofrecían un soporte irrefutable a las teorías mencionadas. Las críticas pueden ser correctas pero de no haberse confirmado las observaciones de Eddington y Hubble repetidamente y con mayor precisión, tarde o temprano la comunidad científica hubiera terminado rechazando esas teorías sin importar la influencia ejercida por Eddington y Hubble, tal como ocurrió con el calórico, el flogisto, el éter luminífero, los rayos ‘n’ o casos más recientes como los monopolos magnéticos (Blas Cabrera) y ondas gravitacionales (Joseph Weber). Cabrera y Weber gozaban de una posición alta en los establecimientos de la elite científica, sin embargo sus resultados experimentales no se han corroborado y por lo tanto no han sido aceptados por la comunidad científica. Por esas razones la ciencia tiene ventajas epistémicas.

## Reflexión final

Vivimos inmersos en la tecnología y como actores de (y en) la naturaleza estamos afectando el mundo; cada día nuestro líderes y nosotros mismos a nivel individual nos vemos obligados a tomar decisiones que directa o indirectamente tienen que ver con los productos de la ciencia. Es importante entonces que el ciudadano y los líderes de la sociedad contemporánea entiendan cómo funciona la ciencia y al mismo tiempo puedan apreciar el significado del conocimiento derivado de la investigación científica. La ciencia no puede entregar resultados absolutamente certeros, siempre hay riesgos

“

... Es importante entonces que el ciudadano y los líderes de la sociedad contemporánea entiendan cómo funciona la ciencia y al mismo tiempo puedan apreciar el significado del conocimiento derivado de la investigación científica. La ciencia no puede entregar resultados absolutamente certeros, siempre hay riesgos y probabilidades asociados con los diagnósticos. No es posible ni útil catalogar a una teoría como ‘falsa’ o ‘verdadera’.”

y probabilidades asociados con los diagnósticos. No es posible ni útil catalogar a una teoría como “falsa” o “verdadera”. Las teorías científicas son aproximaciones de carácter conjetural, temporal y contingente; siempre sujetas a cambios. La ciencia es una empresa humana y como tal está sujeta a las complejidades del comportamiento humano. El proceso científico no es una sencilla receta (el “método científico”) para desvelar las verdades del universo. Tampoco es un proceso arbitrario en el que tienden a imponerse las ideas del actor con más poder. Lo maravilloso es que la ciencia funciona a pesar de todas estas condiciones limitantes.

A Kuhn le debemos su contribución al entendimiento de la ciencia en el sentido de poner atención al proceso de descubrimiento incluyendo el contexto histórico social. Es importante tener en cuenta la contingencia y el carácter conjetural de las teorías. Otro favor que le debemos a Kuhn es que nos libró del cientificismo y también gracias a Kuhn los científicos (bueno, algunos) volvieron a interesarse por el debate sobre la naturaleza del conocimiento científico, debate que desde el comienzo ha sido un debate interno a la ciencia. Continuar el debate es importante —como lo señala Bruno Latour— para eliminar la dicotomía ciencia-cultura y zanjar la brecha entre naturaleza y sociedad.

En *Estructura* Kuhn hace una lectura de la historia de la ciencia enfocándose en el proceso en el cual un paradigma es reemplazado por otro. La de Kuhn no es la única lectura que se le puede dar a la historia y el patrón “ciencia normal-crisis-cambio de paradigma” no es el único patrón que emerge de la historia. Se pueden identificar muchos otros patrones. Una vi-

sión muy diferente resultaría, por ejemplo, si nos enfocamos en la historia de las teorías fracasadas. Hay miles de teorías que no fueron aceptadas por la comunidad científica o que fueron aceptadas por un momento pero luego fueron rechazadas. Muchas de ellas promovidas por influyentes científicos que tenían acceso a los hilos del poder y ejercían las mismas presiones sociales que según los postmodernistas estarían detrás de las teorías que sí fueron aceptadas por la comunidad científica. En mi libro *El Big Bang* (Torres 2011), expongo en detalle el caso del modelo cosmológico propuesto por el influyente astrofísico Fred Hoyle. Si examinamos el contexto social, el manejo de influencias y las circunstancias históricas, tal como lo prescribe Kuhn, llegamos a la conclusión de que debería ser el modelo de Hoyle y no el Big Bang el que sería aceptado por la comunidad científica. Pero no fue así. La comunidad científica rechazó el modelo de Hoyle y aceptó el modelo cosmológico del Big Bang simplemente porque el Big Bang es consistente con docenas de observaciones astronómicas mientras que el de Hoyle no lo es.

De los párrafos anteriores se desprende un mensaje muy claro: la ciencia tiene implicaciones sociales y al mismo tiempo —para bien o para mal— la ciencia es el mejor instrumento que la humanidad ha desarrollado para manejar nuestra relación con la naturaleza. Ese instrumento hay que manejarlo con cuidado.

## Referencias

- Einstein, A., Infeld, L. (1942), *The Evolution of Physics*, Nueva York, Simon and Schuster.
- Feyerabend, P. (1975), *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, New Left Books.
- Fleck, L. (1986), *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*, Madrid, Alianza Editorial. Original (1935): *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*.
- Hume, D. ([1748] 1984), *Del conocimiento*, Madrid, Sarpe.
- Kuhn, T. (1962), *The structure of scientific revolutions*, University of Chicago Press, (las citas fueron tomadas de la segunda edición de 1970, las traducciones son mías).
- Kuhn, T. (1991), "The trouble with the historical philosophy of science", *Road since Structure*, 105-20.
- Latour, B. (1987), *Science in Action*, Harvard University Press.
- Pickering, A. (1984), *Constructing quarks: A sociological history of particle physics*, The University of Chicago Press.
- Polanyi, M. (1964), *Science, faith and society*, Oxford University Press, publicación original 1946.
- Quine, W. v. O. (1951), "Two Dogmas of Empiricism", *The Philosophical Review*, 60: 20-43, Republicado en *From a Logical Point of View*, Harvard University Press, 1953.
- Ravetz, J. (1971), *Scientific knowledge and its social problems*, Nueva York, Oxford University Press.
- Scheffler, I. (1967), *Science and Subjectivity*, Bobbs-Merril.
- Sokal, A. (2010), *Beyond the hoax: Science, philosophy and culture*, Oxford University Press.
- Torres, S. (2011), *El Big Bang: aproximación al universo y a la sociedad*, Siglo del Hombre Editores.
- Uebel, T. (2012), "Vienna Circle", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2012 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL: <http://plato.stanford.edu/archives/sum2012/entries/vienna-circle/>
- Weinberg, S. (2001), *Facing up: Science and its cultural adversaries*, Harvard University Press.



Dirección de Investigación,  
Desarrollo e Innovación

Ubicada entre las  
**diez**  
**mejores**  
**universidades**  
**del país**

según indicadores de **ciencia,**  
**tecnología e innovación:**  
Ranking U-Sapiens 2011-2 y  
Ranking SHImago 2012.



[www.uninorte.edu.co](http://www.uninorte.edu.co)

Mayores informes:  
Dirección de Investigación,  
Desarrollo e Innovación  
Teléfonos: (57-5) 3509420 - 3509422  
[dip@uninorte.edu.co](mailto:dip@uninorte.edu.co)  
Barranquilla, Colombia

# Antimateria: ¿Por qué hay **algo**

# en lugar de **nada?**

## ALEJANDRO AYALA

PH.D. UNIVERSIDAD DE MINNESOTA,  
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA 1995.  
MIEMBRO DEL SISTEMA NACIONAL  
DE INVESTIGADORES MÉXICO NIVEL III,  
INVESTIGADOR TITULAR C EN  
EL INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES  
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO.

ayala@nucleares.unam.mx

## JORGE NAVARRO

DOCTOR EN CIENCIAS FÍSICAS  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO 2011.  
PROFESOR-INVESTIGADOR EN  
EL DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
DE LA UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO,  
EN BARRANQUILLA, COLOMBIA.

jorgenavarro1@mail.  
uniatlantico.edu.co

## HORTENSIA SEGURA

LIC. EN D.G. ESCUELA NACIONAL  
DE ARTES PLÁSTICAS UNIVERSIDAD  
NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO, MÉXICO 2008.  
TÉCNICA ACADÉMICA ASOCIADA C.  
INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES,  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

hortensia.segura@nucleares.  
unam.mx

## Resumen

Se presenta un panorama general acerca de la naturaleza de las antipartículas y la antimateria. Después de un breve recuento histórico de su descubrimiento se mencionan experimentos donde se busca producir y estudiar la antimateria, así como sus usos en medicina y como posible combustible para naves espaciales. Se concluye haciendo notar que, pese a la equivalencia entre materia y antimateria, el universo está poblado casi exclusivamente por la primera y se hace hincapié en que una de las más grandes interrogantes de la ciencia moderna es dilucidar el origen de esta asimetría durante la evolución del universo.

## Antimateria: ¿Por qué hay algo en lugar de nada?

Cuando tenemos la fortuna de poder contemplar el cielo nocturno, es imposible no sorprenderse. Para empezar es hermoso. ¡Pensar que esos puntos brillantes —las estrellas— son soles, muchos de ellos como el nuestro, que se encuentran a enormes distancias! La luz que viene de las estrellas ha viajado a través del cosmos durante mucho tiempo, a veces miles e incluso millones de años. Sobrepuestos a la impresión causada por tal belleza, podemos detenernos a pensar acerca del origen de lo que observamos en ese vasto cielo estrellado llamado universo.

## Ingredientes para un universo: partículas y antipartículas

Para que las estrellas se formaran debieron primero existir átomos de elementos ligeros, como el hidrógeno y el helio. Estos átomos se conglomeraron, atraídos por su propia gravedad. Cuando la densidad fue lo suficientemente alta para que los núcleos atómicos pudieran fusionarse, las estrellas comenzaron a emitir luz. Los átomos están hechos de electrones y núcleos atómicos; los primeros orbitan a los segundos debido a la atracción electromagnética. A su vez, los núcleos atómicos están hechos de protones y neutrones que se mantienen unidos debido a la interacción nuclear fuerte. Los protones y los neutrones son partículas compuestas: están formados de otras partículas llamadas *quarks* que, hasta donde sabemos, son, junto con el electrón, partículas elementales. Entonces podemos concluir que antes de que en el universo existieran estrellas, átomos o núcleos atómicos existían partículas elementales. Como al principio el universo era pequeño y contenía toda la materia que observamos, estas partículas elementales debieron estar sujetas a condiciones extremas de densidad y temperatura que no les permitían formar partículas compuestas y menos aún materia con estructura.

En su infancia, hace aproximadamente 13,7 mil millones de años, el universo, recién surgido de la gran explosión, estaba densamente poblado por partículas elementales. Pero eso no era todo; en aquel entonces, por cada una de las partículas en el universo, debió existir una *antipartícula*. Esta afirmación es más bien una conjetura basada en un principio que la física de las interacciones elementales ha dilucidado a lo largo de casi un siglo de estudio: existe gran semejanza entre partículas y antipartículas. Las partículas tienen las mismas propiedades que sus correspondientes antipartículas; la misma masa, la misma vida media, el mismo valor del espín, la misma cantidad de carga eléctrica en valor absoluto, etc. Lo único que distingue partículas de antipartículas es el signo de sus cargas. El electrón tiene su correspondiente antipartícula, el llamado positrón. La diferencia entre electrón y positrón es que el signo de la carga eléctrica del primero es negativo y del segundo es positivo. Estas partículas tienen una carga adicional que las identifica como susceptibles de experimentar la interacción nuclear débil, el llamado *número leptónico*. Para el electrón el número leptónico es +1 y para el positrón es -1. La antipartícula del protón se denomina

antiprotón. La diferencia entre uno y otro es que el signo de la carga eléctrica del protón es positivo y el del antiprotón es negativo. Estas partículas poseen además una carga adicional que las identifica como susceptibles de interactuar mediante la fuerza nuclear fuerte. Esta carga se denomina *número bariónico*. El número bariónico del protón es +1 y el del antiprotón es -1. Algunas partículas eléctricamente neutras, como el fotón —el portador de la interacción electromagnética— son sus propias antipartículas. Otras como el neutrón poseen otra carga que las distingue de su antipartícula: el neutrón tiene número bariónico +1 mientras que su antipartícula, el antineutrón, tiene un número bariónico -1. Por cada partícula descubierta hasta la fecha se ha descubierto también la correspondiente antipartícula. Dada esta semejanza entre partículas y antipartículas es de esperarse que al comienzo del universo no se hayan producido más de las unas que de las otras.

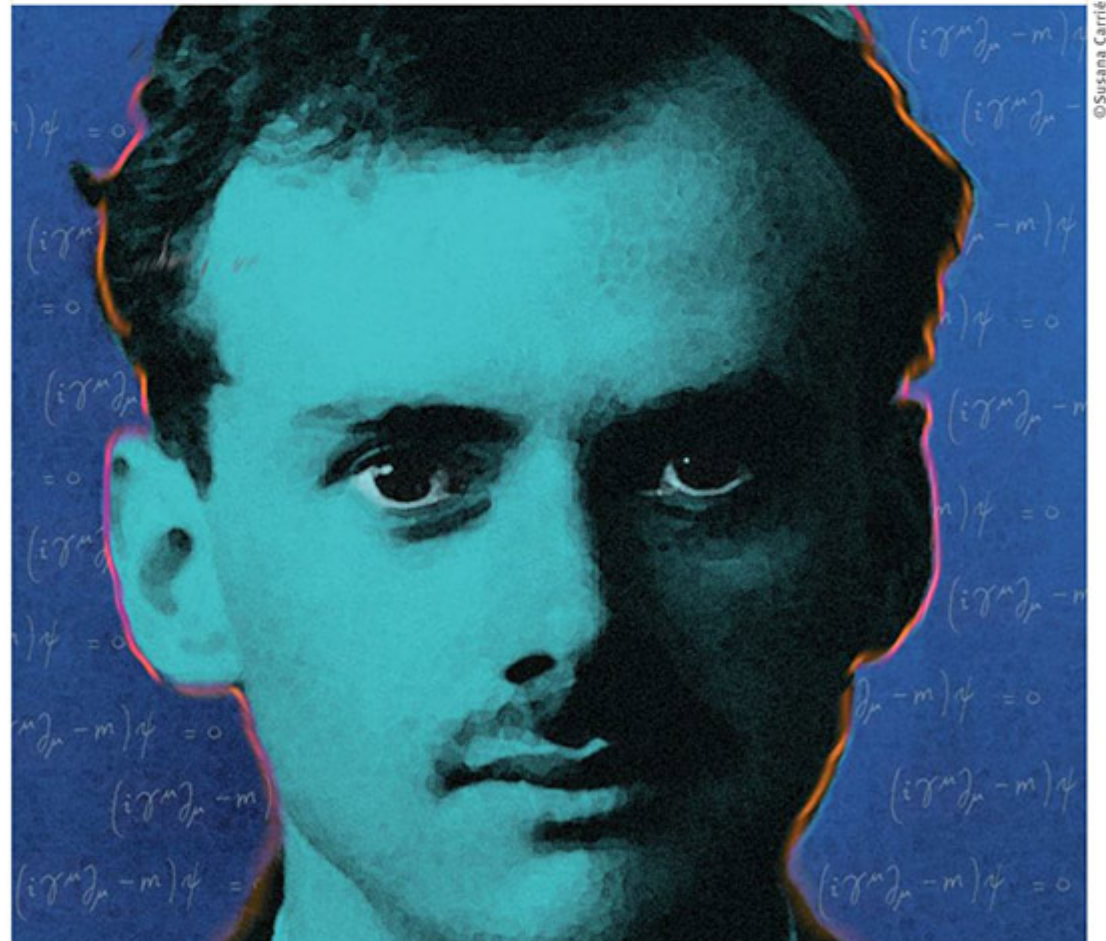
## Antimateria

Así como las partículas forman la materia, las antipartículas constituyen lo que conocemos como la *antimateria*.

La existencia de la antimateria fue una predicción de la física cuántica combinada con la relatividad especial. Entre 1927 y 1930, el físico británico P.A.M. Dirac (ver Figura 1) desarrolló una ecuación cuántico-relativista para describir el comportamiento del electrón. Para su sorpresa, la ecuación describía soluciones con energías positivas y negativas. A la luz de las ideas clásicas, donde las partículas tienen siempre energía positiva, tal resultado parecía absurdo. No obstante, Dirac supo interpretar estas soluciones introduciendo la idea de que todos los estados con energía negativa estaban ocupados. Este concepto se conoce como el *mar de Dirac* (ver Figura 2).

Figura 1.

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984). Físico teórico inglés. Es principalmente reconocido por sus valiosas aportaciones al desarrollo de la teoría cuántica. Formuló la ecuación que ahora conocemos como la "Ecuación de Dirac" que describe el comportamiento de partículas con espín 1/2 la cual también predice la existencia de partículas de antimateria. Recibió el premio nobel de Física de 1933 junto con Erwin Schrödinger "por el descubrimiento de nuevas formas útiles de la teoría atómica".



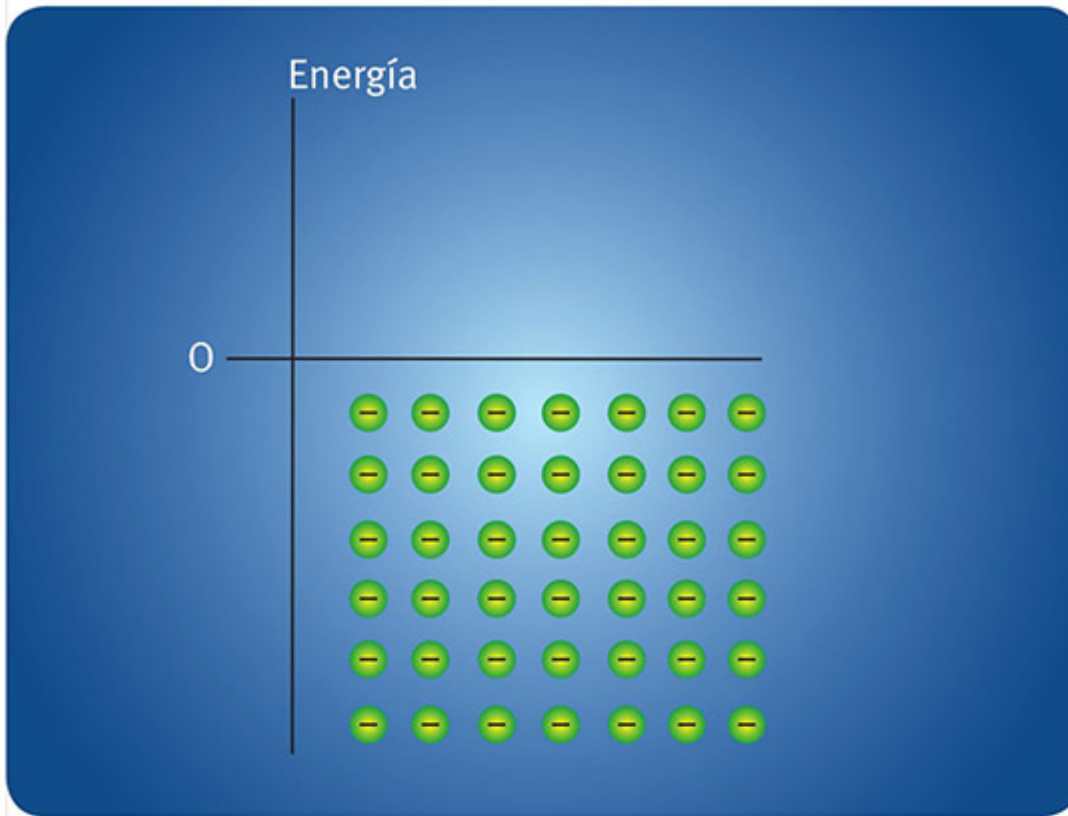


Figura 2.

Representación del mar de Dirac, en el cual se muestra todos los estados de energía negativa ocupados por electrones, es decir por partículas con carga negativa.

De este modo, la eventual ausencia de una partícula en uno de estos estados de energía negativa crea un agujero en el mar de Dirac. Esta ausencia se puede también entender como la presencia de una partícula con las mismas características, pero con carga opuesta. Para promover una partícula ocupando un estado en el mar de Dirac a un estado con energía positiva, es necesario dar energía en forma de radiación electromagnética. El efecto es la creación de un agujero en el mar de Dirac a la vez que la creación de una partícula con energía positiva, es decir la creación de un par positrón-electrón (ver Figura 3).

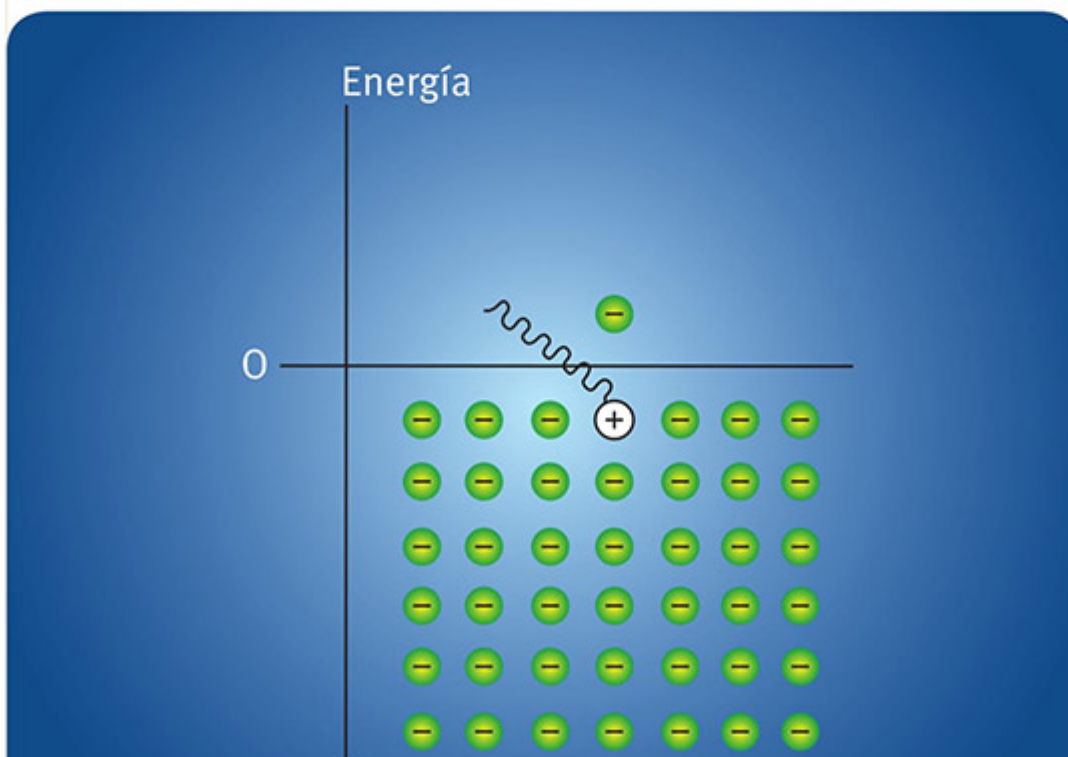


Figura 3.

Representación del mar de Dirac cuando se hace incidir energía en forma de radiación electromagnética. Bajo esta circunstancia, se puede promover una de estas partículas del mar a ocupar un estado con energía positiva. El resultado es la ausencia de una partícula de carga negativa en el mar que se puede interpretar como la presencia de una partícula con carga positiva, es decir, un positrón. Esta es una manera de entender el proceso de producción de un par

Si este proceso es posible, el opuesto también lo es: cuando un positrón y un electrón se encuentran, se dice que estos se aniquilan convirtiendo su energía en radiación electromagnética. La energía de esta radiación debe corresponder cuando menos a la suma de las masas del electrón y el positrón, dada la equivalencia entre masa y energía descubierta por Einstein. La longitud de onda de esta radiación (la distancia entre crestas consecutivas de estas ondas electromagnéticas) es aproximadamente cien veces menor que la longitud de onda de la luz, que es la parte de la radiación electromagnética que podemos percibir con nuestros ojos. Esta región del espectro de la radiación electromagnética se conoce como radiación gama.

La confirmación experimental de la hipótesis de Dirac fue realizada por C. D. Anderson en 1932, al analizar los rayos cósmicos en un detector de partículas cargadas llamado cámara de niebla. Los rayos cósmicos son partículas que provienen de todas las direcciones del universo y que constantemente bombardean la tierra. La cámara de niebla es un dispositivo que contiene vapor de agua en condiciones de baja temperatura y alta densidad, de modo que cuando una partícula cargada lo atraviesa ioniza fácilmente al vapor. Los iones actúan como impurezas que facilitan la condensación de gotas de agua a lo largo de la trayectoria de la partícula que se ven como líneas nebulosas, y de allí el nombre del aparato. Si la cámara de niebla se coloca en presencia de un campo magnético, las trayectorias de las partículas se curvan. Como la interacción de una partícula cargada en movimiento con un campo magnético depende del signo de la carga, las trayectorias de partículas con carga negativa se curvan en la dirección opuesta a la de las trayectorias de partículas con carga positiva. El radio de curvatura es inversamente proporcional a la masa de las partículas. Anderson fotografió las trazas generadas en la cámara de niebla observando que aparentemente de la nada surgían algunas trayectorias que al desplazarse se curvaban en direcciones opuestas. El radio de curvatura era el mismo, por lo que Anderson concluyó con razón que se trataba de la observación de la creación de un par positrón-electrón.

Este descubrimiento inspiró la búsqueda de otras antipartículas. En 1955, en un acelerador de la Universidad de Berkeley llamado betatrón, fue descubierto el antiprotón. Un poco más tarde, mediante la colisión de protones y antiprotones se produjeron pares neutrón-antineutrón. A partir de entonces la existencia de la antimateria quedó firmemente establecida.

## Producción y usos de la antimateria

Hoy en día la producción de antimateria en laboratorios dedicados al estudio de las partículas elementales es un tema de investigación en la frontera del conocimiento. El objetivo es explorar con la mayor precisión posible y en varios frentes si, en efecto, las propiedades de partículas y antipartículas son del todo idénticas. El experimento ALPHA del CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear, por sus siglas en francés) en Suiza, ha logrado recientemente producir y confinar durante un tiempo record de 1,000 segundos 38 átomos de antihidrógeno, es decir, átomos donde un positrón orbita un antiprotón (CERN 2012a). El experimento tiene como uno de sus propósitos estudiar el espectro de transiciones electromagnéticas del antihidrógeno y compararlo con el espectro del hidrógeno. Otro experimento en curso en el CERN es el AEGIS (CERN 2012b), donde se espera medir el efecto de la aceleración gravitacional terrestre sobre los átomos de antihidrógeno para poner a prueba el principio de equivalencia de la relatividad general. Este principio asegura que la interacción gravitacional depende solo de la masa y no de la naturaleza de las partículas.

Otro lugar donde se ha producido y almacenado antimateria es el laboratorio nacional Fermi en Estados Unidos. En ese laboratorio los antiprotones producidos se han usado como haces que a su vez colisionan con protones a altas energías. El objetivo es estudiar si hay alguna diferencia entre los productos de las colisiones entre protones y antiprotones con los de las colisiones entre protones.



un/unimedios / comunicación estratégica / ideas para crecer



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
UNIDAD DE MEDIOS DE COMUNICACIÓN  
UNIMEDIOS



unimedios  
unidad de medios de comunicación

# Tenemos **TODO** en comunicación



Radio



Televisión



Medios Digitales



Prensa



Comunicación Estratégica

[www.unimedios.unal.edu.co](http://www.unimedios.unal.edu.co)

# PBX: 3 | 65000

ACTENOS:



El experimento STAR en el laboratorio nacional Brookhaven en Estados Unidos, ha reportado, también recientemente, la producción de núcleos de antihelio (que consiste de dos antiprotones y dos antineutrones) en colisiones de núcleos de oro. La detección de estos antinúcleos es importante para poner a prueba ideas acerca de los mecanismos de producción de antimateria en colisiones de partículas de materia (Brookhaven National Laboratory 2012).

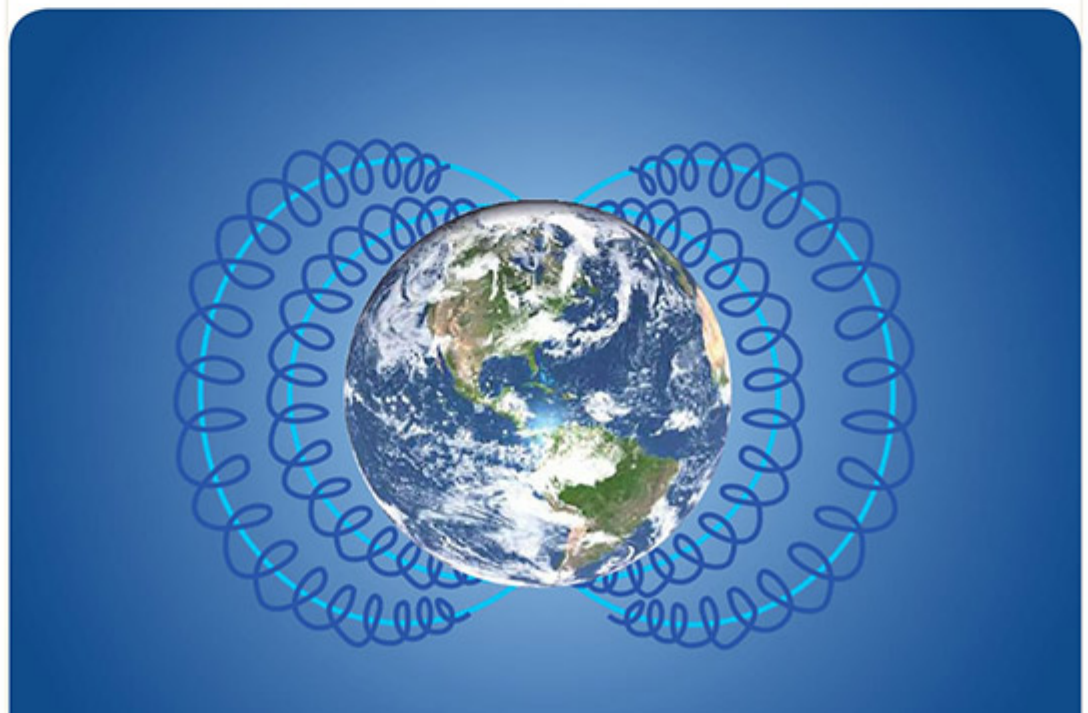
El estudio de las propiedades de la antimateria se lleva a cabo también en satélites orbitando alrededor de la tierra. Mucha de la información acerca de la composición del universo viene de los rayos cósmicos. Éstos consisten principalmente de protones, núcleos de helio, núcleos pesados, electrones y radiación gama. El experimento AMS-02, instalado en la estación espacial internacional, tiene como uno de sus principales objetivos detectar si estos rayos cósmicos también tienen alguna componente de antinúcleos para estudiar el balance de materia-antimateria en el universo (AMS-02 2012).

Una de las aplicaciones prácticas más espectaculares de la antimateria es su uso en medicina, en la técnica conocida como *tomografía por emisión de positrones* (PET, por sus siglas en inglés). Esta es una técnica para producir imágenes de alta precisión de órganos afectados por tumores. La técnica consiste en inyectar al paciente una dosis adecuada de una solución glucosa que contenga alguna fuente de positrones, por ejemplo algún núcleo radioactivo cuyo modo de decaimiento involucre emisión de positrones. La solución se concentra naturalmente en las zonas donde la glucosa se consume a mayores tasas, como en las que crece algún tumor. Los positrones emitidos se aniquilan con los electrones que forman la materia de los tejidos orgánicos produciendo luz que se puede capturar y procesar para producir la imagen buscada.

Producir antimateria en laboratorios es una empresa altamente costosa, por lo que hasta la fecha ésta no se ha utilizado para explotar su posible uso como fuente de energía. Para producir antimateria en laboratorios terrestres se requiere primero acelerar partículas y hacerlas colisionar. La energía mínima para producir pares de partícula-antipartícula es la equivalente a dos veces la masa de la partícula. Producir antimateria para después aniquilarla con el fin de producir energía no parece ser una alternativa costeable, a menos que pudiésemos coleccionar antimateria de alguna fuente natural de antipartículas. Una de estas fuentes son los productos de la interacción de rayos cósmicos con las capas superiores de la atmósfera terrestre que producen, entre otras partículas, antiprotones. Por ser partículas cargadas, los antiprotones pueden ser atrapados en órbitas alrededor de las líneas de campo magnético de la tierra y, por ser estables, pueden permanecer en esas órbitas por largos periodos de tiempo (ver Figura 4).

Figura 4.

Representación de las trayectorias de partículas cargadas en las líneas de campo magnético terrestre. Los antiprotones, por ser partículas cargadas, interactúan con el campo magnético de La Tierra siendo atrapadas en trayectorias espirales alrededor de las líneas de campo, los llamados cinturones de Van Allen.



Recientemente el satélite PAMELA, de la agencia espacial europea, ha encontrado que el número de antiprotones atrapados en estas líneas de campo magnético, los llamados cinturones de Van Allen, es mil veces mayor de lo que se espera en otras partes del cosmos (PAMELA 2012). La existencia de esta región altamente poblada por antiprotones ha motivado especulaciones de que en un futuro no muy lejano se implemente un proceso de almacenamiento para aprovecharlos como una fuente de energía para la propulsión de naves espaciales. La producción de energía mediante la aniquilación de materia con antimateria es más eficiente incluso que la producción de energía mediante fisión nuclear, amén de ser más limpia, ya que no origina material radioactivo secundario. Utilizar esta fuente de energía para propulsar naves espaciales acortaría los tiempos de viajes interplanetarios. La administración nacional de aeronáutica y del espacio (NASA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, se encuentra considerando actualmente esta posibilidad. El reto tecnológico consiste en diseñar una máquina que pueda confinar y a la vez utilizar de manera controlada la antimateria, al mismo tiempo que evite que los energéticos rayos gama que se originan en la aniquilación con materia, puedan producir efectos secundarios dañinos. También están siendo considerados diseños donde se utilizan positrones en lugar de antiprotones.

## ¿Y dónde está la antimateria?

La equivalencia entre partículas y antipartículas no se refleja en el contenido de materia y antimateria del universo. Las observaciones indican que el universo está compuesto casi en su totalidad por materia. Estas observaciones se realizan tanto en la experiencia cotidiana como en estudios minuciosos de señales provenientes del cosmos. La presencia de antimateria en contacto con la materia tendría como señal inequívoca de su aniquilación la producción de radiación gama. Desde escalas humanas, pasando por escalas interplanetarias, galácticas e incluso intergalácticas, no se observa la producción de tal radiación que pueda atribuirse a procesos de aniquilación entre partículas y antipartículas. Por otra parte, si desde el comienzo del universo esta simetría se hubiese preservado, los procesos de aniquilación entre partículas y antipartículas hubieran resultado en un universo poblado solo por radiación. ¡Nada de lo que existe existiría! Una de los grandes retos para la física de nuestros días es dilucidar qué sucedió durante la evolución del universo que rompió la simetría entre materia y antimateria produciendo un universo dominado por la primera. Por eso, la próxima vez que el lector tenga el privilegio de gozar de una noche estrellada, después de recobrar el aliento, puede preguntarse, además de cómo se formaron las estrellas, ¿por qué hay algo en lugar de nada? La pregunta queda en el aire en espera de las mentes curiosas que ayuden a comprender uno de los misterios más inquietantes de la ciencia de nuestros días.

## Glosario

**AEgIS.** Antihydrogen Experiment: Gravity, Interferometry, Spectroscopy (por sus siglas en inglés). Es un experimento que tiene lugar en el CERN, utilizando antiprotones.

**ALPHA.** Antihydrogen Laser Physics Apparatus (por sus siglas en inglés). Tiene lugar en el CERN, captura y compara los átomos de antihidrógeno con los átomos de hidrógeno.

**AMS-02.** Alpha Magnetic Spectrometer (por sus siglas en inglés). Detector de partículas diseñado para operar como un módulo externo en la estación espacial internacional.

**Bariones.** Son partículas subatómicas compuestas de tres quarks. Participan de la interacción fuerte, así como de las otras tres interacciones, la débil, la electromagnética y la gravitacional.

**Betatrón.** Acelerador circular inventado en 1941 por D. Kerst para incrementar la energía cinética de los electrones.

**Espín.** Es el momento angular intrínseco de las partículas elementales. Para el electrón y el protón (y sus correspondientes antipartículas, el positrón y el antiprotón) el valor de espín es  $1/2$  en unidades de la constante reducida de Planck.

**Equivalencia entre masa y energía.** Expresión de la teoría especial de la relatividad,  $E = mc^2$ , que indica que la masa de un cuerpo multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz es equivalente a la energía que contiene ese cuerpo.

**Fisión nuclear.** Reacción nuclear que consiste en el rompimiento de un núcleo atómico en dos o más núcleos de menor masa. El proceso inverso, la fusión nuclear, sucede cuando dos núcleos livianos se unen y forman un núcleo más pesado.

**Leptones.** Son partículas elementales cuya característica principal es que no están sujetas a la interacción fuerte, aunque participan del resto de las interacciones, la débil, la electromagnética y la gravitacional. Existen seis tipos de leptones, el electrón, el muón y el tau, así como el correspondiente neutrino para cada una de las anteriores partículas.

**Número bariónico.** Número de bariones menos número de antibariones. Es un número cuántico aditivo. A cada quark se le asigna el número bariónico  $+1/3$  y a cada antiquark el número bariónico  $-1/3$ . De este modo un barión, hecho de tres quarks, tiene un número bariónico  $+1$  y cada antibarión, hecho de tres antiquarks, tiene un número bariónico  $-1$ .

**Número leptónico.** Número de leptones menos número de antileptones. Es un número cuántico aditivo. A cada leptón se le asigna el número leptónico  $+1$  y a cada antileptón el número leptónico  $-1$ .

**PAMELA.** Payload for Antimatter Matter Exploration and Light-nuclei Astrophysics (por sus siglas en inglés). Satélite para determinar la distribución de la energía de los electrones, positrones, antiprotones y núcleos ligeros.

**Radiación electromagnética.** Combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan ya sea a través del vacío o un medio, transportando energía y momento de un lugar a otro.

**STAR.** Solenoidal Tracker at RHIC (por sus siglas en inglés). Es uno de los cuatro experimentos en el Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC).

**Vida media.** Tiempo que tarda en desintegrarse una partícula o antipartícula inestable, se mide en segundos.

## Referencias

*A payload for antimatter matter exploration and light-nuclei astrophysics (PAMELA, 2012)*, recuperado en <http://pamela.roma2.infn.it/index.php>

*Brookhaven National Laboratory (2012), The STAR Experiment at the Relativistic Heavy Ion Collider*, recuperado en [www.star.bnl.gov/](http://www.star.bnl.gov/)

Consejo Europeo para la Investigación Nuclear (CERN, 2012a), *Alpha experiment*, marzo, recuperado en <http://alpha-new.web.cern.ch/>

Consejo Europeo para la Investigación Nuclear (CERN, 2012b), *AEgIS experiment*, recuperado en <http://aegis.web.cern.ch/aegis/home.html>

*The Alpha-Magnetic Spectrometer Experiment (AMS-02, 2012)*, recuperado en <http://www.amso2.org/>



12 años **conectados** a la  
**Verdadera Alternativa de la Radio.**



Emisora de la Univesidad Distrital  
Francisco José de Caldas

LAUD 90.4 FM Estéreo facilita a la comunidad tanto interna como externa de la Institución, la divulgación de sus actividades en los campos científico, académico, tecnológico, social y cultural; supliendo las necesidades insatisfechas de la comunicación y divulgación de los estudiantes, profesores y trabajadores de la Universidad. Igualmente colaborando en el posicionamiento de la Universidad, como ente Autónomo de Educación Superior del Distrito Capital, en la ciudadanía bogotana. Además hace énfasis en la música Latinoamericana como identificación y distinción de la emisora.



# LOS PLANETARIOS: LA GRAN HERRAMIENTA DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

**GERMÁN PUERTA RESTREPO**  
PRESIDENTE DE LA RED DE ASTRONOMÍA  
DE COLOMBIA, RAC

[gpuerta@astropuerta.com.co](mailto:gpuerta@astropuerta.com.co)

*Nosotros no queremos hacer una apología de la ciencia que profesamos.  
Queremos sí, rebajar la sublimidad de sus principios y de sus miras;  
queremos que el común entrevea las relaciones tan grandes  
como ocultas que tiene la Astronomía con la sociedad  
y con las necesidades del hombre.*

Francisco José de Caldas, 1808

## Resumen

A raíz de la reciente reinauguración del Planetario de Medellín, y la próxima del Planetario de Bogotá, ambos totalmente renovados, el autor explora el papel de los planetarios en la educación pública y su importancia en la apropiación social de las ciencias.

## Introducción

La astronomía es la más fundamental de las ciencias, y también la más antigua. Desde hace miles de años todos los pueblos del mundo han elevado su mirada hacia el firmamento y han tratado de explicar los extraordinarios fenómenos de la bóveda celeste mediante mitos y leyendas. No solamente nos maravillamos con sus enigmas sino que también el cielo es el sujeto de nuestros sueños, el objeto de nuestras nobles aspiraciones y la causa de nuestras más profundas preocupaciones. Además de su significado físico y metafísico, la visión de la bóveda celeste a través de la historia ha influenciado campos tan diversos como la matemática, la geometría, la música y las artes visuales, y constantemente nos recuerda el lazo indisoluble entre la ciencia, la filosofía, la religión y el arte.

El estudio del Universo genera, además, la percepción de nuestra posición en el espacio mostrando a la diminuta Tierra con su delicado ecosistema y sus limitados recursos. También sabemos que hay una conexión mágica entre la bóveda celeste y los niños. Las edades tempranas son definitivas para el desarrollo de la niñez; es en este momento que el ser humano establece su sistema de valores y moldea lo que será su futuro. La astronomía es una disciplina extraordinaria para motivar y formar a la niñez y juventud y promover la apreciación simultánea por la ciencia y la cultura, y ayuda a comprender nuestra herencia cultural y nuestra diversidad. La astronomía moderna es, además, una ciencia que impulsa el desarrollo de tecnología avanzada y estimula la inclusión de la niñez y la juventud en el complejo mundo de la actualidad.

Foto 1.

Terraza de observación y domo del Planetario de Bogotá.



©Susana Carrié

Sin embargo, la apreciación de la belleza de los objetos celestes y la comprensión sobre la enormidad del Universo no está disponible para todo el mundo. A los niños y jóvenes no se les enseña astronomía en la escuela, muchas veces por la errada idea de que los niños no son capaces de entender ideas científicas. Además, el acceso a las maravillas de la astronomía y las ciencias del espacio está especialmente restringido para los niños y jóvenes con desventajas económicas y sociales.

Y qué decir del cielo estrellado, casi completamente borrado en la mayoría de las ciudades gracias a la contaminación lumínica. Muy pocos niños, y aun personas adultas, excepto aquellos que viven en áreas rurales o pueden recrearse en ellas, han visto alguna vez en su vida la Vía Láctea o las estrellas fugaces.

Por todo esto la ciencia ha desarrollado un formidable instrumento que permite recrear las imágenes del cielo como se verían en un sitio oscuro, y mostramos las imágenes del Universo que nos brindan los grandes telescopios: el planetario. Hay más de 3.000 planetarios en el mundo que inspiran y educan a la gente de todas las edades acerca de las maravillas del Universo y el lugar que en él ocupa nuestro planeta.

## El planetario, un lugar para aprender y para pensar

Los planetarios tienen varios papeles en las comunidades:

- Divulgan la astronomía, las ciencias del espacio y las ciencias afines.
- Apoyan y promueven la enseñanza de las ciencias en el sistema educativo formal.
- Proveen a la comunidad con información precisa y oportuna sobre los temas de interés.

Sin embargo, un planetario es una institución híbrida: es un espacio educativo que también sirve para entretener, especialmente por la cualidad que tiene la astronomía, más que otras ciencias, de educar y divertir en forma simultánea. El planetario es un lugar que debe ser visto como un punto de partida más que el fin de una meta, un sitio de inspiración para querer saber más. Es el sitio ideal para que la gente cambie su actitud hacia la ciencia, lo cual es posible gracias a las cualidades sensoriales de su espectáculo y a las actividades complementarias.

Para cumplir efectivamente con estos roles los planetarios deben tener acceso oportuno a la información y a los materiales didácticos; deben disponer de un personal con alta capacidad de comunicación y de interpretación de la información; deben conocer las necesidades y las expectativas de su público; y deben mantener actualizado el proceso del conocimiento y las tecnologías de presentación.

El eje central de todo planetario es el domo de proyecciones, que le imprimen al lugar unas cualidades estéticas particulares y que en varias formas superan las de otros entretenimientos o experiencias educativas (Croft 2008):

- La "inmersión" que ofrece el espectáculo en el domo.
- El papel central del juego de luces, el sonido y la música.
- La importancia de atrapar a la audiencia en un viaje de exploración.
- El ambiente pacífico y relajado.

Una función de planetario no es como mirar la televisión o navegar en Internet y tampoco se parece al cine, el cual tiene claros límites rectangulares. En el domo el visitante se integra a la experiencia, el espectáculo lo rodea, se vuelve "inmersivo". Y además es el sitio ideal para confrontar los dilemas milenarios de la humanidad: origen y destino del universo, nuestra soledad en el espacio, el origen de la vida, la posibilidad de vida extraterrestre, las maravillas y los enigmas de la bóveda celeste.

## Los comunicadores

El planetario es, en esencia, una entidad cultural de la ciudad, no una institución científica o de investigación técnica. Claramente tiene una función primaria recreativa y educativa, específicamente en la temática de la astronomía y el espacio, pero también es potencialmente uno de los grandes escenarios culturales de la ciudad, y debe tratarse en consecuencia como los demás activos culturales. Son bienvenidas todas las actividades culturales adecuadas para el tipo de público visitante.

En este sentido, el profesional del planetario, para ser efectivo, debe jugar tres roles: el científico, el educador y, en cierta forma, el artista del entretenimiento.

Es mi punto de vista que el personal de un planetario o museo de ciencia deben verse a sí mismos como educadores. Además me gusta el término 'comunicador científico' porque en nuestra profesión nosotros tenemos mucho que comunicar: la alegría y el espíritu de la astronomía, los hechos y conceptos de la ciencia, las conexiones de la astronomía con otras disciplinas (Bishop 1992a).

Por ello el personal directivo, planificador y presentador debe tener competencias que los hagan efectivos comunicadores; y estar preparados para representar adecuadamente la organización ante cualquier tipo de audiencia, profesional, aficionados, o principiantes, niños, jóvenes y adultos.

Un estudio reciente con diversos profesionales de planetarios mostró que para estos comunicadores el mayor reto es mostrarle a la audiencia los conceptos científicos en forma comprensible y significativa<sup>1</sup>. Las funciones de planetario poco exitosas se caracterizan por su incapacidad de convertir las ideas científicas complejas en argumentos entendibles por todos.

Mientras se comunican las ideas, el entretenimiento no debe ser ignorado. Los mejores efectos sensoriales y la participación de la audiencia deben aplicarse para hacer del proceso de comunica-

1. Si el papel de un planetario es educar y entretener al público, una estrategia real tiene que considerar que los visitantes no llegan en blanco sino con un variado conjunto de conocimientos, actitudes, creencias y motivaciones sobre la astronomía (Croft 2008).



• Club de astronomía para niños del Planetario de Bogotá.

ción una experiencia memorable y agradable. Cuando la experiencia es divertida, ocurre el deseo de aprender más.

Sin embargo, los efectos especiales de la alta tecnología no deben sustituir los contactos personales, las actividades manuales y la interacción entre el público —especialmente los niños— y los educadores:

La esencia de la enseñanza es la presentación en vivo de comunicadores altamente motivados quienes no solo deben tener conocimiento acerca de la astronomía y el espacio, sino que deben tener la habilidad de conectarse con la audiencia emotivamente (McLennan 2009).

Los estudios sobre estrategias educativas encontraron que las más valiosas en los planetarios eran aquellas basadas en el diálogo entre los instructores y los estudiantes (Croft 2008).

## Planetarios y museos de ciencia

Las funciones tradicionales en los domos de planetario fueron durante muchos años las imágenes de las estrellas y planetas que arrojaban los proyectores opticomecánicos sobre las pantallas curvas en recintos oscuros. El planetario de hoy día es un complejo centro multimedia con computadores que operan sistemas automáticos que controlan proyectores, sonido, luces, videos y efectos especiales.

Además, la visita al planetario sin actividades complementarias no es efectiva. Los educadores en los planetarios deben combinar instrucción en aulas y programas de orientación. Muchos planetarios están integrados con museos de ciencia, un socio natural, y también muchos están vinculados a los sistemas públicos o privados de educación escolar.

Por ello es una excelente ventaja contar con áreas para la instalación de exhibiciones modernas acerca de la astronomía y el espacio que enriquecerán aún más la experiencia de ir a un planetario. Los visitantes de planetarios, museos y exhibiciones científicas se educan y divierten, especialmente con modelos interactivos. La exhibición estática del pasado ha sido sustituida por el dinamismo y

la interactividad de presentaciones científicas coherentes, por lo que los asistentes de toda edad disfrutan la visita. Los buenos planetarios y centros de ciencias desarrollan un tema alrededor del cual gira la atención del público. Así que el potencial de un planetario moderno en el campo de la educación formal e informal es inmenso, y su futuro muy promisorio<sup>2</sup>.

El planetario con funciones emocionalmente atractivas, junto con exhibiciones inteligentes e innovadoras, será capaz de satisfacer el interés natural del público por la astronomía y las ciencias del espacio. Esta combinación permitirá establecer una “masa crítica” que convertirá al planetario en un “destino atractivo” para estudiantes y turistas (McLennan 2009). La consecuencia es doble: además de enriquecer la experiencia educativa, el tiempo de los visitantes en el lugar será mayor, lo cual tiene implicaciones financieras por el potencial precio de las entradas y los ingresos por restaurante y mercadería de objetos.

Un asunto importante es que cada planetario debe ser muy preciso en sus presentaciones y evitar ofrecer actividades científicamente inexactas. Las pseudociencias pululan por todas partes y se filtran en varias formas. Otra cosa es la mitología cultural, en donde los planetarios pueden mostrar los contrastes entre la rica imaginación de los pueblos y la real explicación científica de los fenómenos.

Un planetario —especialmente si es de gran tamaño— debe renovarse constantemente y mantenerse actualizado en la moderna tecnología de la comunicación de las ideas; las audiencias son cada día mas diversas y complejas y están influenciadas por los medios de comunicación y los cambiantes programas multimedia. Los planetarios más exitosos se renuevan continuamente con el tiempo e integran los deseos y las expectativas del público mientras mantienen su misión educativa central.

Lo anterior es ahora particularmente relevante debido a la nueva tecnología de presentaciones digitales “full dome”, que ha llevado a plantear un nuevo concepto de planetario, asociado más a un “teatro del espacio” que ofrece un amplio rango de visiones artísticas del Universo que nos rodea y de las ciencias en general. Rápidamente los shows *full dome* se han convertido en los ideales para pre-

2. Los factores clave son curiosidad, confianza, reto, control y juego. Especialmente los niños gustan del juego y la interacción si sienten además que están haciendo algo importante. Si la necesidad es la madre de la invención, el juego es el padre de los descubrimientos (Burcaw 1997).





• Planetario de Medellín.

sentar la información científica más allá de la astronomía geocéntrica, los espectáculos de entretenimiento visual y auditivo, y las presentaciones en vivo. Además el apetito insaciable de los productores por mejor resolución del video hace inminente la obtención de estrellas digitales que le compitan al contraste del cielo opticomecánico. De allí la importancia de mantener a los planetarios en la frontera del desarrollo tecnológico de la presentación multimedia (Howe 2008).

## El objetivo: la educación

Muchos jóvenes se inclinaron hacia una carrera en ciencias o en tecnología por un temprano interés en la astronomía y el espacio. Y varios de los líderes científicos de la actualidad reconocen que escogieron sus carreras porque fueron cautivados en su etapa escolar por la experiencia de una visita a un planetario.

Las investigaciones señalan que los estudiantes gustan más de la astronomía que de otras ciencias. Los planetarios pueden facilitar el aprendizaje en la mayoría de los estudiantes que son incapaces de realizar un razonamiento abstracto. Los estudios de percepción han demostrado que quienes han asistido a una presentación atractiva recuerdan mucho mejor las ideas que cuando simplemente se las ha relatado o discutido<sup>3</sup>. Esto ha sido comprobado en diversos estudios, que llevan a la conclusión esencial: los planetarios educan, inspiran y le traen cultura a una ciudad o región bajo su influencia<sup>4</sup>.

3. Comparando el desempeño de escolares en diez temas, un estudio evaluó tres grupos: uno experimentó una clase de astronomía en el aula; el segundo una combinación de aula y planetario; y el tercero no tuvo ninguna instrucción de astronomía en el aula ni visitó el planetario. El resultado demostró que el grupo que experimentó el planetario obtuvo ventajas sobre los demás en todos los temas (Bishop 1992b).

4. En Estados Unidos, un estudio sobre las escuelas en el área Dallas-Forth Worth, con 12 Planetarios, vs. Austin con ninguno, demostró una ventaja significativa en los niños de 5° grado para el primer grupo en el área de ciencias de la Tierra. En otro sondeo a 200 educadores en el área de Austin, el 90% afirmaron que si se construyera un planetario definitivamente lo incluirían como parte del currículo. Una investigación sobre los programas ofrecidos por el Museo de Ciencias Naturales de Houston arrojó que entre los estudiantes que asistieron regularmente al Museo se elevó en un 11% su interés en una carrera científica. En un sondeo mundial con 750 profesores que usaron un planetario para la instrucción, se encontró que el 92% estaba de acuerdo en la utilidad del planetario en el estímulo a los estudiantes por la ciencia. En otro estudio se encontró que para el 80% de los estudiantes graduados del colegio

En conclusión, vivimos en una era de progresos científicos sin precedentes. El creciente impacto de la tecnología ha traído cada vez más las ciencias a nuestra vida diaria. El papel de las ciencias y las tecnologías es ahora decisivo en las sociedades actuales dependientes de los conocimientos tecnológicos para su supervivencia. Además, estamos en el Siglo XXI, la centuria de la exploración del espacio. Los primeros seres humanos que viajarán al planeta Marte, ya nacieron; pero antes tendremos turistas en la Estación Espacial, hoteles en órbita, nuevos viajes tripulados a la Luna con misiones de varias naciones. Ahora sí el conocimiento científico es una primera necesidad, especialmente en temas de astronomía, astronáutica, ciencias del espacio y ciencias de la Tierra; cuanto sepan los habitantes de una nación sobre el mundo que nos rodea, y cómo los Estados promueven las ciencias del espacio y su infraestructura, determinarán sin duda el papel de las naciones en este nuevo mundo que se aproxima.

Por todo esto, las escuelas tienen la responsabilidad de introducir la astronomía y ciencias del espacio en sus currículos; los planetarios, museos de ciencia y centros Interactivos deben ayudar a que este propósito sea una realidad; y a las entidades territoriales corresponde ayudar a construirlos.

## Referencias

- Bishop, J.E. (1992a), "Role and value of the planetarium", en United Nations, Department of Political Affairs, *Planetarium, a challenge for educators*, New York.
- Bishop, J.E. (1992b), "The educational value of the planetarium", en United Nations, Department of Political Affairs, *Planetarium, a challenge for educators*, New York.
- Burcaw, G. (1997), *Introduction to Museum Work*. Lanham, MD: Alta Mira Press.
- Croft, J. (2008), "Planetarium professionals: A balancing act to engage and educate", *Planetarian Journal*, December, International Planetarium Society.
- Howe, M. (2008), "The future of fulldome", *Planetarian Journal*, December, International Planetarium Society.
- McLennan, I.C. (2009), *Planetario de Bogotá, Colombia: Development prospects and options, A commissioned report*, Bogotá, Secretaría de Cultura Recreación y Deporte.

## Bibliografía adicional

- Clarke, T.R. (1992), "Philosophy and directions in planetarium programming", en United Nations, Department of Political Affairs, *Planetarium, a Challenge for Educators*, New York.
- Hessel, T. (2006), "Justification of a planetarium", *Planetarian Journal*, December, International Planetarium Society.
- Ka Chun Yu (2009), "Digital planetariums for geology and geography education", *Planetarian Journal*, December, International Planetarium Society.
- Martin, C. (2008), *Examining visitor attitudes and motivations at a space science center*, [Science Communication These], Spitz Planetarium Fund.
- Puerta, G. (1998), "La ciencia, la astronomía y el desarrollo en el siglo XXI", en *Encuentro Nacional de Astronomía RAC*, Pereira.
- Summers, C. (2000), "Quantification of students learning in the Museum, Planetarium and IMAX Theatre", *15th International Planetarium Society*, Montreal.



Ornitología y música



# Cantores... de plumas multicolores

ALFREDO DUQUE GARCÍA M.D.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN BOGOTANA  
DE ORNITOLOGÍA (ABO)

[fredyduque63@hotmail.com](mailto:fredyduque63@hotmail.com)

Una anécdota de la vida de Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) ha sido desempolvada de los archivos históricos por dos investigadores dedicados a la ornitología, disciplina encargada del estudio de los pájaros, en un artículo escrito para la revista científica *American Scientist* (West y King 1990). Mozart compra un estornino en una tienda de pájaros. Esta especie es originaria de Europa y conocida por su prodigiosa capacidad para el canto. El dato está consignado en la libreta de apuntes de gastos del compositor, fechada el 27 de mayo de 1784:

Un estornino, 34 kreutzer<sup>1</sup>. Debajo aparece una partitura con algunos compases de uno de los cantos que Mozart escuchó del pico del pájaro en cuestión ese día. A renglón seguido, aparece un elogioso comentario del compositor: “¡Muy bello!”.

El interés de los ornitólogos tiene mérito por contener algunas curiosidades. La escritura musical hecha por Mozart, corresponde casi con exactitud a la introducción del tercer movimiento del Concierto para piano y orquesta K 453, obra concluida un mes antes. La única diferencia es que la versión del pájaro cambia una nota *Sol* por un *Sol sostenido* ¿Cómo la había aprendido el estornino? Se sabe que estas aves son extraordinarias imitadoras de cantos de otros pájaros, de palabras o cantos de sus cuidadores, así como de sonidos presentes en el ambiente. Es tal su talento vocal que en las grabaciones donde los estorninos repiten palabras o frases de sus cuidadores, quienes las escuchan frecuentemente las confunden con voces humanas.

Diversas hipótesis se barajan en esta publicación. Mozart, quien gustaba de tararear y silbar música, ¿la pudo interpretar en la tienda que visitaba ocasionalmente, contando con un oyente emplumado de excelente memoria musical que la grabó en su cabeza? ¿Fue un truco del dueño de la tienda repetirle al pájaro lo que escuchó de labios del compositor? Se desconoce qué ocurrió, pero el pájaro ya entonaba apartes de una obra de Mozart, que no había sido publicada ni ejecutada en auditorio alguno al momento de la compra. Su gusto por las aves cantoras se remontaba a su infancia, época en que, según registros de su biografía, vivió con un canario en casa.

Luego de tres años de convivencia, Mozart se había encariñado a tal punto con el estornino que al momento de su muerte decidió organizar un funeral con un cortejo de invitados solemnemente vestidos, sepultarlo en el patio de su casa, y finalizar el ritual con la lectura de un poema póstumo escrito por él mismo. Tan solo una semana después del sepelio, el compositor escribió *Una Broma musical*, obra nutrida de motivos comparables al estilo de canto de los estorninos, según explican los autores del artículo.

1. Moneda alemana usada en la Viena de los tiempos de Mozart.

Figura 1.

Estornino,  
(*Sturnus vulgaris*),  
Tomado de  
<http://www.wildaboutbritain.co.uk/>



### Poema póstumo de Mozart a su estornino

Un pequeño tonto yace aquí  
A quien yo quería  
Un estornino en la flor de la vida  
De su breve tiempo  
Cuyo destino agotó  
La muerte es un dolor agrio...  
No era lo bastante travieso  
Sino divertido y brillante  
Y bajo su bravuconería  
Una burla insensata

## Pájaros y música

David Rotenberg, en su reciente libro *¿Por qué cantan los pájaros?* (que ha inspirado este artículo) escoge un subtítulo elocuente: “Viaje al misterio de la música de la naturaleza”. Sus investigaciones, que se sustentan en su formación no solo como filósofo y ornitólogo, sino como músico, le conceden autoridad para declarar que:

Los cantos complejos de los pájaros comparten muchas estructuras de la música humana: desde formas de organización hasta escalas y procedimientos de articulación... El sonido de los pájaros tiene muchos atributos similares a la música humana (repetición de notas, tema y variaciones, gorjeos virtuosos e impresionantes y adornos, escalas e inversiones...) ¿Por qué nunca nos cansamos de escuchar las sencillas melodías de los pájaros? Nadie que escuche de veras, del modo en que hay que hacerlo, podría considerar aleatorio el canto de los pájaros. Hay tono, ritmo, modelo, reposo (Rotenberg 2006)

Cita a Hartsborne, un investigador que encontró atributos de música humana en algunas partes del canto de las aves:

- *Accelerando*, en el gorrión llanero;
- *Ritardando*, en el tordo de cejas blancas;
- *Diminuendo*, en el misto de Suramérica;
- Relaciones armónicas en el *campanero crestado* de Australia;
- Tema y variaciones en el *chingolo bachean*.

De las interacciones que ha emprendido con los pájaros en el campo musical, algunas de las cuales quedan registradas en un CD de la edición en inglés, infiere que algunas especies (sinsontes, canarios y estorninos) aprenden cantos durante toda su vida, otros demoran seis años en aprenderlas —como el *Ave Lyra*—, y los menos virtuosos solo en su infancia. El *risueño tordo de cresta blanca* del aviario de Pittsburg le proporcionó, en el año 2000, la primera evidencia de que algunos pájaros, como los músicos virtuosos, sorprenden al oyente con improvisaciones. Aún más, en el caso de los estorninos, componen música, combinando sus propias melodías con sonidos del entorno.

## Músicos y pájaros

Los cantos de las aves han sido motivo de inspiración para otros compositores a través de la historia de la música occidental. Es más, dice José Luis García (2003), desde que el ser humano hace música ha tenido envidia de los pájaros queriendo imitar su canto... En el periodo Barroco, Couperin escribe *El Ruiseñor enamorado*; en el Clasicismo, Haydn aporta los cuartetos *La Alondra* y *El Pájaro*, y Luigi Boccherini, *La Pajarera*, un cuarteto para cuerdas.



Figura 2.

Colibrí,  
Laguna  
de Guatavita.  
Foto de Gloria E.  
Merino, Maestra  
de Bellas Artes,  
Universidad  
Nacional.

Ludwig (s.f.), el famoso biógrafo de Beethoven, describe la relación íntima de este compositor del periodo del Romanticismo, con la naturaleza. Con elocuencia dice:

Jamás artista alguno descansó en el regazo de la naturaleza, como éste. Acostumbrado al aire y al agua, volviendo siempre solo al bosque y al arroyo —aun en los días que se relacionaba con la sociedad—, se refugiaba el mudo testigo de Dios en el corazón; y si no podía percibir la voz de los pájaros, especialmente de la codorniz que antes había intercalado en su orquestación, su oído interior podía discernir los sonidos del viento, la lírica de las nubes, todas las armonías que flotan entre el cielo y la tierra.



Figura 3.

Colibrí  
Coruscans.  
Jardín  
Botánico,  
Bogotá. 2012.  
Foto: Alfredo  
Duque –  
Composición  
digital  
Socorro  
Antolínez.

Se dice de su Sexta Sinfonía, *La Pastoral*, que algunos temas proceden de sonidos de la naturaleza. “Al término de su Segundo Movimiento, *Escena en el arroyo*, hay un pasaje para trío donde la flauta, el oboe y el clarinete, interpretan melodías inspiradas en los cantos del *escribano cerillo*, la *codorniz* y el *cuco*” (Rotenberg 2006).

En el siglo pasado, el compositor Olivier Messiaen erigió el mayor monumento musical conocido a las voces de los pájaros. La primera de muchas obras, *Cuarteto para el fin de los tiempos*, se basa en una historia casi novelesca: Olivier, quien tenía 29 años de edad, hacía parte de un regimiento de la armada francesa en Verdún, en plena segunda guerra mundial. Allí hizo amistad con otros dos músicos, un violoncelista y un clarinetista. Cuenta que al amanecer se ocupaba de la observación de pájaros, oía sus cantos y los transcribía al pentagrama, costumbre que había iniciado en su adolescencia. Con la materia prima de esta información sonora fue avanzando en la composición de su obra. Invitaba a sus amigos a interpretar complicados pasajes musicales, y los animaba con su propio esfuerzo y virtuosismo a aproximarse al genuino canto de los pájaros. Este paréntesis de solaz musical fue abruptamente interrumpido por tropas alemanas que capturaron la soldadesca francesa en el bosque donde acampaban. Fueron llevados a un campo de concentración donde un alto oficial, por suerte melómano, se vio impresionado por el arte interpretativo de los reclusos, a quienes autorizó para reunirse a ensayar junto con un nuevo detenido quien resultó violinista. Messiaen sacó provecho de su cautiverio componiendo el cuarteto, una de sus más aclamadas obras, estrenada en enero de 1941 con asistencia de cientos de reclusos y una copiosa guardia pretoriana nazi (Rotenberg 2006).



## La siringe: órgano vocal desarrollado

Detrás de la misteriosa belleza del canto de los pájaros están un cerebro evolucionado y un sofisticado órgano generador de sonido: la siringe, el equivalente humano de la laringe. Este nombre proviene de las flautas griegas del dios Pan. La siringe de la mayoría de los pájaros tiene dos partes, o sea dos juegos de cuerdas vocales con capacidad de producir un sonido cada una. Esto explica que puedan emitir dos sonidos distintos a la vez. El resto del tracto vocal, desde la tráquea hasta el pico, modula la resonancia como una flauta. La emisión de sonidos requiere abrir y cerrar el pico; cuanto más alto sea el tono del sonido, tanto más se abre el pico del pájaro (Rotenberg 2006).

## Los canarios y la neurociencia

La investigación comparada entre cerebros humanos y animales se encuentra en auge en los últimos años, a tal punto que alrededor de cien laboratorios del mundo tienen su foco de atención en el estudio del cerebro de los pájaros. Hace tan solo siete años, la Brandeis University premió en el campo de la Investigación Médica Básica a Konishi, Marler y Nottebohm, por su trabajo pionero en la neurología del canto del pájaro. Las primeras aves, sacrificadas por desgracia en “beneficio de la ciencia”, fueron los

Figura 4.

Canario (*Sicalis flaveola*) a orillas del río Ribeira de Iguape, Brasil. Foto de Dario Sanches. Wikimedia Commons.



canarios. El resultado de la investigación muestra que cuando un canario aprende un canto nuevo, se producen nuevas neuronas en su cerebro. Las sofisticadas investigaciones indican que la neurona que está a punto de dividirse sintetiza nuevo ADN, el cual se marca con una sustancia radiactiva: la mitad del ADN marcado se deposita en el núcleo de la célula madre y la otra mitad en el núcleo de la nueva célula. Esta conclusión ha derrumbado un paradigma incólume por casi un siglo, defendido por el premio nobel español Ramón y Cajal, para quien las rutas nerviosas son algo fijo completo e inmutable, y las neuronas no se reproducen nunca (Rotenberg 2006).

## Si se calla el cantor...

De acuerdo con cifras de diversos investigadores, Colombia es la primera potencia mundial en aves. De las 10.000 especies de avifauna del planeta, 1.889 habitan en nuestro país (McMullan *et ál.* 2011), lo que arroja un abultado 19%. Como si fuera poco, en el curso de cada año nuestro territorio es visitado por alrededor de 300 especies distintas de aves que migran desde los extremos norte y sur del continente americano. Esto significa no solamente una altísima riqueza en términos de biodiversidad aviar sino que, habida cuenta de que la mitad de todas las aves del mundo pertenecen al orden *Paseriforme* (o de las aves cantoras), no existe ningún país donde haya tantos pájaros de este tipo y, por consiguiente, tanta diversidad de cantos. A la belleza de nuestro territorio, se suma la de sus aves y sus trinos.

La mala noticia es que, a la luz de investigaciones como la de Álvaro Negret (2001), "...a menos que se emprenda un drástico movimiento para salvar lo que queda de las selvas andinas, del Pacífico y de las cuencas amazónicas, la mayor parte del número de especies que caracterizan la megadiversidad de Colombia se extinguirá rápidamente". Según el autor, los factores principales de extinción de la avifauna son la deforestación de los hábitats naturales, el uso de biocidas (insecticidas, herbicidas y otros químicos), el comercio ilegal, la caza indiscriminada y las reforestaciones inadecuadas, entre otros. En consecuencia, de no emprenderse una política pública de protección, conservación y

restauración de sus hábitats, veremos cómo, poco a poco, se irán silenciando nuestros cantores de plumas multicolores. Para ampliar la información sobre especies amenazadas en Colombia, se puede consultar el *Libro Rojo de aves amenazadas* (Renjifo et ál. 2002).

## Referencias

- García, J.L. (2003), *Canta pájaro lejano*, ABC.es.
- Ludwig, E. (s.f.), *Biografía de Beethoven*, Disponible en <http://epdlp.com/texto.php?id2=3518>
- McMullan, M., Quevedo, A., Donegan, T. (2011), *Guía de campo de las aves de Colombia*, Fundación ProAves.
- Negret, A.J. (2001), *Aves en Colombia amenazadas de extinción*, Popayán, Editorial Universidad del Cauca, febrero.
- Renjifo, L. M.; Franco-Maya, A.M.; Amaya-Espinel, J.D.; Kattan, G.H. y López-Lanús, B. (2002) (eds.), *Libro rojo de aves de Colombia*, Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia, Bogotá, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Ministerio del Medio Ambiente. Disponible en [http://www.humboldt.org.co/conservacion/libros\\_rojos/LR\\_aves.htm](http://www.humboldt.org.co/conservacion/libros_rojos/LR_aves.htm)
- Rotenberg, D. (2006), *¿Por qué cantan los pájaros?*, España, Barrabes.
- West, M. y King, A. (1990), "Mozart's Starling", *American Scientist*.



# pagosonline

El pago seguro en internet



Vende fácilmente por internet con toda tranquilidad, usando la más avanzada tecnología en detección contra el fraude electrónico.

Contáctanos ya en:  
[www.pagosonline.com](http://www.pagosonline.com)

P B X (+1) 756 31 26



Recibimos tus pagos por medio de:



# Nanopartículas: ¿una nueva fuente de contaminación?

Parte II. Situación después de la primera década del siglo XXI

LUCERO ÁLVAREZ MIÑO

FÍSICA Y MAESTRÍA EN FÍSICA, UNIVERSIDAD  
ESTATAL DE JARKOV, UCRANIA  
MAESTRÍA EN CIENCIAS-FÍSICA, UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE BOGOTÁ  
PROFESORA ASOCIADA, UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MANIZALES

[lavarezm@unal.edu.co](mailto:lavarezm@unal.edu.co)

## Introducción

Continúa el debate alrededor del interrogante planteado. Los actores involucrados en estos desarrollos y aplicaciones no parecen aún estar de acuerdo en cuanto a la influencia de los productos de la nanotecnología sobre el medio ambiente. Esta discusión interesa no sólo a miembros de la comunidad científica, sino también a empresas y gobiernos. Y debería convocar a los ciudadanos en general, quienes, consciente o inconscientemente, están comenzando a consumir nano-productos de manera tal, que se proyecta la masificación de la nanotecnología para el año 2020 (Goddard III *et ál.* 2012).

El texto a continuación busca actualizar un escrito con título homónimo publicado cuatro años atrás (Álvarez 2008). Inicialmente se retoman algunos términos y técnicas relacionados con la nanotecnología. Luego se presentan resultados recientemente publicados sobre efectos de nanomateriales en seres vivos para culminar con una reflexión alrededor de los desechos de esta nueva tecnología.

## Revisión de conceptos

Según la Agencia Científica Nacional de los Estados Unidos y la NNI (National Nanotechnology Initiative, Estados Unidos, 2012),

La nanotecnología es la habilidad de entender, controlar y manipular la materia al nivel de átomos individuales y moléculas, así como a nivel “supramolecular” incluyendo aglomerados de moléculas (de entre 0,1 y 100nm), para crear materiales, dispositivos y sistemas con propiedades y funciones fundamentalmente nuevas, debidas a su estructura pequeña (Roco 2007).

Así, una nanopartícula (NP, de aquí en adelante) se puede definir como una partícula individual de dimensiones menores a 100nm (Borm *et ál.* 2006). En general se considera que un dispositivo es nano-estructurado cuando alguna de sus dimensiones está en el rango de unos cuantos nanómetros. Las siguientes comparaciones pueden ayudar a imaginar la escala de tamaños en la que funciona la nanotecnología:

- El grosor de una página de periódico es de unos 100.000 nanómetros (NNI, 2012).
- Si el diámetro de una moneda de 50 pesos colombianos equivaliera a un nanómetro, el diámetro terrestre equivaldría a un poco menos que un metro.

Las NP se clasifican según su origen en tres grandes grupos (Borm *et ál.* 2006). El primer grupo lo conforman las NP producidas de manera natural durante erupciones volcánicas, incendios o pueden provenir del espacio exterior. En el segundo grupo se encuentran las fabricadas por el hombre de forma no intencional durante, por ejemplo, procesos de combustión. Su número aumentó con el uso extensivo del carbón y derivados del petróleo. Por último, están las manufacturadas intencionalmente y son las que están tomando más relevancia.

En el segundo grupo se ubican también las NP producidas accidentalmente, para fines estéticos, por civilizaciones antiguas como la maya. Estudios sobre el llamado “azul-maya” han permitido determinar que tal color se obtenía gracias a que los artistas mayas mezclaban la planta de añil o índigo con greda local logrando incrustar impurezas, principalmente metálicas y provenientes del añil, en intersticios de la greda. Estas impurezas tenían el tamaño (nano), forma y distribución adecuadas para obtener el tono azul característico de los murales, cerámica y amates (tipo de papiro) que aún se preservan (Ashby *et ál.* 2009). Los mayas, los artesanos árabes, los europeos del Medioevo y del Renacimiento no fueron conscientes del tamaño del material con el que creaban sus obras, pues no contaban con las herramientas necesarias para examinarlo.

## Instrumentos de la nanotecnología

El físico estadounidense Richard Feynman, en su discurso “Existe suficiente espacio en el fondo” (Goddard III *et ál.* 2012), argüía que tal vez el principal impedimento para la manipulación de los átomos y moléculas era que no podíamos observarlos. Esto se hizo posible en la segunda mitad del siglo pasado con la invención de microscopios, como el electrónico de barrido o el de tunelamiento cuántico, por mencionar un par de posibilidades. Ambos microscopios se basan en propiedades o fenómenos mecánico-cuánticos. En la microscopía electrónica de barrido, el haz de electrones despliega sus propiedades ondulatorias. Uno de los fundamentos de la mecánica cuántica es el llamado dualismo onda-partícula según el cual la velocidad de un electrón, que es una característica de partícula, se puede asociar con una determinada longitud de onda del electrón-onda. En un microscopio electrónico, el haz de electrones que se propaga en el vacío es la “luz” que nos permite observar objetos muy pequeños.

Por otro lado, la microscopía de tunelamiento cuántico, además de permitir estudiar superficies, es una herramienta para la modificación de las mismas. Se basa en la posibilidad de generar una corriente electrónica entre una punta de tamaño atómico y una superficie. La explicación de la aparición de esta corriente es un fenómeno llamado efecto túnel. En principio los electrones necesitarían de un cierto valor umbral de energía para pasar de la punta a la muestra. Sin embargo, bajo ciertas condiciones lo logran con menos energía: es como si, en lugar de remontar una montaña, se la atravesara por un túnel. La capacidad de observar permite fabricar y caracterizar los productos finales de la nanotecnología.

Además están los métodos específicos de producción a nanoescala. Entre estos se encuentran diversos tipos de litografías con las cuales se “dibuja” sobre una superficie el patrón que se desea, técnicas de deposición por evaporación química, ablación láser (cuando un láser muy potente funde un blanco), descargas de arco, reducción de óxidos. Finalmente se obtienen los diversos dispositivos, (nanopartículas, nanoestructuras, nanorobots, etc.) y se exploran sus potenciales aplicaciones. De acuerdo con el Director del Comité de Ciencia a Nanoescala del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de los Estados Unidos, Dr. M.C. Roco, las etapas de desarrollo, comercialización y uso por el público en general de la nanotecnología se pueden esquematizar según la Figura 1 (Roco 2011). Se espera que se produzca una gran sinergia entre las nuevas tecnologías, lo cual acarreará nuevos retos y riesgos que vale la pena sopesar. Por ejemplo, ya se están dando los primeros pasos en la dirección de manipulación genética, que corresponde a la biotecnología, con herramientas desarrolladas en la nanotecnología. Esta convergencia de tecnologías es posible, pues la nanotecnología trabaja directamente con los átomos, abriendo la posibilidad de fabricar a partir de ellos lo que se desee, como pueden ser moléculas de ADN (Grupo ETC 2004).

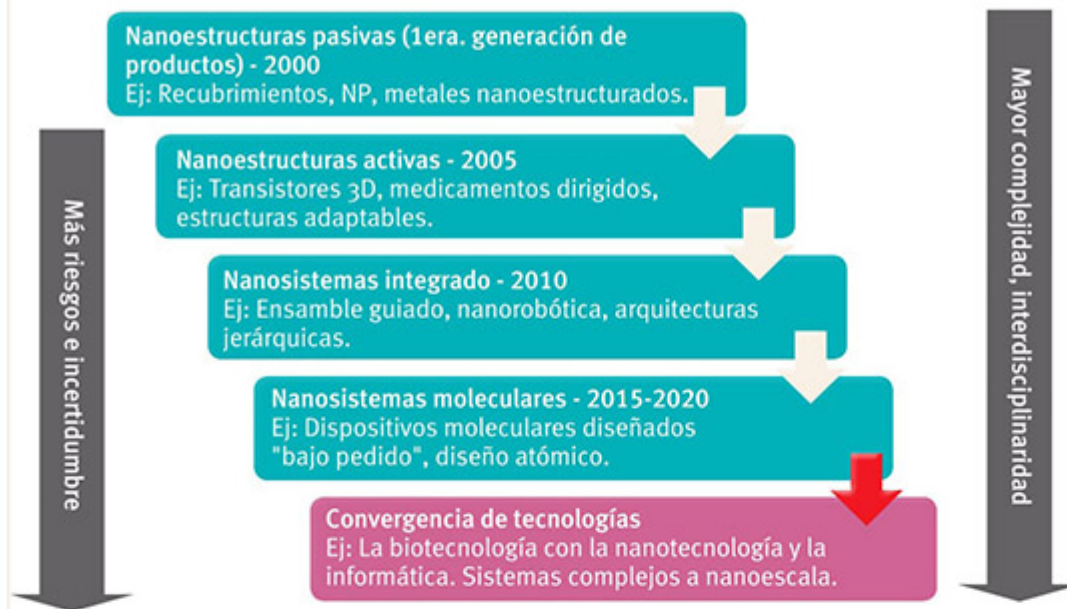


Figura 1.

Proyección del desarrollo de la nanotecnología. Adaptado de Roco (2011).

## ¿Por qué la nanotecnología?

Hablando de nanotecnología lo primero que se debe tener en cuenta es que las propiedades de un material se determinan en buena parte por sus longitudes características:

...un solo gramo de material de catálisis (usado para acelerar las reacciones químicas), conformado por partículas de diez nanómetros de diámetro, es cien veces más reactivo que la misma cantidad del mismo material formado por partículas que midan una micra de diámetro (Grupo ETC 2004).

La razón detrás de esta gran actividad química es que en una NP la relación superficie-volumen es muy grande, más material se encuentra disponible para interactuar. Los nanotubos de carbono (Figura 2) pueden ser desde buenos conductores eléctricos, como el cobre, hasta semiconductores como el silicio, dependiendo de su radio y su estructura (de paredes simples, dobles, etc.).

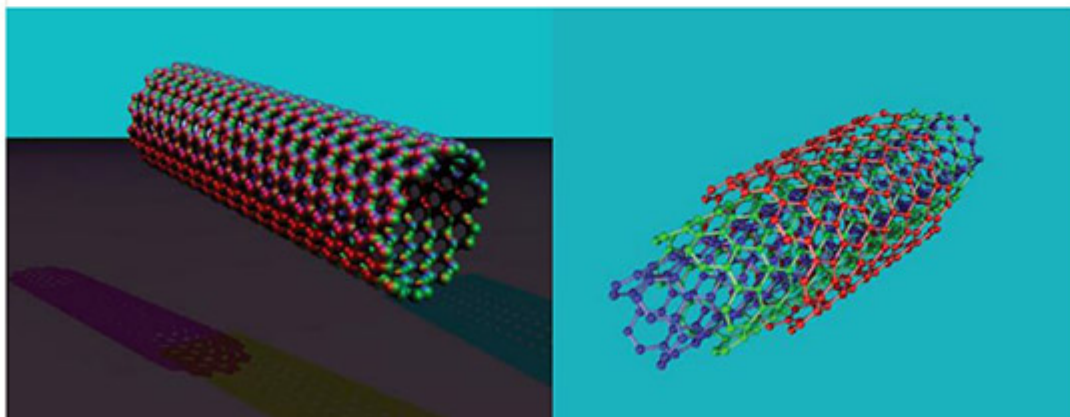


Figura 2.

Nanotubos de carbono (a) de pared simple y (b) de multi-paredes. Autor: Eric Wieser. Fuentes: (a) [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbon\\_nanotube\\_armchair\\_povray.PNG](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Carbon_nanotube_armchair_povray.PNG) y (b) [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Multi-walled\\_Carbon\\_Nanotube.png](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Multi-walled_Carbon_Nanotube.png)

El óxido de titanio,  $TiO_2$ , que se usa en protectores solares, si es nanoparticulado es transparente, mientras a tamaños mayores se torna de color blancuzco. Es decir, las propiedades ópticas del  $TiO_2$  varían con las dimensiones de la muestra. La nanotecnología abre una nueva puerta para la ciencia de materiales.

La medicina es otra de las áreas donde existen muchas expectativas: se espera poder realizar no sólo diagnósticos más precisos sino también tratar enfermedades, como tumores, células cancerígenas, de manera más directa, evitando dañar tejido sano. La idea es que un determinado medicamento sea liberado exactamente en la región donde se presenta una patología. Esto gracias a nanorobots que viajarán por el organismo, cual naves tripuladas, y llegarán al órgano específico que requiere reparación. Las increíbles posibilidades de explorar el cuerpo humano y, como en una película de ciencia ficción, llevar el medicamento justo en la justa medida, son muy interesantes, pero... ¿y cómo se eliminará el nanorobot después de la misión? Pues, por su tamaño, estos nanodispositivos pueden atravesar la membrana celular.

Aunque son evidentes las opciones que las NP permitirían, también es prudente examinar sus peligros inherentes. En la siguiente sección se presentan algunos resultados de investigaciones, especialmente a partir del año 2008, sobre la influencia en el medio ambiente de la nanotecnología.

## El debate continúa

Las nuevas tecnologías permiten el análisis más detallado de actividades de la vida cotidiana logrando detectar más NP producidas involuntariamente. En la Tabla 1 (Buzea *et ál.* 2007) se presentan algunas cifras reveladoras a este respecto. Entonces, además de las NP naturales, están las producidas artificialmente de manera involuntaria y hay que agregar las manufacturadas, fabricadas intencionalmente.

Tabla 1.

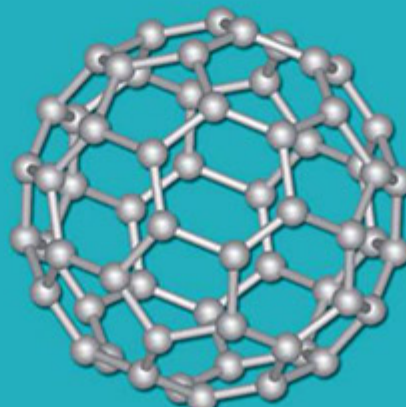
Algunas fuentes no intencionadas de nanopartículas y su concentración (Buzea *et ál.* 2007).

Fuente de NP	Concentración, NP/cm <sup>3</sup>
Cigarrillo	213300
Aspiradora	38300
Ambientador	29900

Sean unas u otras, la precaución es obligatoria tomando en cuenta la capacidad de las NP de afectar las células vivas. Así, partículas ultrafinas (una partícula ultrafina es aquella producida generalmente sin intención y cuyo tamaño es menor a los 100nm) se han encontrado inclusive en la mitocondria, el órgano que suministra la energía a la célula. Los fullerenos C60 (Figura 3), moléculas formadas por 60 átomos de carbono, tienen diámetros de alrededor de 1nm y pueden atravesar la membrana celular tal vez por poros de la misma o por canales iónicos, habiéndose detectado en la membrana nuclear y dentro del núcleo mismo (Buzea *et ál.* 2007). La contaminación de las células por NP puede provocar su mal funcionamiento y hasta su muerte.

Figura 3.

Estructura del fullereno C60. Fuente: lMeowbot <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fullerene-C60>.



Las NP más populares son tal vez las de plata, pues son las más comercializadas: desde pesticidas hasta prendas de vestir. Su atractivo es su propiedad germinicida y su peligrosidad radica en que principalmente son eliminadas a través del sistema de acueductos de las ciudades para terminar en ríos y mares (Benn & Westerhoff 2008). De allí el interés por entender su impacto en especies marinas. Los experimentos realizados en embriones de peces cebra (Asharani *et ál.* 2008) mostraron que la toxicidad de las NP de plata depende de la dosis. Los embriones expuestos a las NP mostraron problemas fisiológicos y deformaciones (Figura 4) y la tasa de mortalidad aumentó con el incremento de la concentración de las NP. Recientemente (Suresh *et ál.* 2012) se ha encontrado que este efecto tóxico puede provenir, más que de la propia partícula, del recubrimiento que resulta durante su producción. Es decir, la toxicidad de las NP de plata está correlacionada con varios parámetros: cantidad (o concentración), tamaño, forma, recubrimiento. Es necesario un estudio sistemático de estos y otros factores para alcanzar un entendimiento más completo de lo que realmente pueden provocar las NP manufacturadas una vez son liberadas, intencionalmente o no, al medio ambiente.

Las siguientes nanoestructuras más populares son los, ya mencionados, nanotubos de carbono. El Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de los Estados Unidos (NIOSH 2009) reportó sobre ellos, entre otros hallazgos en experimentos con ratones, que nanotubos de carbono de pared simple pueden causar granulomas pulmonares, mientras que la misma masa en partículas ultrafinas de carbono resulta inofensiva. Esta es una demostración más de lo inesperadas que son las propiedades de los materiales en función de su tamaño. La misma agencia menciona que tanto los nanotubos de pared sencilla como los de paredes múltiples afectan el sistema respiratorio de los roedores provocando fibrosis e inflamación pulmonar respectivamente. Por esta razón en algunos países, como en los Estados Unidos, se han establecido estándares de dosis máximas de nanotubos de carbono a las que se puede exponer el ser humano.

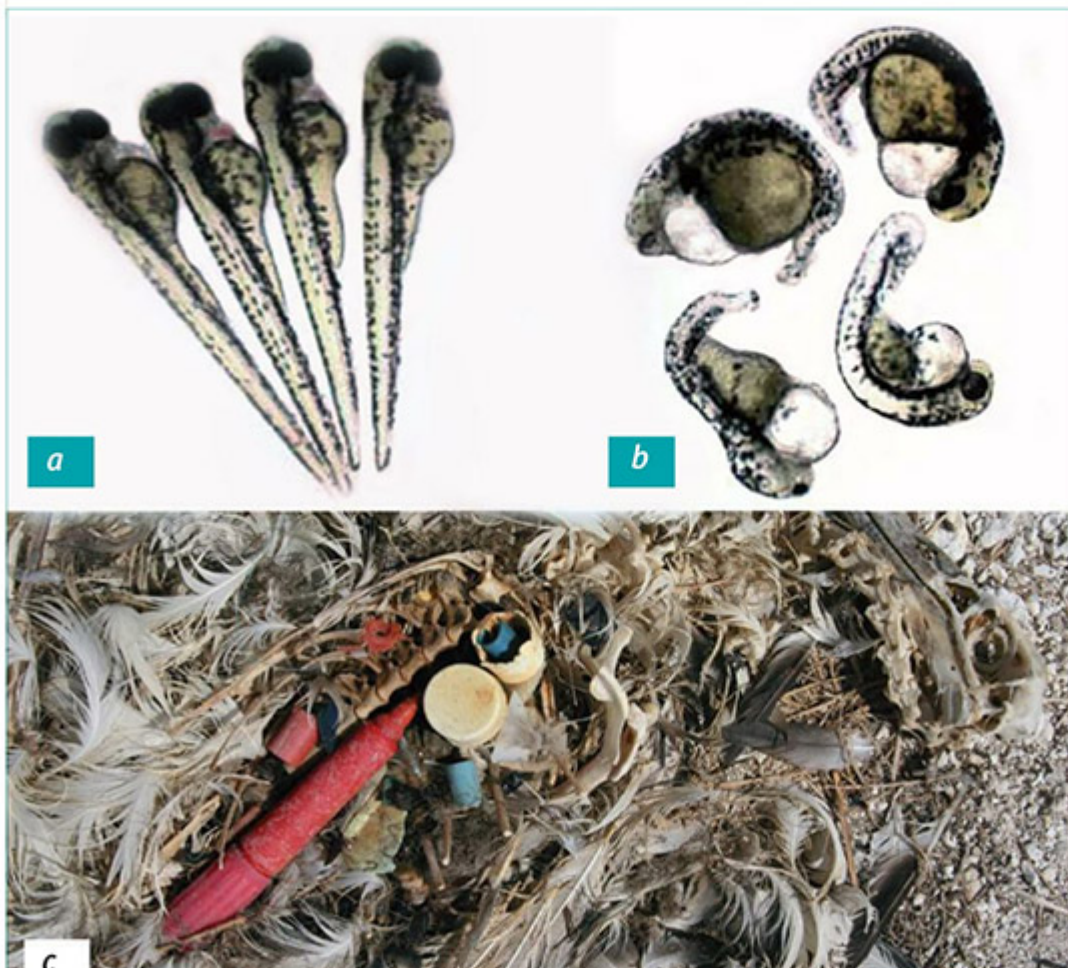


Figura 4.

Embriones de pez cebrá, después de 72 horas de fertilización, (a) sin exposición a NP de plata y (b) expuestos a una concentración de 100 microgramos por mililitro, mostrando deformaciones. Las líneas negras representan 200 micrómetros. (Asharani *et ál.* 2008). La imagen (c) es de los restos de un polluelo de albatros muerto por la confusión de alimento con desechos plásticos. Autor: Duncan Wright. Fuente (c) USFWS [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albatross\\_chick\\_plastic.jpg?uselang=es](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Albatross_chick_plastic.jpg?uselang=es)

Concluida la primera década del siglo XXI, aún no existen verdaderos acuerdos sobre los efectos nocivos que sobre la vida pueden acarrear las NP, pero no por ello su comercialización se ha visto minada. Si bien se han implementado estándares, en general se percibe que la evaluación de los riesgos está relegada con respecto al mercadeo de los nano-productos.

## ¿Nano-desperdicios?

En el artículo previo de la misma autora, se señalaban algunas investigaciones que estaban siendo consideradas por la comunidad científica para comprender mejor las propiedades físico-químicas de las NP, determinantes en buena parte de su toxicidad, y cómo manejar los subproductos y desperdicios de esta nueva tecnología.

De acuerdo con la NNI (2011), se han realizado avances en temas como la identificación de grupos e individuos expuestos a NP, caracterización de lugares de trabajo de fabricación de nanomateriales, clasificación de la exposición según el material, y han surgido nuevos interrogantes y líneas de investigación:

- Establecer estándares para detectar NP en el sitio de su producción, y proteger la salud de quienes las manipulan.
- Despertar un mayor interés en los investigadores de la nanotecnología por el aspecto toxicológico de los nuevos materiales que están creando.
- Determinar los “ciclos de vida” de los nanomateriales, incluyendo sus procesos de degradación y cómo funcionan cuando se aglomeran.

La NNI (2011) llama la atención sobre la incorporación de simulaciones computacionales de las NP que permitan prever su comportamiento individual, así como también en agregados/aglomerados. Esta recomendación suena plausible como una aplicación del principio de precaución. De acuerdo con este principio (Álvarez 2008), todos aquellos involucrados en nanotecnología deberían asumirla desde una perspectiva lo más integral posible:

...los gobiernos tienen la responsabilidad de tomar acciones preventivas para evitar daños a la salud humana o al ambiente, antes de que se haya establecido una certeza científica de daño alguno. Bajo el Principio de Precaución, es el proponente de una nueva tecnología quien debe asumir la carga de ofrecer pruebas, no el público (Grupo ETC 2004).

El principio de precaución no ha sido aplicado suficientemente en oportunidades anteriores siendo prueba de ello las nefastas consecuencias que, para la vida, ha traído la introducción de algunos materiales en el pasado. Un ejemplo es el uso excesivo del plástico que reemplazó, en muchos casos, el papel o el vidrio. Los objetos plásticos son prácticamente considerados desechables y por ende su ciclo útil es muy corto, finalizando mayormente incinerados (contaminando el aire) o en los océanos. Ya diversos investigadores y medios han alertado sobre las famosas “islas de plástico” (Figura 4, c): “La cantidad de fragmentos de plástico que flota en el noreste del Océano Pacífico se multiplicó por cien en los últimos 40 años” (BBC 2012). Estas islas de basura se pueden observar a simple vista, pero simultáneamente el plástico que las forman se degrada debido a la luz solar, el oleaje, dando origen a micro y NP, no detectables por el ojo humano. El poliestireno (conocido en Colombia como icopor) es un tipo particular de plástico (polímero) que fácilmente se fragmenta. Según reportan investigadores suecos (Cedervall *et al.* 2012), la ingesta de NP de icopor por peces parece provocar desde cambios de comportamiento, como aletargamiento, hasta cambios fisiológicos, como alteración del metabolismo de las grasas.

Sin duda las NP, y en general el material nanoestructurado, abren posibilidades increíbles, como las cirugías con nanorobots, pero la comercialización ha ido más rápido que la aplicación del Principio de Precaución. Así, en el mercado se han introducido las NP desde cosméticos hasta en lavadoras (Álvarez

2008), una clara muestra de cómo productos con estos nuevos componentes ya están en circulación, mientras miembros de la sociedad civil claman por mayores estudios previos. Este uso comercial de las NP ha postergado la solución a interrogantes que sería conveniente resolver oportunamente. Por ejemplo, ¿es realmente necesario agregar NP de plata a electrodomésticos y prendas de vestir, para eliminar todo germen? ¿No es tal vez más razonable seguir con los detergentes, ya de por sí cuestionados, que se venían utilizando para estos menesteres? En el caso colombiano, aparte de investigaciones fundamentales en nanotecnología, ¿en qué va la legislación en cuanto al control de producción, uso y protección de la salud de quienes trabajan en esta área? ¿No sería más prudente detenerse un poco y reflexionar?

## Referencias

- Álvarez, L. (2008), Nanopartículas: ¿una nueva fuente de contaminación?, *Innovación y Ciencia*, **15**(3):80-86.
- Asharani, P.V.; Wu, Y.; Gong, Z.; Valiyaveetil, S. (2008), "Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models", *Nanotechnology* **19**:25, 255102:1-8.
- Ashby, M.F.; Ferreira, P.; Schodek, D. (2009), *Nanomaterials, nanotechnologies and design: An introduction for engineers and architects*, Oxford, Butterworth-Heinemann.
- BBC (2012), recuperado el 28 de junio de 2012 de [http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/05/120509\\_plastico\\_oceano\\_am.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/noticias/2012/05/120509_plastico_oceano_am.shtml)
- Benn, T. y Westerhoff, P. (2008), "Nanoparticle Silver Released into Water from Commercially Available Sock Fabrics", *Environ. Sci. Technol.*, **42**:4133-4139.
- Borm P.; Robbins, D.; Haubold, S.; Kuhlbusch, T.; Fissan, H.; Donaldson, K.; Schins, R.; Stone, V.; Kreyling, W.; Lademann, J.; Krutmann, J.; Warheit, D.; Oberdorster, E. (2006), "The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC", *Particle and Fiber Toxicology*, **3**:11.
- Buzea, C.; Blandino, I.; Pacheco, I.; Robbie, K. (2007), "Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity", *Biointerphases* **2**: issue 4: MR17- MR172.
- Cedervall, T.; Hansson, L.; Lard, M.; Frohm, B.; Linse, S. (2012), "Food chain transport of nanoparticles affects behaviour and fat metabolism in fish", *Plos One* **7**(2)e32254:1-6.
- Goddard III, W.; Brenner, D.; Lyshevski, S.; Iafrate, G. (2012), *Handbook of nanoscience, engineering, and technology*, Third edition, USA, Taylor&Francis Group.
- Grupo ETC (2004), *La inmensidad de lo mínimo: Breve introducción a las tecnologías de nano escala*, Recuperado el 8 de noviembre de 2012 de <http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/102/02/littlebdespanol.pdf>
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH 2009), *Approaches to safe nanotechnology*, DHHS (NIOSH) Publication.
- National Nanotechnology Initiative (NNI 2011), *Environmental, Health, and safety Research Strategy*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comité de Ciencia, Subcomité de Ciencia a Nanoescala, Ingeniería y Tecnología, Estados Unidos.
- National Nanotechnology Initiative, [Definición de nanotecnología], Recuperado el 25 de junio de 2012 de <http://www.nano.gov/nanotech-101/what/definition>
- Roco, M.C. (2007), *Handbook on Nanoscience, Engineering and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed., Taylor and Francis, Pre-print.
- Roco, M.C. (2011), The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years, *Journal of Nanoparticle Research* **13**:427-44.
- Suresh, A.; Pelletier, D.; Wang, W.; Morrell-Falvey, J.; Gu, B.; Doktycz, M. (2012), "Cytotoxicity induced by engineered silver nanocrystallites is dependent on surface coatings and cell types", *Langmuir* **28**:2727-2735.

Ver para conocer, conocer para preservar

Este es un ejemplar de la gran familia de las ardeidas, aves pelicaniformes, conocidas comúnmente como garzas, fotografiado en la laguna de N\_gn\_. Las más de 60 especies están distribuidas en todo el mundo.





## TORTUGAS

La de la izquierda, una Hicotea con su característica mancha roja por encima del ojo. Viven en zonas cenagosas de Colombia y el sur de México.

FOTOGRAFÍAS DE CARMEN HELENA CARVAJAL

# Sitios web

1.



**FRANCIA EN LÍNEA**

Contenidos ↓

Energía medio ambiente

Transporte

Industria

Tecnologías de la comunicación

Bienes de consumo

Portada del sitio

**Francia en Línea**

El Portal de la innovación Francesa

Este portal Francia en Línea busca ampliar el conocimiento sobre Francia, facilitando el acceso a la información científica, sobre innovación, técnica y de investigación y desarrollo de las empresas francesas en el mundo, en español.

Toda la información disponible en esta página es libre de uso.

Si usted ha utilizado los contenidos de esta página infórmenos al correo [prensa@franciaenlinea.net](mailto:prensa@franciaenlinea.net), además de obtener información adicional y responder a sus preguntas.

¡Gracias!

Síguenos en Twitter: [@franciaenlinea1](https://twitter.com/franciaenlinea1)

Síguenos en Facebook: Francia en Línea

Quénes somos

Energía y Medio Ambiente

Transporte

Industria y Equipos

Tecnologías de la Información y la Comunicación

Bienes de Consumo

Agroindustrial - Agroalimentario

Polos de Competitividad

Educación

Espacio de Prensa

Servicios

Ferias y Salones

## Portal Francia en Línea

<http://franciaenlinea.net/spip.php?sommaire>

El portal *Francia en Línea* —que reúne los esfuerzos de los consejeros de comercio exterior franceses, Ubifrance, la Consejería Económica de la Embajada de Francia en Colombia y la Cámara Colombo Francesa de Comercio e Industria— pretende promocionar en Colombia informaciones francesas en lo que respecta a la innovación, la investigación y el desarrollo tecnológico. Allí se encuentran diversos materiales en español sobre investigación, innovación, y desarrollo tecnológico de las empresas francesas en el mundo.

Toda la información disponible en esta página es libre de uso.

**Panorama del mercado Agropecuario**

	Val*	Var(%)
Tasa de cambio(\$/US)	1,795.0	-0.1 +
Algodón (Civs. \$/US/b)	83.5	-0.5 +
Azúcar 5 (\$/US/ton)	499.8	-0.1 +
Azúcar 11 (Civs. \$/US/b)	16.5	0.0 -
Cacao (\$/US/ton)	2,453.2	-1.1 +
Café (Civs. \$/US/b)	161.0	-1.8 +
Ganado (\$/kilo)	2,727.8	1.3 +
Moliz Amarillo (\$/US/ton)	250.3	-1.3 +
Moliz Blanco (\$/US/ton)	323.0	0.0 -
Soya (\$/US/ton)	542.5	0.2 +
Tiigo HRW (\$/US/ton)	312.5	-0.3 +
Tiigo SRW (\$/US/ton)	291.4	-0.2 +

**Tasa de cambio (\$/US) (mensual) (diario)**

Fuente: Banco de la República

**Celuagronet**

- 1 Regístrate ahora
- 2 Recibirás mensajes de texto en tu celular con información actualizada del sector agropecuario

**Servicio totalmente gratis**

**Idioma**

UK, FR, DE

**Destacadas**

Principales Noticias del Sector Agropecuario

## Red de información y comunicación del sector agropecuario

[www.agronet.gov.co](http://www.agronet.gov.co)

La red de información y comunicación del sector Agropecuario —AGRINET— es una iniciativa que surgió en el año 2006 en el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con el apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Esta red nació con el propósito de proveer información estratégica oportuna y sintética a los diferentes actores del sector agropecuario colombiano, con un énfasis especial en los pequeños y medianos productores, tarea que se ha venido cumpliendo gracias a su fortalecimiento reciente y que le ha permitido registrar, en el mes de septiembre del presente año, más de 26.000 visitas efectivas a su página web, con una tendencia creciente en el número de accesos en lo que va corrido del año.

En los últimos seis años, AGRONET se ha venido consolidando como una de las herramientas tecnológicas más consultadas del sector agropecuario en Colombia, gracias al esfuerzo realizado por el Ministerio en el mantenimiento y permanente actualización de la información, así como en la búsqueda de soluciones a la medida de los diferentes usuarios. El posicionamiento alcanzado por AGRONET evidencia la necesidad de actualizar continuamente la plataforma de información, con el fin de brindar a los usuarios un mejor y más ágil servicio. Dispone para ello de la plataforma informática de la intranet gubernamental, la cual otorga un gran respaldo y soporte técnico, gracias a un servidor de gran capacidad y un canal de internet de alta velocidad que facilita la consulta de grandes volúmenes de información.

Como parte del Plan Nacional VIVE DIGITAL COLOMBIA, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural está comprometido con la ampliación de la base de los usuarios del sector que puedan acceder a los servicios de información disponibles en AGRONET de forma fácil, ágil y oportuna, extendiendo los servicios de capacitación, implementación de la estrategia Celuagronet y utilización de TIC, a fin de llevar información sobre las principales variables del sector por medio de mensajes de texto vía celular a los productores agropecuarios, como apoyo a la toma de decisiones.

Entre los logros alcanzados por la red AGRONET, durante lo corrido de este año, se destacan: el posicionamiento como la principal fuente de consulta del sector agropecuario (más de 213 mil accesos con corte a octubre/2012), un galardón por parte de MinTIC como el mejor aplicativo móvil para trámites de gobierno en 2012, y el envío de más de 2,7 millones de mensajes de texto en 2011 y 1,7 millones en lo corrido de 2012, a los más de 160 mil productores inscritos.

AGRONET cuenta con una biblioteca digital, reportes climatológicos diarios, documentos de política pública, boletines estadísticos, una sección de agronegocios, 44 bases de datos con información sobre producción agropecuaria, costos de producción, precios de mercado, comercio exterior, entre otros. Esto ha llevado a que AGRONET se consolide como uno de los portales más consultados del sector agropecuario en Colombia.

De otra parte, AGRONET lidera la Red de Información Documental Agropecuaria de Colombia-RIDAC, iniciativa que busca promover la gestión y el acceso a la información científica, técnica y académica del sector primario, a través de acciones que permitan optimizar los recursos disponibles para la difusión y transferencia de conocimiento generado por trece entidades vinculadas. Ellas son: UDCA, CORPOICA, CENICAFÉ, UNIMINUTO, UTP, MADR, FEDEPALMA, AUGURA, LA SALLE, EL POLITÉCNICO, UNILLANOS, CENICAÑA y UNIAGRARIA.

En cuanto a las estrategias de difusión y capacitación, a la fecha hemos podido capacitar en las estrategias Agronet y Celuagronet a más de 40.000 beneficiarios pertenecientes al sector rural colombiano y mantenemos informados a nuestros usuarios registrados a través de Facebook: Agronet-MADR y en Twitter: @agronetmadr

AGRONET *Comunicación con transparencia al servicio del campo*  
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

Avenida Jiménez 7 A – 17  
[www.minagricultura.gov.co](http://www.minagricultura.gov.co)



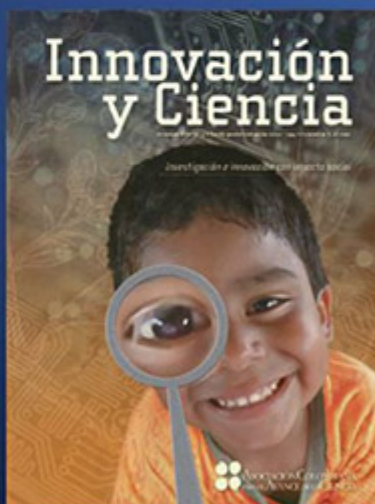
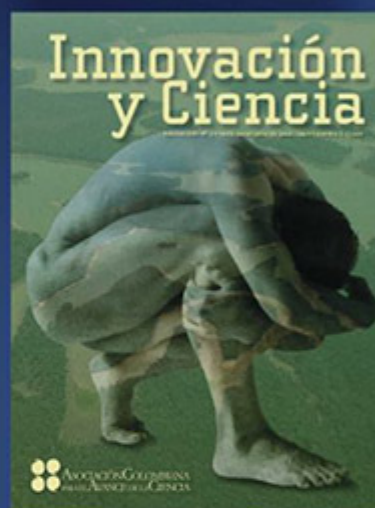
# Suscríbase a la Revista Innovación y Ciencia

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, entidad privada sin ánimo de lucro, que desde hace más de 41 años trabaja por la ciencia, la tecnología, la sociedad y la innovación en Colombia, publica trimestralmente su revista *Innovación y Ciencia*, cuyo objetivo primordial es informar en un lenguaje sencillo los últimos adelantos realizados por importantes científicos e investigadores del país y del mundo.

Esta publicación, que circula desde 1992, con un tiraje de 5.000 ejemplares, está dirigida a empresarios, profesionales, científicos, docentes, estudiantes, y en general a todos los lectores no especializados que buscan una ilustración seria, amena y accesible sobre estos temas.

## Precios

- Valor de la suscripción por un año, fuera de Bogotá \$65.000, incluye costo de envío.
- Valor de la suscripción por un año, para Bogotá \$55.000, incluye costo de envío.
- Consignación en: **BANCO DE OCCIDENTE CUENTA DE AHORROS N° 26880746 – 8**, a nombre de La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, solicitamos enviar copia de la consignación con el sello del banco legible al telefax (1) 221 9953.
- Usted puede cancelar también con tarjeta débito o crédito.



Publicación de la

## Informes

Teléfonos: 221 4631 - 315 0734  
E-mail: [Innovacionyciencia@acac.org.co](mailto:Innovacionyciencia@acac.org.co)



USTED PUEDE SER PARTE  
DE LO QUE SOMOS

## ASÓCIESE

Ser miembro de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, le permite participar en actividades científicas, tecnológicas y de capacitación permanente y desarrollo profesional, estar actualizado por medio de publicaciones periódicas y eventos sobre los últimos avances nacionales e internacionales, y en general acceder a los diferentes beneficios que la membresía le confiere.

### CATEGORÍAS

#### 1. Titulares

Naturales: \$ 100.000 / Jurídicos: \$ 440.000

#### 2. Adherentes

Naturales: \$ 66.000 / Jurídicos: \$ 290.000

Las instituciones educativas de básica y media, se clasifican en esta categoría y cancelan la suma de \$ 220.000

#### 3. Estudiantes

Con carné vigente \$ 50.000

EL VALOR DE LA AFILIACIÓN ES ANUAL

### Beneficios:

Integración con las comunidades científica, tecnológica y académica.

- Participación como experto en actividades académicas organizadas por ACAC, desde su área del conocimiento.
- Presentación ante entidades nacionales e internacionales con las que ACAC tiene vínculos.

Intervención en la formulación de políticas de ciencia y tecnología.

- Expresarse por medio de ACAC, ante las autoridades, para proponer políticas sobre ciencia, tecnología e innovación.
- Informarse sobre incentivos de las entidades gubernamentales para estimular proyectos y el desarrollo académico.

Participación en actividades científicas y tecnológicas.

- Participación en los programas académicos de la Asociación y por con las que ACAC posee alianzas.

Vínculos con otras entidades de carácter científico y tecnológico.

- Vinculación a entidades a las que pertenece ACAC y obtener beneficios que tal membresía confiere.

Asesoría en actividades científicas y juveniles.

- Los tutores científicos ACAC ofrecen a colegios asesoría a niños, niñas y jóvenes a través del Correo de la Ciencia.

Descuentos en bienes y servicios de ACAC.

- Programación Académica
- Publicaciones
- Pauta publicitaria en la Revista *Innovación y Ciencia*, entre otros.

Suscripción gratuita a la Revista *Innovación y Ciencia*.

- Cuatro números al año.

Boletín Informativo.

- Actualización sobre convocatorias, becas, premios, reconocimientos y demás temas de actualidad en Ciencia, Tecnología e Innovación.

# PUBLICACIONES

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, presenta su fondo editorial el cual se constituye como un importante material de consulta y apoyo pedagógico para docentes y estudiantes de diferentes áreas del conocimiento, así como para interesados en cada uno de los temas.

## El Genoma Humano

Este tema ha cobrado especial actualidad en los últimos tiempos, a causa de los anuncios hechos por grupos de investigación internacionales. No cabe duda que las ciencias de la vida, y especialmente las ciencias médicas, han entrado en una nueva era originada en los trabajos sobre la estructura del ADN, a partir de los cuales y en tan solo un poco más de cuatro décadas, se ha producido el extraordinario desarrollo de la biología molecular.

## Neurociencias

Este libro dedicado al cerebro y basado en el número especial de la Revista Innovación y Ciencia pretende seleccionar una muestra de los diferentes enfoques contemporáneos sobre el estudio del sistema nervioso. El gran interés de las neurociencias, uno de los campos de mayor actualidad en la ciencia actual, al igual que la indiscutible calidad de los artículos que los constituyen, hacen que, una vez más, nuestro número especial de la Revista, se convierta en una obra de referencia obligada, no solamente para los estudiantes de medicina o biología, sino para los profesionales en neurociencias y el público en general.

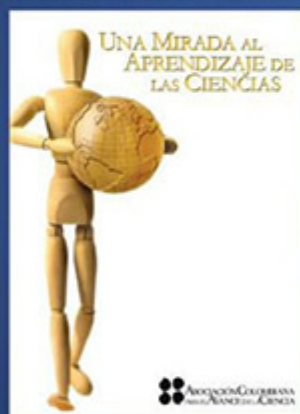
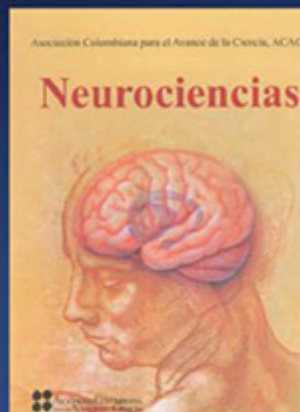
## Una Mirada al Aprendizaje de las Ciencias

En ciertos momentos resulta oportuno analizar el papel que desempeñan temas como la educación, la ciencia y la tecnología en el bienestar de la sociedad y la importancia que deben ocupar en los planes educativos en la propuesta del gobierno. La ciencia, como parte esencial de la cultura, no está únicamente ligada al aumento de la competitividad, sino que está involucrada en todas las actividades humanas, desde la salud hasta el deporte; la agricultura y las ciencias sociales, ciencias exactas en particular, deben constituirse como las bases en los programas educativos en ciencia en el país.

## Evolución - Historia de la Vida

El propósito de esta publicación es brindar a los científicos la oportunidad de comunicar a un público amplio el resultado de sus trabajos y proporcionar al lector una visión global del estado de la ciencia y la tecnología en un área determinada, al igual que la física contemporánea que ha aportado una clara comprensión del origen y la evolución del universo, diseñando un cuadro coherente de su estructura fundamental, los recientes avances de la biología y en particular los descubrimientos de la genética moderna que han traído elementos muy valiosos para la comprensión del origen y la evolución de la vida.

TÍTULO DEL LIBRO	PRECIO DE VENTA AL PÚBLICO
El Genoma Humano	\$ 34.000
Neurociencias	\$ 30.000
Una Mirada al Aprendizaje de las Ciencias	\$ 25.000
Evolución - Historia de la Vida	\$ 25.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 114.000</b>
DESCUENTO POR LA COMPRA DE LOS CUATRO (4) LIBROS	\$ 28.000
DESCUENTO ADICIONAL PARA ASOCIADOS POR LA COMPRA DE LOS CUATRO (4) LIBROS	\$ 16.000



## Informes

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC  
Calle 44 N° 45 - 67 Bloque C Módulo 3 Unidad Camilo Torres  
Tele. 221 4631 315 4009 221 9953 PBX 315 5900 Ext. 124 108 113  
E-mail: [innovacion@acac.org.co](mailto:innovacion@acac.org.co); [mercado@acac.org.co](mailto:mercado@acac.org.co)

Colombia \$13.000

tarifa postal reducida 032-194



$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

**PAUL ADRIEN MAURICE DIRAC** (1902-1984). Físico teórico inglés. Es principalmente reconocido por sus valiosas aportaciones al desarrollo de la teoría cuántica. Formuló la ecuación que ahora conocemos como la *Ecuación de Dirac* que describe el comportamiento de partículas con espín 1/2 la cual también predice la existencia de partículas de antimateria. Recibió el premio nobel de Física de 1933 junto con Erwin Schrödinger "por el descubrimiento de nuevas formas útiles de la teoría atómica".

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$\psi(x)$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$\psi(x)$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$\psi(x)$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$\psi(x)$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$$