

Innovación y Ciencia

Volumen XVI • Nº 2 • Tarifa postal reducida 2009-194 • Colombia \$ 12.000

Calentamiento global, bioética
y la nueva biología



Tarifa postal reducida 2009-194



Colombia \$12.000



ASOCIACIÓN COLOMBIANA



[áce-áce]

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

ACAC desarrolla diversos programas
cuyos fines son

integrar a la comunidad científica

y reforzar su compromiso con el

estudio de los problemas del país,
difundir el conocimiento científico,

promover y apoyar la

investigación Científica y Tecnológica

e impulsar programas de apropiación social
de Ciencia y Tecnología.

Correo electrónico acac@acac.org.co

www.acac.org.co

Revista Innovación y Ciencia

Volumen XV Nº 2

PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para el Avance

de la Ciencia ACAC

COMITÉ DIRECTIVO - ACAC:

Eduardo Posada Flórez

Raúl Javey O.

Rubén Ardila A.

Guillermo Hoyos V.

Carlos Comedor P.

Marcelo Rivera R.

Elena StanóPenko

Horacio Torres S.

Hellena Groot

Centro Internacional de Entrenamiento e

Investigaciones Médicas - CIDEIM

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales - Acefyn

Centro Interactivo Malaká

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

Carmen Helena Carvajal López

COORDINACIÓN EDITORIAL

Germán Cúbillos Alonso

ASISTENTE EDITORIAL

María Carolina Suárez S.

COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Flórez

Carmen Helena Carvajal

Carlos Comedor P.

Guillermo Hoyos

Andrés Pérez

Horacio Torres S.

Elizabeth Castañeda

Marcelo Rivera

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

León Lederman

Isabel Llano

Rodrigo Llinás

PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Susana Camiló M.

CORRECCIÓN DE ESTILO

Gabriela de la Piana M.

FOTOGRAFÍA

Susana Camiló M.

Autores y Banco de imágenes

IMPRESIÓN

Nonos Impresores

COMERCIALIZACIÓN

Departamento de Mercadeo de ACAC

DISTRIBUCIÓN

Distribuidoras Unidas



CARÁTULA
Retolero • Susana Camiló

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 publicación 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 0125-5140

Tarifa postal reducida No. Nº 2009-194 4 -72 La Red Postal de Colombia,
vence 31 de diciembre de 2009

ACAC Calle 44 Nº 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3

Teléfonos: 3150734 - 3155900

Fax: 2216950

Email: innovacionyciencia@acac.org.co

Bogotá, D.C. - Colombia

Precio de venta al público: \$12.000

Suscripción (4 números al año): \$45.000 para Bogotá,

\$50.000 fuera de Bogotá

El siglo XXI estará marcado por el desarrollo de las llamadas nuevas tecnologías, cuya principal característica es su relación estrecha con la ciencia básica. No cabe duda de que campos como la nanotecnología, los nuevos materiales, la biotecnología, la informática, las nuevas fuentes de energía o la industria espacial van a tener un impacto cada vez mayor en la economía mundial. El conocimiento, base fundamental de esas tecnologías, se convertirá en un factor esencial de desarrollo y en el más importante elemento estratégico.

Las perspectivas que se abren a la humanidad son vertiginosas: por primera vez una especie tiene las herramientas para incidir directa y conscientemente sobre su evolución, gracias a los avances de la ingeniería genética y a la posible conexión directa entre sistemas biológicos y equipos electrónicos. El análisis de esas perspectivas requiere un apoyo fundamental de las ciencias sociales y de la ética, que nos permita entender la sociedad que está gestándose, y orientar el avance de las ciencias naturales y la tecnología para evitar las desviaciones que, en el pasado, han conducido a aberraciones como la bomba atómica.

Para un país como Colombia es indispensable establecer los mecanismos que le permitan integrarse a un mundo globalizado sin sacrificar sus grandes riquezas culturales, climáticas o biológicas. Por eso es tan importante que desarrollemos una capacidad propia para generar conocimiento, que nos permita construir modelos propios de desarrollo, acordes con las características particulares de nuestra nación.

La creación de esa capacidad debe ser una prioridad absoluta para el Gobierno si queremos que Colombia tenga cabida en el mundo del futuro. Los países que lo han entendido en los últimos años y han puesto en práctica políticas agresivas de apoyo a la ciencia y la tecnología, han logrado crecimientos económicos espectaculares en muy poco tiempo. Ejemplo de ello son los llamados Tigres Asiáticos pero más recientemente, Irlanda, China, India y, en nuestro continente, Chile o Brasil.

Tradicionalmente la industria colombiana ha sido importadora de tecnología, dando muy poco apoyo al desarrollo tecnológico nacional. Dicha tendencia resulta de la idea muy arraigada en nuestro medio de que la tecnología está disponible en el mercado internacional, y que resulta más barato adquirirla que invertir en fortalecer la capacidad nacional para generarla o adaptarla. Quienes así piensan, olvidan que muy a menudo la tecnología que está libremente en venta es obsoleta, no se adapta fácilmente a las condiciones sociales, geográficas o climáticas de nuestro medio y, en general, crea una dependencia permanente y costosa con respecto a los proveedores internacionales.

Teniendo en cuenta nuestras ventajas comparativas y el talento de nuestra gente, no cabe duda de que tenemos excelentes oportunidades en campos como la biotecnología o la nanotecnología, por no citar sino algunos de ellos. Este último tema, que a primera vista puede parecer muy sofisticado para nosotros, ofrece extraordinarias posibilidades de aplicación en ciencia de materiales, salud, agricultura o protección del medio ambiente; está totalmente a nuestro alcance y, por el contrario, ofrece magníficas posibilidades de aplicación industrial. Ojalá sepamos aprovechar la oportunidad que se nos ofrece y no dejemos pasar el tren como nos ocurrió hace 25 años con los semiconductores que, en su momento, hubieran podido ser desarrollados en nuestro país. No sobra recordar que la industria talaanesa en ese campo no tiene más de 30 años y hoy es la más importante del mundo.

EDUARDO POSADA FLÓREZ

Presidente

CARMEN HELENA CARVAJAL LÓPEZ

Directora Ejecutiva

Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

Innovación y Ciencia

TEMAS

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

LENGUAJE

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

EXTENSIÓN

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

FORMATO

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

MATERIAL GRÁFICO

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

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

REFERENCIAS

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

1. Artículo de revista científica:

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

2. Artículo de libro:

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

RESUMEN

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

IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

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

RECOMENDACIONES

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

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: 3555898 • 3550734
Innovacionyciencia@acac.org.co
Bogotá, DC, Colombia



Fluorescencia, la luz de la materia

JOSÉ ALBERTO GIRALDO
ESTUDIANTE DE INGENIERÍA QUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
JAGIRALDOV@UNAL.EDU.CO

A lo largo de la historia, la ciencia se ha interesado por el estudio de los fenómenos que emiten luz, especialmente, aquellos que lo hacen sin ser provocados por un aumento en la temperatura del cuerpo. Al calentar un metal, éste emite luz de diferentes longitudes de onda, comenzando en el rojo y variando con la temperatura, a esto se le conoce como incandescencia y es el principio de los bombillos cuyo filamento de wolframio se encuentra a una temperatura tal que la radiación emitida corresponde al color amarillo. Los fenómenos luminiscentes que no dependen de la temperatura del cuerpo son muy variados y se han clasificado según la fuente de energía que los provoca. Así, la triboluminiscencia (del griego *tribein*, "frotar", y del latín *lumen*, "luz") ocurre cuando algunos cristales, por ejemplo de azúcar o fluorita, son sometidos a esfuerzos mecánicos como frotación y éstos muestran pequeños destellos. El mecanismo no se ha comprendido muy bien, pero se cree que puede ser debido a la ruptura de enlaces en las redes cristalinas; cuando la luminiscencia es causada por organismos vivos, como luciérnagas o ciertos peces que son capaces de producir para atraer a sus presas, el efecto se denomina bioluminiscencia y es el fenómeno de luz natural más antiguo que conoce el hombre. Se han encontrado relatos griegos en los que se atestiguan que han visto luz proveniente de peces o madera en descomposición, hoy en día sabemos que esto ocurre por reacciones químicas de



oxidación que reciben el nombre especial de quimioluminiscencia. Por ejemplo, el oxígeno singlete es un estado inestable del oxígeno, que cuando es producido reacciona rápidamente con otro oxígeno singlete para formar una molécula ordinaria de oxígeno, en el proceso se libera energía en forma de luz visible de color rojo.

La fotoluminiscencia ocurre en sustancias que emiten luz visible al ser irradiadas con luz ultravioleta, rayos X o rayos catódicos (son electrones que se desprenden de un cátodo calentado en el interior de un tubo al vacío, y que aumentan su energía cinética gracias a una elevada diferencia de potencial). En el proceso, los átomos son excitados a un nivel de energía mayor, cuando vuelven a su estado basal, emiten fotones de mayor longitud de onda y menor energía. La diferencia de energía se disipa en forma

de calor. Si el proceso sucede en ciemilionesésimas de segundo se llama fluorescencia, cuando tarda milésimas de segundo se le llama fosforescencia (García, 2002). Esto es más claro si consideramos que una sustancia fosforescente sigue emitiendo luz, aun cuando la fuente que la cargó se ha apagado. La emisión de luz puede persistir algunos segundos e incluso muchas horas.

En el presente artículo nos limitaremos a estudiar la fluorescencia y sus características más importantes.

Fluorescencia

Es el caso especial de la fotoluminiscencia en el cual la emisión de luz visible se extingue cuando cesa la radiación sobre la sustancia fluorescente. Cabe anotar que si una sustancia es fosforescente, también es fluorescente, pero no al contrario. Por ejemplo, si exponemos un

material fosforescente a una fuente de luz ultravioleta, éste brillará mostrando así fluorescencia; si apagamos la fuente de rayos UV, el material continuará emitiendo luz durante algún periodo de tiempo dependiendo de la función de cada sustancia; por el contrario, si el material es solamente fluorescente, como el nitrato de uranio, dejará de brillar en cuanto la fuente de luz ultravioleta se suprime. Esto significa que la preparación de una sustancia fosforescente sólo podría tener propiedades fosforescentes.

Este fenómeno fue descubierto en un mineral llamado fluorita, formado por fluoruro de calcio, abundante en la naturaleza, del cual recibe su nombre. El estudio del fenómeno físico a lo largo de los años no ha logrado predecir con exactitud todas las sustancias que presentan fluorescencia; sin embargo, en algunos casos examinados se ha determinado muy bien el fenómeno.

Especialmente en la química orgánica resulta difícil saber si un compuesto será o no fluorescente, pues no hay grupos fluoróforos (que imparten fluorescencia a la molécula) definidos, pero en general entre más complejo sea un compuesto, hay más posibilidades de que presente fluorescencia, dado que los electrones responsables de la fluorescencia son protegidos de influencias desactivadoras como colisiones con otras moléculas (Radley y Grant, 1959). Algunos compuestos orgánicos puros que presentan fluorescencia son el benceno, cuya fluorescencia es débil, los cristales de

antraceno y naftaleno, y las soluciones alcohólicas de anilina, fenol y fluoresceína (Pringsheim, 1949).

No obstante, en las sustancias inorgánicas es más fácil clasificar el tipo de sustancias que resultan fluorescentes.

Sustancias inorgánicas puras

La lista es muy corta y está limitada a los compuestos de iones trivalentes de las tierras raras, y a todos los compuestos que contienen uranio. El único ión metálico, aparte de los de las tierras raras que fluoresce en solución, es el ión talio (Tl^+) (Pringsheim y Vogel, 1946). La fluorescencia de estos iones es originada por la disposición electrónica de los niveles de energía, donde ocurre un proceso de absorción de fotones y uno de emisión de los mismos. La representación de este efecto se realiza en la configuración electrónica.

Veamos el caso del ión taloso. La configuración electrónica del talio es: $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2 6p^3$, entonces la configuración del ión taloso (por la pérdida de un electrón), será: $[Xe] 4f^{14} 5d^{10} 6s^2$. Para este catión metálico, el proceso fotoluminiscente se presenta por la transición electrónica $6s^2 \rightarrow 6s^1 6p$, donde la flecha hacia la derecha indica absorción y hacia la izquierda indica emisión (Yen, 2007).

Como un caso especial, los espesos Curie descubrieron que cualquier materia expuesta a los rayos provenientes del radio, adquiría luz propia, pero esto se debe



Fluorescencia

a la fuerte radiactividad de este elemento.

De la propiedad anteriormente descrita nacieron las pinturas radiactivas. El descubrimiento del radio revolucionó pronto el mercado con nuevos objetos que se promocionaban bajo la característica de ser radiactivos, se vendía agua radiactiva como cura para cualquier enfermedad, y no se hizo esperar una pintura fosforescente ideal para los niños, la cual emite luz continuamente sin tener que ser expuesta a una fuente de energía externa. Dicha pintura era una mezcla de sulfuro de zinc y bromuro de radio, adheridos a los objetos con goma arábiga. Pero, ¿cómo funciona la pintura? El radio se desintegra continuamente a gran velocidad generando partículas que al chocar con el sulfuro de zinc, le imparten energía haciéndolo brillar continuamente (Pringsheim, 1946).

Sustancias inorgánicas impuras

Casi todas las sustancias fluorescentes inorgánicas se deben a impurezas distribuidas en las redes cristalinas de determinadas sustancias. Estas impurezas se

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garvito impulsa el desarrollo del conocimiento y de la sociedad a través de acciones concretas

Nos desempeñamos en sectores como:

- Agua y ambiente
- Infraestructura
- Energía
- Liderazgo empresarial
- Biotecnología
- TIC's
- Materiales
- Matemáticas
- Economía
- Manufactura

Somos líderes en innovación, en áreas como:

- Bioelectrónica
- Telemática
- Robótica
- Microeconomía
- Mercados Energéticos
- Ingeniería Fluvial
- Informática Educativa
- Estructuras

La primera opción y el mejor ejemplo

www.escuelaing.edu.co + 648 3622 - Ak 45 No. 205 - 59, Bogotá, D. C.



Fluorita

encuentran frecuentemente en cantidades muy pequeñas y cuando esto ocurre se dice que la sustancia está dopada con la impureza.

Estos compuestos tienen la forma general M_nX_m , en la cual M representa los iones metálicos que pueden ser zinc, metales alcalinos o metales alcalinotérminos. En la fórmula, A tiene que ver con los aniones del compuesto que suelen ser sulfuros, óxidos, seleniuros, carbonatos, silicatos y haluros. Y y D representan las impurezas que confieren las propiedades fluorescentes, generalmente, sales de cobre, zinc, manganeso, plata, estaño, antimonio, talio, plomo, bismuto, uranio y los iones trivalentes de las tierras raras (Hirschlaff, 1939; Yen y Weber, 2004). Por ejemplo el sulfuro de zinc dopado con plata se representa como $ZnS:Ag^+$; de allí podemos deducir que $M=Zn^{2+}$, $A=S^{2-}$ y $D=Ag^+$, esta es una sustancia fosforescente de uso frecuente en las pantallas de prueba para rayos X y su color de emisión bajo los rayos UV es azul. Sin embargo, existen iones que extinguen totalmente la fluorescencia, sobre todo la presencia de los metales ferromagnéticos

—hierro, níquel y cobalto— así sea en cantidades de partes por millón (Radley y Grant, 1959).

Después de incorporar homogéneamente la impureza a la red cristalina, debe realizarse un tratamiento térmico para activar la luminiscencia que consiste en calentar la sustancia a unos 1.000 °C para favorecer la incorporación de la impureza activadora en la red cristalina del material fosforescente, que luego se deja enfriar (el tiempo y temperatura de activación varían dependiendo de cada compuesto).

Muchos activadores imparten un color característico de fluorescencia. El manganeso, por ejemplo, da un color anaranjado, los sulfuros de zinc activados con cobre pueden presentar luminiscencia verde (usando aluminio como coactivador), azul (usando yodo) o roja (usando indio) (Goldberg, 1966).

Fluorescencia en la naturaleza

Se presenta en escasos procesos de descomposición de la materia orgánica. Es

común en el petróleo e incluso en muchos de sus derivados, aunque los derivados altamente refinados no fluorescen (Hemao, 1999). Muchas partes de los cuerpos humanos, animales y vegetales son fluorescentes: dientes, piel, celulosa, vitaminas, hormonas, la clorofila de las plantas, entre otras (Pringsheim y Vogel, 1946). La clorofila de las plantas fluoresce rojo, es característica de las plantas verdes y es independiente de la especie. El arroz y los cueros almidonados de las camisas también fluorescen bajo la luz ultravioleta.

Un caso importante de fluorescencia natural se presenta en los minerales.

La fluorescencia es una característica especial de algunos minerales, e incluso el color con el que fluorescen; esto convierte el fenómeno luminiscente en una herramienta importante para las personas que se dedican a la caracterización de minerales y rocas. La fotoluminiscencia siempre es causada por presencia de impurezas en el mineral.

Por ejemplo, las esmeraldas (silicato de berilio y aluminio) nunca fluorescen; alrededor del 15% de los diamantes tienen fluorescencia, y la scheelita (wolframato de calcio) siempre presenta fluorescencia, aunque la impureza que la caracteriza puede ser variable.

Muchas piedras preciosas y semipreciosas tienen una fluorescencia característica que las identifica como en el caso de la turmalina (X, Li, Mg, Fe, y Al es un borosilicato).

Usos y aplicaciones

Son muy variados. En la química, la fluorescencia sirve para detectar y aislar compuestos. En la biología, para caracterizar organismos y procesos celulares; por ejemplo, las investigaciones de la forma en que ocurre la hoy llamada fosforilación oxidativa (un mecanismo de las células para producir energía) se llevó a cabo con tintas fluorescentes que permitían rastrear los movimientos relativos de los componentes celulares. Otros rastreos celulares se realizan con sustancias radiactivas, como el caso de la investiga-

ción del papel del ADN en la replicación genética. En joyería es muy importante para diferenciar joyas auténticas de imitaciones; por ejemplo, el rubí natural tiene una fluorescencia roja muy débil, pero la fluorescencia del rubí sintético es muy fuerte.

Las aplicaciones en la vida cotidiana incluyen las pinturas fluorescentes y fosforescentes empleadas en avisos publicitarios o en señales de tránsito, y para identificar los billetes auténticos (que tienen cintas y tintas fluorescentes) y las falsificaciones bajo la luz ultravioleta, sin deteriorarlos.

Las pinturas fosforescentes se preparan con base en sales fosforescentes, de las cuales se destacan el sulfuro de zinc y los sulfuros alcalinos por tener buena duración e intensidad de emisión, tras la exposición a la luz natural o de las lámparas eléctricas. El material fosforescente debe disolverse o suspender-

se en un líquido que no reaccione con él, para esto pueden utilizarse algunos aceites, siempre y cuando se combinen con aditivos que impidan la descomposición de la sustancia luminiscente, también pueden emplearse hidrocarburos como el tolueno y el xileno (Pringsheim, 1946).

Agradecimientos

Al profesor y químico, M.Sc. Orlando Hernández Fandiño por su instrucción en el laboratorio.

Referencias

García, Miguel Ángel (2002), *Manual de prácticas de química orgánica II*, Universidad Autónoma Metropolitana, México, pp. 71-72.

Goldberg, Paul (1966), *Luminescence of Inorganic Solids*, Nueva York, Academic Press, pp. 228-231; 251-254.

Hemao Vázquez, Martha (1991), *Respuesta fluorescente de 123 minerales*. Tomado de Thomas S. Warren, *Ultra-violet products*, INC.

Hirschlaff, E. (1939), *Fluorescence and Phosphorescence*, Nueva York, Chemical publishing, p. 90.

Pringsheim, Peter (1949), *Fluorescence and Phosphorescence*, Nueva York, Interscience publishers, pp. 365; 398-399; 406.

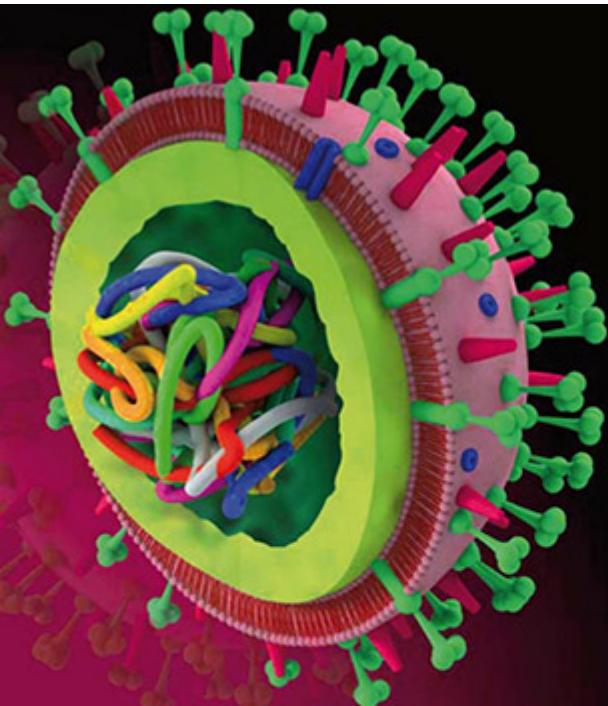
Pringsheim, Peter y Vogel, Marcel (1946), *Luminescence of Liquids and Solids and its Practical Applications*, Nueva York, Interscience publishers, pp. 76-78.

Radley, J. A. y Grant, Julius (1959), *Fluorescence Analysis in Ultra-violet Light*, London, Chapman and Hall, pp. 268; 274; 388-390.

Yen, William M. y Weber, Marvin J., (2004), *Inorganic Phosphors Compositions, Preparation and Optical Properties*, United States of America, The CRC Press.



Turmalina



Influenza H1N1 y H5N1

¿Por qué se está generando esta situación de alarma epidemiológica?

MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

M.Sc., Ph.D.

DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA

UNIVERSIDAD JAVERIANA

BOGOTÁ, COLOMBIA

mfgutier@javeriana.edu.co

El Virus de la Influenza A H₁N₁ no es el primero, ni va a ser el último, ni es el más fuerte de los virus causantes de epidemia de influenza que vamos a tener. Este virus se ha caracterizado, a lo largo de los años, por asumir un comportamiento endémico con picos epidémicos que afectan a casi todos los países del mundo. Ahora bien, si la premisa anterior es cierta, ¿por qué estamos tan preocupados y por qué se ha generado este "boom" noticioso que alarma a la población y nos lleva a usar tapabocas en la calle, nos mantiene pendientes de las noticias para saber si la OMS decidió pasar la epidemia a pandemia, o elevarla en la escala epidemiológica de nivel tres a cuatro, o incluso a quinto nivel?

La respuesta es sencilla: porque nos llegó una cepa viral que no estábamos esperando. Al revisar los casos actuales de influenza encontramos que, al igual que los años anteriores, este año también circula el virus de la "gripa", que ésta la sobrellevaban algunos individuos y que en el mercado encontramos vacunas que protegen sólo contra la cepa que se encuentra circulando durante ese año, conocida con el nombre de cepa estacional. Si bien esa vacuna, producida anualmente, se puede aplicar a cualquier persona, en países como el nuestro se espera que al menos sea aplicada a las personas de alto riesgo que son aquellas que, además de contraer con más facilidad la infección, pueden complicarse y llegar a patologías más severas. Estas personas son los niños y las personas de la tercera edad.

Es importante tener en cuenta que la "gripa" puede ser causada por un gran número de virus, diferentes a los de la influenza, y que su sintomatología puede confundirse con infecciones respiratorias por bacterias o, en su defecto, con problemas alérgicos. Los virus que más se asocian con esta patología pueden pertenecer a varias familias virales como los Picornaviridae donde se encuentran los Rinovirus o Virus del resfriado común; a familias como los Paramoviridae donde están los Paramovirus con sus cuatro especies (I, II, III y IV) y el Virus Sinicial Respiratorio, que se ha caracterizado por ser el más agresivo, causante de problemas respiratorios y se ha asociado con un importante número de neumonías y muertes, principalmente en niños menores de dos años. Por último, está la familia de los Orthomyxoviridae —donde se ubica el Virus de la Influenza—, de los cuales continuaremos hablando en este artículo. Los síntomas clásicos de una gripa pueden ser imperceptibles, leves, los cuales se manifiestan como un "resfriado", o pueden llegar a síntomas severos que logran involucrar bronquios, pulmones u otros órganos del sistema respiratorio y causar neumonía, pulmonía o incluso la muerte.

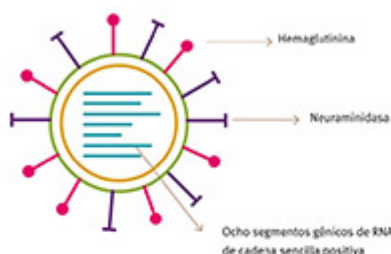
La afirmación de que nos llegó un virus que no estábamos esperando genera la siguiente pregunta: ¿qué era lo que estábamos esperando? Todos los años, las poblaciones reciben virus endémicos tipo Rinovirus con sus Virus del resfriado común que co-circulan con cepas estacionales del Virus de la Influenza, que si bien cambian de año en año, para 2009 ya se han caracterizado y son las cepas H₁N₁, H₂N₂ y H₃N₂ (Naffakh y Werf, 2009). Por otro lado, seguimos esperando la famosa "gripa aviar", la cual ha generado una importante alerta de epidemia desde hace más o menos cinco años cuando apareció en algunos países de oriente, la famosa cepa H₅N₁, conocida por su gran patogenicidad y su importante asociación con la mortalidad en los individuos infectados. Con esta información se puede responder qué era lo que esperábamos, pero por cuestiones del azar, lo que llegó a la población, además de las cepas estacionales, fue un nuevo Virus de la Influenza que denominaron H₁N₁ s-o-l-v (cuyas siglas corresponden a Swine Origin Influenza Virus), cepa que se caracteriza por haberse originado en el cerdo, infectar al hombre, transmitirse de hombre a hombre y no hacer reacción cruzada con los anticuerpos producidos contra las cepas endémicas, ni siquiera contra la H₁N₁ estacional que el sistema inmune ya conoce, y contra la cual se generó una reacción inmunológica efectiva en las personas expuestas previamente.

Otra respuesta a la pregunta del porqué se ha generado este "boom", la vamos a tener una vez conozcamos las características propias del virus, lo que nos llevará a entender de dónde salen estos "nuevos virus", pues tanto el H₁N₁ como el H₅N₁ han estado en la población tanto humana como animal desde hace más de 50 años, pero ahora los estamos observando como cepas emergentes, desconocidas para el sistema inmunológico, las cuales podrían entrar a nuestra población y generar infecciones de alto impacto en la salud y en la economía mundial.

Virus de la Influenza

Gráfica 1.

Esquema del Virus de la Influenza: virus envuelto con dos proteínas: la hemaglutinina y la neuraminidasa que restringen la entrada del virus en especies animales de manera específica.



Los virus de la influenza pertenecen a la familia Orthomyxoviridae, género Orthomyxovirus, especie Virus de la Influenza que tiene varios serotipos originados por variaciones antigénicas y fenotípicas en sus dos proteínas de envoltura: la hemaglutinina o proteína H, y la neuraminidasa o proteína N. El ácido nucleico viral está conformado por ocho segmentos de RNA de polaridad negativa, que codifican para 10 proteínas conocidas como M1, M2, H, N, PB1, PB2, PA, NP, NS y PB. El virus, además de tener proteínas asociadas al RNA, cuenta con una proteína de cápside conocida como proteína M y otras proteínas que se insertan dentro de la capa lipídica que envuelve al cápside que se denomina envoltura viral (véase gráfica 1) (Nicholls, 2006; Lee y Sall, 2009; Pappalouou, 2009). Dentro de esta envoltura están insertadas las dos proteínas que realizan el proceso de adhesión y penetración a la célula huésped que son la H y la N. La variabilidad antigénica de la H ha llevado a encontrar al menos 16 serotipos que se han nombrado con números arábigos del 1 al 16. Con respecto a la proteína N, se han descrito 9 serotipos desde N1 hasta N9 (Pappalouou, 2009). Como cada proteína es codificada por segmentos génicos separados, cada proteína H puede encontrarse con diferentes proteínas N, lo que implica múltiples combinaciones entre H y N que generan múltiples serotipos virales.

Estos virus tienen especificidad por células epiteliales de tracto respiratorio y utilizan como receptores, moléculas compuestas por ácido siálico, que en algunos casos están unidas a $\alpha 2,3$ galactosidas y en otros casos a $\alpha 2,6$ galactosidas. Por medio de estos receptores entra a la célula y se comporta de manera lítica, es decir, cumple todo el ciclo viral terminando con la destrucción celular en un período corto, lo que lleva a que la infección se comporte como una clásica infección aguda, con un período de incubación de 2 a 7 días, unos síntomas prodromicos cortos, una sintomatología clásica con fiebre, malestar general, cefalea, tos, mocos y otros síntomas que pueden ser leves o severos, e incluso, comprometer la vida del paciente, lo cual está generalmente asociado con sobreinfección bacteriana (Team, 2009).

Los diferentes virus de la influenza infectan al hombre y a varias especies animales como aves, peces, cerdos y otros mamíferos (Lipatov et al., 2004; Belshe, 2009). De esta manera, los virus que infectan aves sólo deberían hacer ciclos multiplicativos en aves; los virus que infectan cerdos, sólo deben entrar a células de cerdo y no deberían infectar al hombre. Sin embargo, debido a la capacidad de producir cambios génicos, algunas cepas adquieren la posibilidad de transmitirse de una especie a otra, lo cual se conoce como transmisión interespecie. El Virus de la Influenza ha sufrido varios de estos cambios a lo largo de los años, lo cual ha hecho posible que virus de aves infecten al hombre (como es el caso de la cepa viral H₅N₁), o que virus de cerdos infecten al hombre como es el caso que nos preocupa actualmente con la cepa H₁N₁.

Como se comentó anteriormente, el virus utiliza el ácido siálico, que se encuentra en las membranas celulares, como receptor viral. En el caso del virus de la influenza de aves, usa este receptor asociado a

$\alpha 2,3$ galactosa. Por otra parte, el virus de la influenza humana penetra en células epiteliales humanas aprovechando el ácido siálico unido a $\alpha 2,6$ galactosa. Desafortunadamente, las células epiteliales del cerdo poseen ambos receptores, además del receptor propio que utiliza el virus de la influenza de cerdo. Esta situación (tener los tres receptores en la misma célula) hace que dos o los tres virus de la influenza ingresen a la célula simultáneamente (Belshe, 2009; Naffakh y Werf, 2009; Pappalouou, 2009). Una vez dentro de la célula, los virus pasan por los estados de replicación, multiplicando sus ocho segmentos de RNA, lo que permite iniciar el proceso de formación de nuevas partículas virales, y que cada nuevo virus tenga que reunir sus ocho segmentos, encontrándose con la posibilidad de reunir segmentos del virus humano con segmentos de virus aviar y/o porcino. En caso de que la nueva partícula en formación logre reunir los ocho segmentos correspondientes a cada una de las proteínas virales, el nuevo virus será viable y será conocido en el medio científico como "reasortante" o recombinado. Es importante resaltar que este nuevo virus tendrá características fenotípicas y genotípicas de virus de cada una de las especies que lo componen. Esto implica grandes cambios génicos, conocidos como "shift antigénico" lo que se interpreta como grandes mutaciones y aparición de nuevas cepas virales (Nicholls, 2006; Pappalouou, 2009). Es en este momento donde el cerdo entra a la historia, y es por este motivo que la epidemia actual se conoce como "la gripa del cerdo", en donde realmente el cerdo no se contagia ni se entera de lo que sucede dentro de sus células (véase gráfica 2).

El segundo motivo por el cual este virus posee alta variabilidad es por la falta de enzimas reparadoras que se utilizarían durante la síntesis del genoma, a partir de molde de RNA viral, corrigiendo los errores o mutaciones que se pueden generar durante el proceso de formación de las nuevas cadenas, evitando así que sucedan mutaciones (Yue et al., 2009). Las células poseen, de manera normal, enzimas que reparan DNA durante su proceso de duplicación de su material genético, pero no poseen enzimas que reparen RNA recién formado, es decir, que cada vez que esta enzima se "equivoca", se produce una mutación que puede ser visible fenotípicamente. Este proceso de pequeñas mutaciones se conoce en el medio científico como "drift antigénico" y rara vez genera aparición de nuevas cepas (Nicholls, 2006; Pappalouou, 2009).

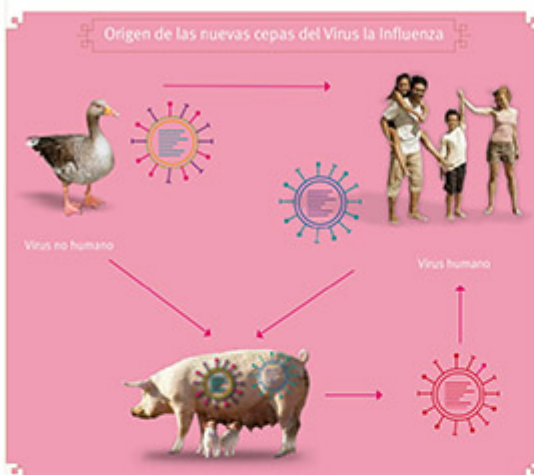
Con respecto a nuestro virus de la gripa, si revisamos la literatura encontramos que la pandemia española de 1918 fue causada por un Virus de la Influenza A H₁N₁ (conformado sólo por segmentos génicos de influenza aviar) (Lipatov et al., 2004; Nicholls, 2006; Pappalouou, 2009), que ha aparecido durante varios años como Virus de la Influenza estacional y que en 2009, formaba parte de las cepas endémicas. Sin embargo, cuando lo caracterizaron encontraron que en la secuencia de aminoácidos y de nucleótidos de la hemaglutinina, presentaba variaciones menores (aproximadamente 5 nucleótidos que generan variación en cuatro aminoácidos) que no alteran el serotipo, pero que sí dan características de diferentes, y que no reaccionaba ante anticuerpos producidos por una infección previa o por vacunación contra el H₁N₁ estacional. A este virus lo llamaron H₁N₁ s-0lv, y es por eso que ahora co-circulan en la población virus H₁N₁ y H₁N₁ s-0lv.

Para entender un poco más las variaciones sufridas por el virus H₁N₁ s-0lv, pasemos a explicar su origen. Las revistas científicas lo definen como un virus triplemente reasortante, lo que significa que tiene segmentos génicos de tres especies diferentes: cerdo, hombre y ave. Al revisar el genoma del H₁N₁ s-0lv, es claro que sólo cuenta con genes porcinos, dos de ellos de origen de influenza porcina europea (NA y M) y los seis restantes de virus de la influenza norteamericana (PB2, PB1, PA, HA, NP y NS). No obstante, al estudiar los virus de la influenza norteamericana se evidencia que están constituidos por cinco segmentos génicos de influenza porcina (HA, NS, NP, NA y M), un segmento génico de influenza humana (PB1) y dos de influenza aviar (PB2 y PA), constituyéndose así en virus "triplemente reasortantes" (Belshe, 2009; Team, 2009).

Ahora revisemos el origen del H₁N₁ el cual es mundialmente conocido como Influenza Aviar. Apareció en los años ochenta, al parecer ha adquirido sus ocho segmentos génicos de aves europeas y mantiene la necesidad de unirse al ácido siálico asociado a $\alpha 2,3$ galactosa. Los primeros reportes de este virus manifestaban que su gen de hemaglutinina circulaba en cepas de ganso del suroeste de China, y que el virus se caracterizaba por tener alta patogenicidad en gallinas, pero no en patos. Si bien se ha mantenido estable genéticamente desde 1993, en el año 2002 hizo un "drift antigénico" y se volvió patógeno para

Gráfica 2.

Origen de nuevas cepas del Virus de la Influenza. Pueden llevar consigo segmentos génicos recombinados o mutados.



patos; y para el año 2003 se evidenció patógeno para humanos. Actualmente existen varios clones con diferentes capacidades antigénicas de cepas H5Ns (Lipatov et al., 2004).

Retomando nuestra pregunta de por qué se genera este "boom", ya tenemos dos posibles respuestas: la primera es que el virus no se esperaba; la segunda es que este virus muta frecuentemente y que esta nueva mutación no se puede predecir, motivo por el cual no sabemos a qué atenemos con cepas nuevas. Ahora revisemos una tercera hipótesis del "boom publicitario": este virus tiene un comportamiento similar a un virus zoonótico (entiéndase por zoonosis una infección transmitida de los animales al hombre, como la rabia). El Virus de la Influenza, en general, no se comporta como zoonótico, pues su manera de infectar es de hombre a hombre, cerdo a cerdo, ave a ave por medio de gotas de saliva contaminadas que ingresan, a través de las vías respiratorias, a un individuo que no posee memoria inmunológica para protegerse de la infección. Eventualmente, el cerdo recibe virus humanos y/o de aves, y esto hace que en sus células se produzcan mecanismos tanto de recombinación como de mutación en los ácidos nucleicos virales, lo cual implica entrar en una célula distinta de la original y causar infecciones interespecie, saliendo del cerdo al hombre o a las aves y adaptándose a este nuevo huésped. Una vez en el hombre, la nueva cepa viral puede tomar tres caminos: primero, no logra completar su ciclo multiplicativo y, por ende, no puede salir de la célula humana; segundo, entra en un huésped humano, completa el ciclo replicativo en sus células, pero no puede pasar a otro humano (que es el caso del N5N1 o gripa aviar); y como tercera posibilidad, infecta al hombre y se transmite de hombre a hombre (el caso del H5N1 s-04).

Actualmente, una de las grandes preocupaciones que tiene la virología y la medicina es cuál va a ser la constitución génica del virus H5N1, que apareció en Hong Kong en 1997 y que se caracteriza por tener un alto grado de patogenicidad en el hombre. El grupo de hombres más susceptibles son los jóvenes y los adultos; puede afectar órganos diferentes a los del sistema respiratorio; se asocia altamente con la neumonía; es un fuerte inductor de proteínas que contribuyen a los procesos inflamatorios; y sólo

se ha logrado transmitir entre aves salvajes y por contacto directo de aves con humanos. Sin embargo, no ha logrado una mutación que le confiera adaptación para transmitirse de hombre a hombre y es por esto que no ha llegado realmente a la población (Pappaioanou, 2009; Yee et al., 2009). En el momento en que este virus se adapte a la transmisión entre humanos y se inicie la epidemia, van a poder aislarlo, analizar su constitución genómica y proteica, y producir la vacuna. Este evento se asemeja a lo que está pasando actualmente con la H5N1.

Antes de finalizar, cabe anotar que los virus no aparecen y desaparecen de la faz de la Tierra cuando no los estamos viendo. Cuando los virus están infectando, se encuentran dentro de sus huéspedes; cuando están fuera de éstos, se encuentran en individuos corodidos como reservorios que, por lo general, son animales que dejan que el virus se mantenga en ellos sin necesidad de producir enfermedad. El virus en el reservorio se multiplica y se protege de las condiciones medioambientales. Un último actor en este grupo de individuos, que colabora con la diseminación viral, se conoce como vector, ente animado o inanimado que transmite el virus de un huésped a otro. Estos tres tipos de actores —huéspedes, reservorios y vectores—, se encuentran claramente definidos en los ciclos de influenza (véase gráfica 3). Los huéspedes pueden ser los hombres, las aves y algunos mamíferos acuáticos y terrestres como los cerdos. Los reservorios son las aves acuáticas salvajes como patos y gansos, y aves de corral como gallinas y palomas; en ellos los virus pueden permanecer largos períodos de tiempo (Lipatov et al., 2004; Naffakh y Werf, 2009; Pappaioanou, 2009). Nuestro último actor es el cerdo quien actúa como vector viral al igual que las aves, y además de ser reservorios pueden ser huéspedes y vectores.

Desafortunadamente, dentro del cerdo, el virus se multiplica poco pero se puede recombinar y salir de él por vía respiratoria, contaminando recipientes, mesas, barandas y utensilios de trabajo que pueden ponerse en contacto con los humanos por medio de sus manos y llevados a la vía respiratoria por contacto de la mano y la nariz. Esta sencilla vía de transmisión (la misma que se presenta después entre hombres) puede ser controlada con lavados clásicos de manos con agua y jabón. El jabón destruye la capa lipídica viral y el agua actúa como barrera de amastre, es decir, barre los virus que se encuentran en las superficies y en las manos de los portadores o posibles huéspedes virales. Así pues, lavarse las manos con agua y jabón es la mejor herramienta de prevención de la infección por este y por otros virus envueltos.

Hoy en día se ha disminuido la alarma epidemiológica con respecto al H5N1, el mundo está empezando a aceptar la presencia de este nuevo virus que se sigue esparciendo entre la población.

Gráfica 3.

¿Dónde se encuentra el Virus de la Influenza? En alguno de los tres grupos de individuos: en los huéspedes como el hombre, el cerdo, las aves y algunos mamíferos marinos o terrestres, en el reservorio que son las aves salvajes; o en el vector que son los cerdos o las aves.



Afortunadamente, la severidad de la infección no corresponde con la categoría de pandemia, pero de todos modos, los virus de la influenza son impredecibles y "las cosas podrían cambiar con el tiempo". Por otro lado, el H5N1 aún no ha entrado a la población, pero los procesos adaptativos virales están ejerciendo una importante presión para que este virus pueda mutar y se adapte al hombre, generando en la población un nuevo problema que aún no podemos dimensionar.

Referencias

- Belshe, R. (2009). "Implications of the Emergence of a Novel H1N1 Influenza Virus", en *The New England Journal of Medicine*, consultado en www.nejm.org
- Lipatov, A. et al. (2004). "Influenza: Emergence and Control", en *Journal of Virology*, vol. 78 (17), pp. 8951-8959.
- Lee, C. y Saito, Y. (2009). "Avian Influenza Virus", en *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Disease*, vol. 32, pp. 301-310.
- Nafkhi, N. (2009). "April 2009: an Outbreak of Swine-Origin Influenza A(H1N1) Virus with Evidence for Human to Human Transmission", en *Microbes and Infection*, en impresión.
- Nicholls, H. (2006). "Pandemic Influenza: The Inside History", en *PLoS Biology*, vol. 4 (2), pp. 156-160.
- Papadopoulos, M. (2009). "High Pathogenic H5N1 Avian Influenza Virus: Casue of the Next Pandemic?", en *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Disease*, vol. 32, pp. 287-300.
- Team VI (2009). "Emergence of a Novel Swine-Origin Influenza A (H1N1) Virus in Humans", en *The New England Journal of Medicine*, disponible en www.nejm.org.
- Yee, K. et al. (2009). "Epidemiology of H5N1 Avian Influenza", en *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Disease*, vol. 32, pp. 325-340.

La Universidad Autónoma de Occidente y la Universidad del Atlántico, líderes en implementación del sistema de gestión integral de la energía para el sector empresarial

Etapas del sistema de gestión integral de la energía:

- Etapas 1: Decisión estratégica
- Etapas 2: Instalación del sistema de gestión integral de la energía
- Etapas 3: Operación del sistema de gestión integral de la energía

CoE
Enrique Oro Quiroga
eoroqui@uao.edu.co
www.uao.edu.co
Teléfono: 3188000 ext. 11856

Barranquilla
Edgar Daniel Lara Figueroa
edlara@uniatlantica.edu.co
www.uniatlantica.edu.co
Teléfono: 3548209

UA
Universidad del Atlántico

LA SITUACIÓN DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LAS BASURAS EN COLOMBIA

Ingeniería ambiental

HÉCTOR COLLAZOS PEÑALOZA
INGENIERO SANITARIO, MScP
collazos34@gmail.com

Los rellenos sanitarios son hasta ahora (2009) la única solución práctica, real y económica para la disposición final de las basuras en Colombia y, en general, en los países latinoamericanos.

Actualmente, en los países más adelantados como Estados Unidos, Japón, Francia y Alemania, entre otros, técnica y económicamente se dispone la basura en rellenos sanitarios.

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), la agencia de cooperación alemana (GTZ) y el Ministerio del Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) de la República de Colombia los recomiendan para nuestro país; las universidades Nacional de Colombia, del Valle, de Los Andes, de La Salle, del Magdalena, Autónoma de Occidente, entre otras, enseñan a sus estudiantes estas tecnologías. Es un hecho: es la mejor solución, económica y ambiental, para nuestra situación actual.

Evidentemente, hay otros métodos pero no se puede competir con ellos por costos; en los momentos actuales no se puede "ni pensar" en un aumento de tarifas para mejorar la disposición final de las basuras, pues resultarían muy elevadas. Si en Colombia la tarifa techo autorizada por la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) es del orden de 14 dólares¹ por tonelada de basura depositada, habría que multiplicarla por 4,18 para llegar a 60 dólares que es la tarifa por tonelada en París para convertir la basura en compost.

¿Qué es un relleno sanitario?

Muchos funcionarios —para disminuir su vergüenza o su incapacidad para disponer los residuos sólidos municipales—, dicen que su "botadero de basura" es un relleno sanitario. Esto ha creado confusión dentro de la población y es una de las razones por las cuales la comunidad no quiere tener cerca ningún sitio de esta naturaleza. La definición que da el Decreto 838 de 2005 del MAVDT, en su artículo 1^o es:

[...] relleno sanitario es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería para la confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de los residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados y cobertura final (resaltado del autor) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, 2008).

Un relleno sanitario básicamente consta de una vía (en buen estado) que lo comunica con la población a la que le presta el servicio; un registro de información sobre las características de la basura, del vehículo, de la empresa transportadora y del tiempo en que llega la basura; una carretera de acceso al frente de trabajo; una playa para el descargue; y una celda diaria de trabajo donde se deposita la basura. Lo anterior es lo que "se ve", pero lo que no "se ve" son muchos sistemas para evitar la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales y para mantener la estabilidad del relleno sanitario: los sistemas de manejo de lixiviados (efluente líquido de la basura), gases, aguas de escomenta, impermeabilización y todos los controles que se deben efectuar, unos todos los días, otros semanales, mensuales o anuales. En general, un relleno sanitario es un conjunto de sistemas complejo y muy susceptible al deterioro. Se necesita personal muy capacitado para que pueda atender eficientemente todos estos sistemas, sin alterar ni dañar el medio ambiente.

Pasar de un relleno sanitario a un botadero de basura es muy fácil, pero al contrario es muy complejo; en algunos casos, es imposible reparar los daños.

1. Por sus siglas en inglés: Environment Protection Agency.

2. Por sus siglas en alemán: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.

3. Tasa de cambio consultada el 24 de enero de 2008.



Tradicionalmente, el manejo de la basura ha sido "el hijo pobre de los servicios públicos municipales" y la disposición final de la basura, "el hijo pobre de ese hijo pobre". Recordemos el dicho popular para insultar a una persona: "Es que usted no sirve ni para recoger basura". El obrero del aseo era el último en categoría en el municipio; y el jefe de aseo municipal era el ingeniero que castigaban por ser de otra filiación política que la del alcalde.

En el texto *Residuos sólidos y ecología en México. Una versión histórica*, se relata cómo en 1613 se presentaban problemas de acumulación de basuras en la Plaza Mayor de ciudad de México. En 1620, el problema continuaba y la población acumulaba los residuos sólidos, al amparo de la noche, en la parte posterior de las iglesias, lo cual creaba conflictos con los religiosos. Lo interesante de todo esto es que no se menciona, absolutamente para nada, la disposición final de las basuras porque, en ese tiempo, el mayor problema (para ellos) era la recolección (Llanas et al., 1996).

En el Ecuador se reportan problemas de manejo de basuras desde hace 187 años. El Mariscal Antonio José de Sucre, para solucionarlos, tuvo que dictar una ordenanza el 19 de agosto de 1822 que exigía la limpieza de la ciudad y "privatizaba el servicio" (*Diario Blanco y Negro*, 1994, 4 de diciembre). Es interesante que, entre otros aspectos, se obligaba a los prelaos y curas a mantener limpia la plaza frente a sus parroquias o conventos, se fijaban multas por desaseo al frente de las viviendas, se facultaba a la policía para arrestar a los que ensuciaran las calles o plazas por la noche y se prohibía poner a los indígenas en estas labores sin pagarles. El mariscal no menciona nada referente a la disposición final de las basuras.

En Bogotá, la prensa de 1922 informaba que la ciudad estaba inundada de basura y que se dispuso quemarla con petróleo, en un sitio donde hoy está ubicado el barrio Quiroga. En 1929, el Concejo autorizó adquirir lotes para instalar hornos crematorios y ubicar botaderos de basura cercanos a éstos, como estaciones de transferencia provisionales, lo cual fue cático porque aumentó el desaseo en

todas estas áreas; además, nunca se adquirieron los hornos crematorios. En 1940, se construyó el tan esperado horno como "solución definitiva" para la ciudad, pero ya en 1943 se dieron cuenta de que, al contrario de lo que indicaban los vendedores, no era la paraca. El mantenimiento era excesivamente costoso y el presupuesto municipal no alcanzó; los hornos se cerraron y se volvió a la costumbre de buscar huecos para rellenar, como relata el profesor Alfredo D. Bateman:

El sitio donde hoy es la Academia Colombiana de la Lengua, fue un botadero de basura. En 1979, se construyó el primer relleno sanitario en Bogotá, localizado en la zona denominada Gibraltar; este funcionó muy bien durante cerca de dos años, hasta cuando por problemas administrativos de la Edis (Empresa Distrital de Servicios Públicos) y, básicamente por falta de material de cobertura en el área donde estaba construido, se convirtió en un botadero de basura.

La situación de la disposición final de la basura en Bogotá siguió centrándose en "botaderos de basura" hasta el 1 de noviembre de 1988, cuando se inauguró el Relleno Sanitario Doña Juana, que ya cumplió 20 años de operación continua.

En Medellín se construyó el Relleno Sanitario La Curva de Rodas que, a veces, funcionaba como relleno sanitario y otras veces como botadero de basura. La ciudadanía se quejaba porque quedaba en la vía al Aeropuerto de Rionegro y "daba mala imagen a los turistas".

En Cali la extracción del material con el que se construyó el jardín del río Cauca, evitando que un gran porcentaje de la zona oriental de la ciudad se anegara debido a los altos niveles del río, hizo un hueco donde se construyó, en 1970, "un botadero de basura provisional" llamado Navamo, que duró 38 años hasta agosto de 2008, cuando inauguraron el actual relleno sanitario de Yotoco.

El profesor Próspero Ruiz en el texto *Higiene y saneamiento*, escrito en 1947, ya recomendaba la construcción de rellenos sanitarios para el país; en 1953, el Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública (SICISP) elaboró el Primer Código Sanitario Nacional y en su Artículo 218 decía: "El relleno sanitario consiste en botar las basuras en un sitio propicio y recubrirlas total y prontamente con una capa de tierra, evitando así la producción de olores desagradables y la creación de insectos y roedores". Dentro de ese mismo plan, se construyó el primer relleno sanitario en Colombia en la ciudad de Girardot, del cual no se sabe cuánto tiempo duró como tal.



4. El Servicio Cooperativo Interamericano de Salud Pública fue el diseñador en salud del Plan Marshall en la península.

Según el Servicio de Información Unificado (SIU) de la Superintendencia de Servicios Públicos, la situación de la disposición final de la basura en Colombia en el año 2008 era la siguiente:

Tipo de disposición	T/día	%	Municipios	Lugares*	Mpios./lugar
Relleno sanitario	22.204	88,5	653	254	2,6
Botadero de basura	2.185	8,7	297	283	1,0
Planta de tratamiento	615	2,4	98	59	1,7
Enterramiento	75	0,3	19	19	1,0
A fuentes de agua		0,1	10	8	1,2
Quema a cielo abierto		0,1	11	7	1,6
Total	25.079	100	1.088	630	1,76

* Es el número de sitios donde hay disposición de basuras; por ejemplo, hay 254 rellenos sanitarios en 653 municipios, es decir, 2,6 municipios por lugar.

Según esta información, la situación en Colombia está mejorando, con relación al mismo informe de la Superintendencia del año 2005, donde sólo había 466 municipios con relleno sanitario, 533 botaderos a cielo abierto, 73 con enterramiento y 23 que arrojaban su basura a fuentes de agua. Se debe anotar que no todos los que figuran como relleno sanitario realmente lo son, porque hay muchos con problemas serios de operación y que se están deteriorando.

La tabla muestra que los rellenos sanitarios ya son mayoría; el 88,5% de los municipios que han informado que la basura llega a un relleno sanitario, ha aumentado significativamente la cobertura. Sin embargo, el 9% (3.260 toneladas diarias) de los residuos sólidos de los municipios informados se está disponiendo de manera no apropiada en botaderos a cielo abierto, en quemas sin control, en enterramientos y en fuentes de agua.

También se concluye que la regionalización está avanzando porque por cada 2,6 municipios existe un relleno sanitario. Es interesante anotar —con respecto a los municipios que arrojan la basura a las fuentes de agua— que al menos hay dos municipios que arrojan la basura en la fuente de agua de otro municipio y, además, les pagan una tarifa.

Además, se observa que existen deficiencias en los diseños y falencias en los diseñadores que proyectan los rellenos sanitarios, así como en las autoridades que los aceptan, en los interventores que los controlan, y en los "operadores" que reciben y disponen la basura en el relleno sanitario.

Las normas, en general, son buenas; en algunas ocasiones, muy estrictas y en otras le quitan la facultad de "pensar" al ingeniero, como por ejemplo cuando dicen que todos los rellenos deben ser impermeabilizados con una capa de arcilla y geomembrana¹, o cuando dicen que se debe tomar una muestra semestral de los metales pesados, pero no dicen cuáles² (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

Se ha notado que los diseñadores de rellenos sanitarios sin experiencia son un desastre; muchos de ellos ni siquiera vieron esa materia en la universidad o nunca han visto un relleno sanitario y sencillamente toman un diseño antiguo y lo copian (algunos ni siquiera copian uno antiguo), sin saber que no hay dos rellenos sanitarios iguales; todos son distintos y no se pueden hacer rellenos sanitarios modulares. La calidad profesional de estos diseñadores deja mucho que desear, ni siquiera son ingenieros. Hubo un caso de un abogado que quiso hacer un diseño, "pero las leyes no se lo permitieron"; otro de un economista-diseñador y el de un veterinario, diseñador de rellenos sanitarios. También se presenta la situación de profesionales ingenieros sin ninguna experiencia para hacer diseños como es el caso de

5. Reglamento de Agua Potable y Saneamiento (RAS) F4.4.3
6. RAS F4.5.3



uno que proyectó plantas de tratamiento de lixiviados, sin conocer el caudal del efluente y mucho menos sus características físicas y químicas, lo cual dio como resultado plantas de tratamiento de lixiviados con eficiencias del 20% en términos de remoción de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno). De hecho, esto está acompañado de politiquería, poder y corrupción.

“Las autoridades aprobadoras” son similares a los profesionales identificados anteriormente. En efecto, se encuentran economistas y abogados “interventores o revisores” que consiguen el puesto mediante alguna palanca y, pasados ocho días, son autoridades en tratamiento de lixiviados y sientan cátedra para el manejo de los rellenos sanitarios. Recuerdo un interventor que me dijo: “Ingeniero, yo no sé nada de rellenos sanitarios, vengo a aprender de usted”; además, hay otros que consideran que ser interventor es molestar al constructor o al diseñador. Un buen interventor es aquel ingeniero que conoce su oficio y corrige los errores del diseño o los adecúa al terreno y a las situaciones de la localidad. De todas maneras, quiero dejar constancia de que si hay autoridades ambientales con experiencia y conocimiento de la materia y de muy buena calidad.

Es necesario tener mucho cuidado con algunos asesores internacionales. Se sabe de uno que era entomólogo con un curso de “ocho días” sobre manejo de basuras, y que además había quedado sordo en la Guerra de Vietnam debido a una granada, lo cual hacía muy difícil hablar con él.

Finalmente, los operadores, que son el mayor problema en la actualidad, son profesionales de diversa índole y algunos no tienen una profesión definida, pero sí tienen amigos en la política. Entre los profesionales que operan un relleno sanitario podemos encontrar desde economistas, topógrafos, ecólogos, geólogos hasta un psicólogo, un matemático, un técnico en concreto y, el caso más raro, un químico, profesor de música.

Como estas personas no tienen las competencias adecuadas, acaban con el diseño, pues normalmente no lo conocen o no lo entienden, lo cual hace imposible obtener como resultado un buen relleno sanitario. Pueden citarse algunos casos: unos confunden la celda diaria de trabajo con el vaso donde se deposita la basura; otros no saben qué es una curva de nivel, no pueden interpretar un plano, no saben qué es un pH, no saben medir un caudal; así, con tanto analfabeta técnico es imposible operar un relleno sanitario y, lo peor, es que son inamovibles. El gerente dice que no lo puede sacar porque “ese” es recomendado de tal político.

Esto hace que el medio ambiente se dañe; las aguas de los ríos y las aguas subterráneas se contaminan; el relleno sanitario huele mal y se puebla de gallinazos y de recicladores; los carros con basura se pegan a las vías interiores del relleno sanitario; los lixiviados salen por todas partes; los vecinos protestan; la basura se incendia; el Departamento Administrativo de la Aeronáutica Civil dice que los aviones se caen debido a la basura; la comunidad odia el relleno sanitario y protesta cuando van a construir uno nuevo.

Por lo tanto, la política del MAVDT se está viendo frustrada por la falta de personal calificado para operar los rellenos sanitarios. La solución está en hacer verdaderas escuelas para resolver estos

3. Según experiencias del autor.

problemas, para que los diseñadores, las autoridades ambientales, los interventores y los operadores conozcan su oficio, para que haya seriedad y pulcritud por parte del municipio.

Un buen diseñador y un buen operador no resultan costosos como creen algunos. No debe olvidarse aquel principio que dice: “Un buen ingeniero es aquel profesional que con cien mil pesos hace lo que otros harían con un millón de pesos”. Se está programando una escuela para diseñadores, interventores y diseñadores de rellenos sanitarios, para profesores universitarios y para los profesionales de las autoridades de control.

Hay otro problema importante que se debe atacar y es la prelación o importancia que el alcalde o el gerente de la empresa de servicios públicos debe darle a la disposición final de la basura. La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) autoriza una tarifa para que el relleno sanitario pueda operar y sea rentable, dentro de unos márgenes de utilidad, pero el gerente o el alcalde utilizan el dinero en otros servicios o en burocracia, dentro del mismo sitio de disposición final. Los rellenos sanitarios regionales son un buen ejemplo: por enterrar una tonelada de basura en un relleno sanitario (como verdadero relleno sanitario) le autorizan al alcalde o al operador del relleno sanitario una tarifa de aproximadamente \$31.400, pero si éste se guarda el dinero para otras cosas “más importantes según él”, ¿está haciendo realmente un buen negocio?

Hace algunos días, en una reunión con alcaldes, uno de ellos decía: “Es que no tengo dinero para mantener el sitio de disposición final”. Al preguntarle qué hacía con el dinero de la tarifa autorizada por la CRA y pagada por la comunidad de su municipio y por los regionales, él contestó tranquilamente: “Tengo cosas más importantes que hacer para el municipio”. Eso no se puede hacer señor alcalde, porque sencillamente es un peculado que lo puede llevar a la cárcel.

La conclusión más importante de esta reflexión tiene que ver con la urgente necesidad de capacitar ingenieros sanitarios, ambientales, civiles y químicos, para que puedan diseñar, operar y trabajar como interventores de un relleno sanitario o ser revisores de un diseño de un relleno sanitario.

Referencias

- Diario Blanco y Negro (1996, 4 de diciembre).
 Llanas, R. et al. (1996). *Residuos sólidos y ecología en México. Una versión histórica*, México, Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Sólidos Peligrosos.
 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) (2008). “Botaderos” [en línea], disponible en http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?catID=797&contID=2729&pagID=2402, recuperado el 28 de septiembre de 2008.
 Ministerio de Desarrollo Económico (2000). “Reglamento de Agua Potable y Saneamiento (RAS)” [en línea], disponible en www.cra.gov.co/portal/wwm/resources/titulo6.pdf
 Ruiz, P. (1947). *Higiene y saneamiento*, Medellín, Imprenta Departamental.

Ciencia y tecnología
para el desarrollo y
la transformación social



Los grupos de investigación UNORTE realizan y están en capacidad de ejecutar proyectos de investigación, desarrollo e innovación de tipo empresarial, social, ambiental y cultural, así como estudios e implementación de nuevas tecnologías en beneficio de la sociedad.

www.uninorte.edu.co



Dirección de Investigaciones y Proyectos
Teléfono: (57-5) 3094201 / 3094222
dip@uninorte.edu.co
Barranquilla, Colombia

JAVIER HERNÁNDEZ FERNÁNDEZ
 PROFESOR ASOCIADO, CARRERA DE BIOLOGÍA
 MARINA & AMBIENTAL
 UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO

javier.hernandez@utadeo.edu.co

CARLOS YESID SOTO OSPINA
 PROFESOR ASOCIADO, DEPARTAMENTO DE
 QUÍMICA
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

cysotoo@unal.edu.co

Calentamiento global, bioética y la nueva biología



Necesitamos de una Ética de la Tierra, de una Ética de la Vida Salvaje, de una Ética de Población, de una Ética de Consumo, de una Ética Urbana, de una Ética Internacional, de una Ética Geriátrica, etcétera. Todos estos problemas requieren acciones basadas en valores y en hechos biológicos. Todos ellos incluyen la bioética y la supervivencia del ecosistema total, constituyen la prueba del valor del sistema. (Peters, 1970).

Introducción

A principios de los años sesenta se produjo una tremenda crisis a nivel global que desembocó en un cambio cultural propiciado por los adelantos científico-técnicos, los cuales estaban muy distanciados del desarrollo de las ciencias humanas, en perjuicio de ambas, y en detrimento de los seres humanos y el medio ambiente. Con estos cambios, los analistas de la cultura decretaron el paso de la modernidad a la postmodernidad ("Lyotard: The Postmodern Condition", 2008), y se comenzó a hablar de la Sociedad del Conocimiento y de la Sociedad del Riesgo (Cely, 2001).

Dos conceptos de desarrollo campean en nuestros sistemas. Primero, el desarrollo científico-técnico-económico, al parecer, suficiente para producir desarrollo humano, libertad, democracia, autonomía y moralidad. Hoy en día, es observable que este tipo de desarrollo ha producido subdesarrollos mentales, psíquicos y morales (Morin, 2000). Y el segundo, el desarrollo sostenible, que introdujo la idea del porvenir del planeta, de los seres humanos, y también la necesidad de proteger la vida en todas sus extensiones, consideración biológica de innegable importancia.

Miremos solamente algunas cifras que detallan el rumbo de nuestro planeta. Actualmente, los progresos materiales, dictaminados por la técnica, la ciencia y el manejo económico, los disfruta sólo una porción mínima y privilegiada de la población; la mayoría sigue en la Edad Media. Según la ONU (www.onu.org), la mitad de los humanos (tres mil millones de personas) malvive con menos de dos dólares diarios; cada día mueren 17 mil niños víctimas de la miseria; 750 millones de personas permanecen en condiciones crónicas de desnutrición; tres mil millones carecen de agua potable; y dos mil millones no disfrutan de los servicios eléctricos. La repartición de la riqueza empeora día a día. En 1820 la distancia entre pobres y ricos era de 3 a 1; en 1913, de 11 a 1; en 1973, de 44 a 1; en 1997, de 74 a 1. Los 50 ricos más ricos de Occidente ganan más que los 2.700 millones de pobres más pobres del globo. El 20% de los pobladores de países desarrollados consume el 86% de los bienes del planeta. La contaminación y destrucción de la naturaleza son resultado de la miseria y del consumo desahogado.

Siendo la idea del desarrollo técnico, tecnológico y científico el mejoramiento del nivel de vida de la mayor parte de la población mundial, la pregunta que nos hacemos es: ¿de qué manera la ciencia, la nueva biología, está hoy en día, interpretando, analizando, estudiando y proponiendo soluciones a cuestiones como el cambio climático, la destrucción de los grandes ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos; el empobrecimiento radical de la biodiversidad; la drástica reducción de combustibles fósiles; la superpoblación, el hambre y la malnutrición endémica en muchos países, y las nuevas enfermedades propias de la sociedad opulenta, siendo problemáticas que no sólo tienen una perspectiva política y económica, sino también biológica?

Cambio climático global

La predicción del cambio climático global, una de estas problemáticas actuales, fue enunciada hace muchísimo tiempo por Svante Arrhenius en 1896. Este investigador sueco dio cuenta del incremento del dióxido de carbono en la atmósfera producido por el desarrollo industrial; predijo el incremento del gas carbónico debido al consumo de combustibles fósiles; e interpretó estas circunstancias como

una amenaza para el clima de la Tierra. Sin embargo, poca o ninguna atención se le dio a sus vaticinios. Casi 150 años después de la predicción de Arrhenius, somos conscientes de que el dióxido de carbono y otros gases en la atmósfera están en aumento, y que este fenómeno genera un calentamiento por el llamado "efecto de invernadero". Actualmente, existe un consenso científico de que el clima global se verá alterado significativamente en este siglo, como resultado del aumento de las concentraciones de gases de invernadero como metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos (Houghton y Hackler, 2001). Estos gases atrapan radiación infrarroja terrestre, y la predicción más generalizada es que aumentarán la temperatura global entre 1,5 y 4,5 °C. Se estima que los patrones de precipitación global también se alterarán. Asociados a estos cambios potenciales, los ecosistemas globales también sufrirán grandes cambios.

Aun así, hay una considerable incertidumbre con respecto a las implicaciones del cambio climático global y las respuestas de los ecosistemas que, a su vez, podrían traducirse en desequilibrios económicos. Este tema será de vital importancia e interés en países que dependen fuertemente de sus recursos naturales. Con respecto al impacto directo sobre seres humanos, se puede incluir la expansión del área de enfermedades infecciosas tropicales, inundaciones de terrenos costeros y ciudades, tormentas más intensas, extinción de incontables especies de plantas y animales, fracasos en cultivos en áreas vulnerables, aumento de sequías, etc.

En este contexto, la predicción computacional del clima se convierte en algo fundamental para poder explicar y predecir las consecuencias de estas catástrofes naturales. La predicción científica del cambio climático se realiza usando modelos informáticos, tanto de la atmósfera terrestre como de los océanos. Por ser predicciones probabilísticas, las incertidumbres regularmente son muchas, ya que las interacciones van desde el nivel molecular hasta el planetario. El único modo sistemático de realizar estas estimaciones es poniendo a interactuar miles de modelos climáticos y físicos, lo que requiere un enorme poder informático que, incluso, está muy lejos de las posibilidades de los supercomputadores actuales. Por ello, se propuso la informática distributiva, que combina las memorias y posibilidades de miles de computadores de usuarios anónimos que quieren colaborar. Existen varias iniciativas en conjunto llamadas "climate-prediction" que trabajan con millones de computadores de usuarios en todo el mundo (Stainforth et al., 2002).

Un poco de historia

El mundo de principios de siglo XX evolucionaba a gran velocidad jalonado por M. Planck y la física cuántica, el principio de incertidumbre de Heisenberg, la teoría de la relatividad de Einstein, la fisión del átomo que nos llevó a la guerra nuclear, y el uso de la energía atómica en muchas actividades. La astrofísica nos abrió los ojos a los viajes planetarios con todo el conocimiento premioso acerca de los orígenes y modo de ser del universo (Cely, 2001).

En la segunda parte del siglo XX, las ciencias biológicas despegaron con el descubrimiento de la estructura del DNA por James Watson y Francis Crick, el DNA recombinante y la nueva genética con el redescubrimiento de las leyes de Mendel y el grupo de las moscas con Thomas Morgan a la cabeza, quienes pusieron al descubierto que los genes son entes físicos ubicados en los cromosomas. Surgió la biología molecular, con el gran aporte de físicos eminentes como Max Delbrück (grupo de los fagos) o el mismo Edwin Schrödinger, quien escribió el famoso y motivador libro para muchos físicos y biólogos, *Qué es la vida*; se desarrollaron la química y la bioquímica, la ecología, las ingenierías y la biotecnología moderna, a partir de la primera clonación de un gen en *E. coli*; la insulina humana. Se originó también la biomedicina, que trajo innumerables cuestionamientos a los esquemas antropológicos de la deontología médica con innovaciones importantes como los trasplantes de órganos, los métodos de control natal y de procreación humana asistida, la terapia génica que se abrió paso una vez que se mapeó y secuenció el genoma humano, la eutanasia y la clonación humana.

De esta manera, la biotecnología médica sensibilizó la moral de los profesionales de la salud y de los pacientes, desestabilizando el orden ético vigente; la dinámica económica se apoderó de las innovaciones



tecnocientíficas y les impuso su lógica. La bioingeniería introdujo las plantas, los animales y los microorganismos transgénicos para solucionar los problemas de alimentación del planeta (Cely, 2001).

La electricidad también produjo cambios notables cuando evolucionó hacia las telecomunicaciones, la informática, la bioinformática y el modelamiento de proteínas, células, tejidos, órganos del ecosistema en general. Esto penetró todos los rincones del planeta produciendo una crisis de valores incontestable. Los cambios científicos y técnicos le quitaron protagonismo al discurso ético y moral, que pasó a un segundo o tercer plano. Recientemente se habla de metagenomas: ya no importan los microorganismos, ¡importan sus genes! Incluso se habla de vida artificial, con la sorprendente aparición del primer virus sintético (Smith et al., 2002) y el primer genoma bacteriano sintético (Gibson et al., 2008). Esta es una revolución impulsada por el codirector del proyecto Genoma humano, Craig Venter.

De acuerdo con esta corta historia, podemos analizar la propuesta sobre el desarrollo de las ciencias biológicas basado en Mendel, Darwin, Watson, Crick, entre otros. Aunque puede parecer sesgado existen ocho etapas de la biología (Del Arco, 2008) que son:

1. Biología p. A. (biología post-aristotélica).
2. Biología p. L. (biología post-linneana).
3. Biología p. D. (biología post-darwiniana).
4. Biología p. M. (biología post-mendeliana).
5. Biología p. S. (biología post-teoría sintética).
6. Biología p. W. C. (biología post-doble hélice DNA).
7. Biología p. C. G. (biología post-clonaje de genes).
8. Biología p. S. G. (biología post-secuenciación de genomas). Y se puede añadir otra:
9. Biología de síntesis o era de la bioinformación y la genómica sintética.

A partir de las tres últimas podríamos hablar de la "nueva biología", integrada por conceptos como clonación (a todos los niveles), genómica, premedica, transcriptómica, metabolómica, farmacogenómica y el estudio de todas las ómicas (www.genomicsglossaries.com) unidas a las poderosas herramientas en constante desarrollo: la biología computacional y la biología molecular.

La Nueva Biología considera la célula viva como un sistema altamente organizado que contiene conjuntos de proteínas y ácidos nucleicos (ADN y ARN) que funcionan de manera interdependiente en un gigantesco proceso de escala micro y nanométrica de manera que se producen tres procesos fundamentales: procesamiento de señales, síntesis y degradación controlada de productos con aportación y gasto energético y almacenamiento, conducción y expresión de la información para realizar todo lo antes dicho" (Del Amo, 2008, p. 4).

La biología sintética integra varias disciplinas científicas con la naturaleza interdisciplinar de las ciencias de la complejidad, la dinámica no lineal, la física de sistemas complejos, la ingeniería y la biología molecular. Los avances en este campo están sentando las bases para un cambio radical de paradigmas que sustentarán en gran medida nuestra visión de vida en el futuro.

Metagenómica y vida artificial

Craig Venter, codirector del proyecto Genoma humano, pasará a la historia por las iniciativas que ha puesto en desarrollo. En el año 2004, puso en marcha su proyecto Sorcerer II, nombre del barco que lo llevó a hacer una expedición por los mares del planeta para recolectar muestras de lo que él llama "los entes que no se ven", refiriéndose al mundo microscópico, "tesoro inconmensurable de la vida sobre la tierra, el aire y el mar". Venter se inspiró en la expedición británica del barco Challenger (1872-1876), proyecto pionero en investigación oceanográfica en el cual se descubrieron cerca de cinco mil especies marinas. Venter navegó en el Sorcerer II durante dos años recorriendo 32 mil millas náuticas, visitó 23 países e islas en cuatro continentes. Hizo recolecciones de muestras de agua en el mar de los Sargazos y utilizando las herramientas desarrolladas durante el proyecto Genoma humano, filtró el agua y obtuvo todos los microorganismos huéspedes. Luego, sin utilizar la microbiología tradicional a partir de estas moléculas extrajo todo el DNA o metagenoma (conjunto de todos los genomas presentes en la muestra) y el análisis bioinformático del gen 16S rRNA. Gracias a todo esto pudo determinar la biodiversidad bacteriana marina de este ecosistema y generar una vasta cantidad de secuencias de DNA en donde se reconocieron miles de nuevos genes con alta importancia ecológica y ambiental.

Las secuencias nucleotídicas (de bases nitrogenadas) se analizaron con programas informáticos y se realizaron predicciones de sus secuencias proteicas y de sus posibles funciones. Este estudio creó un nuevo paradigma en el cual la lente del microscopio y las pruebas bioquímicas para identificar organismos se cambiaron por la lente de la genómica y las predicciones de la bioinformática. En el estudio piloto de los Sargazos, Venter detectó 1.200 millones de nuevos genes bacterianos e informó la presencia de por lo menos 1.800 especies bacterianas, 400 de éstas nuevas (Gross, 2007). El resultado de este trabajo es una diversidad geográfica-ambiental y genómica de 6,3 billones de pares de bases: el doble del tamaño del genoma humano, que requirió trece años de ardua investigación, mientras que Venter realizó este trabajo en tan sólo cuatro años.

Por otro lado, un artículo publicado en la revista Science (2002) cuenta como el doctor Wimmer logró sintetizar en el laboratorio el virus responsable de la polio; aunque tardaron tres años en conseguirlo y además emplearon un genoma defectuoso, los bioensayos realizados en ratones mostraron que este virus sintético producía la parálisis de los ratones y luego su muerte.

También en el año 2003, en un trabajo sorprendente, el premio Nobel Hamilton Smith y otros tres investigadores, entre ellos Craig Venter trabajando en el Instituto de Biología para Energías lograron obtener el primer virus sintético, el Phi-X174, que infecta y mata bacterias pero que es inocuo para los humanos y los animales. Los investigadores propusieron una nueva metodología de ensamblaje basada en la unión de oligonucleótidos, cortas cadenas de DNA sintéticas. Construyeron el genoma de 5.386 pares de bases en tan sólo 14 días. Este adelanto científico tiene como objetivo principal la obtención de energía biológica y la recuperación de entornos ambientales contaminados; incluso, este desarrollo abre la vía para la creación artificial de otros virus y bacterias que puedan realizar

oficios ambientales insospechados, lo que quiere decir, en otros términos, el diseño de la vida. La síntesis de este primer virus fue valorada, en su momento, como uno de los más importantes logros de la historia de la ciencia.

Otro adelanto histórico

Es bien conocido el experimento pionero de Oswald Avery con cepas de neumococos, en donde una de las cepas introducía DNA de la otra y expresaba las características de ese genoma. Este hecho ha sido comprobado en muchos experimentos y hoy se utilizan técnicas como la electroporación o células químicamente competentes para transformar células bacterianas con plásmidos manipulados genéticamente, los cuales tienen un tamaño pequeño de unas 8 mil a 15 mil pares de bases (pb); estas moléculas de DNA son capaces de replicarse independientemente en la bacteria y coexistir con ella. Ahora pueden construirse cromosomas artificiales bacterianos (BACs) de unas 300 mil pb y también pueden ponerse en microorganismos capaces de replicarlos. Otros dos mecanismos parecidos son conocidos en cuanto a bacterias: transducción y conjugación. La transducción ocurre cuando un virus infecta a una bacteria, transfiriéndole su información genética, y por supuesto replicándose. La conjugación se presenta entre dos células bacterianas llamadas "donadora" y "receptora", donde la donadora cede material genético a la receptora.

En el año 2007, el grupo de Craig Venter reportó un nuevo término para la biología moderna: trasplante genómico, algo como sacado de una película de ciencia ficción. En este estudio, un genoma completo de una especie bacteriana se transfirió a otra célula bacteriana de otra especie. El DNA intacto de *Mycoplasma mycoides* libre de proteínas fue trasplantado a una célula de *Mycoplasma capricornium*, a la cual le fue extraído su cromosoma previamente. Este espectacular desarrollo se realizó como un paso previo a la propagación de genomas sintéticos, experimento que ya venía en proceso (Lartigue et al., 2007).

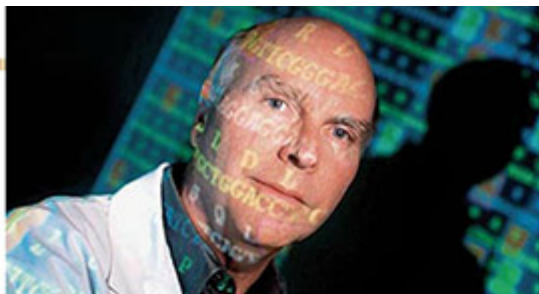
La bacteria *Mycoplasma genitalium* es la que menor tamaño de genoma posee entre todas las células bacterianas conocidas y cultivadas en laboratorio. Posee alrededor de 485 genes codificantes de proteínas y se cree que por lo menos 100 de estos genes no son estrictamente necesarios para la vida de la bacteria bajo condiciones óptimas de laboratorio. Un grupo de investigación integrado por veinte científicos y liderados también por el premio Nobel Hamilton Smith y Craig Venter, propuso construir el primer genoma sintético tomando como base el genoma de *M. genitalium*. Trabajaron la hipótesis de que se podría hacer el genoma reducido (100 genes menos) por síntesis química e introducirlo en células huésped, y así estudiar su capacidad de proveer las funciones genéticas esenciales para la vida.

En la producción del genoma de 580.070 pares de bases de *M. genitalium* fue necesario establecer métodos para ensamblar y clonar una gran cantidad de moléculas sintéticas de DNA. El cromosoma construido contiene 385 genes, mucho menos que el de la bacteria original; podríamos decir que se le quitó la "basura" sobrante, DNA no codificante y genes al parecer no limitantes para la vida del microorganismo. El genoma sintético se transformó como un BACs (cromosoma bacteriano) en *Escherichia coli* y luego del ensamblaje completo se introdujo en la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, para después recuperarlo y secuenciarlo y así, identificar por lo menos un clono correcto del genoma previamente diseñado. Esta construcción es una proeza de la bioingeniería, que se denominó *Mycoplasma laboratorium*. Venter comentó acerca de este proyecto al periódico *The Guardian*: "Un paso muy importante desde el punto de vista filosófico en la historia de nuestra especie. Hemos pasado de leer nuestro código genético a adquirir la habilidad de escribirlo. Eso nos da la posibilidad hipotética de hacer cosas nunca antes contempladas" (*The Guardian*, 6 octubre de 2007).

Con este panorama real de logros experimentales se ha provocado una explosión de grupos y empresas dedicadas a la "nueva biología" o la biología sintética, que a corto plazo estarán disputándose el mercado de los "organismos funcionantes". Utilizando la información pública de secuencias genéticas (GenBank) y DNA sintético ordenado por correo, prácticamente cualquiera tendrá la posibilidad de construir genes o genomas enteros. Ya existen iniciativas en este sentido: un grupo de científicos

Recientemente se habla de metagenomas: ya no importan los microorganismos, ¡importan sus genes!

En octubre de 2001, Craig Venter anunció la creación de un cromosoma artificial a partir de elementos químicos, como paso previo a la invención de la primera forma de vida artificial de la Tierra.



© Reuters/Stone

empresarios están poniendo a funcionar sus ideas hacia lo que han llamado "synbio" y conformando compañías como L5y, Amyris y Codon Devices. La idea que está basada en la utilización de la biología sintética, es crear organismos artificiales que sirvan para erradicar la malaria, producir biocombustibles y generar bacterias que puedan alimentarse de gases de invernadero para reducir el calentamiento global y organismos que realicen cualquier tipo de bioremediación.

Amyris Biotechnologies propone soluciones para problemas en el mundo real: utilizando los desarrollos de la moderna biología molecular, celular y de sistemas, están diseñando microorganismos capaces de producir compuestos de alto valor para atender retos globales de salud y energía. Se están empleando organismos vivos para la producción de fármacos novedosos, combustibles renovables y sustancias químicas especializadas. Se está trabajando en energética global, produciendo sustitutos para la gasolina y el diesel, derivados que contienen más energía que el etanol, menor costo, producen menos contaminantes y son compatibles con los motores de los carros de hoy.

Los organismos confeccionados sintéticamente podrán convertirse en bio-fábricas de combustibles, de bioremediadores, de medicinas, así como también de armas biológicas. Será una tarea para la biología planetaria regular los organismos, sistemas o artefactos producidos con biología sintética.

La empresa Codon Device habla de la biología constructiva, el nuevo paradigma para la síntesis de genes. A finales de 2006, múltiples tecnologías vanguardistas originaron la biología constructiva™, una era fundamentalmente de diseño y construcción de genes y esta empresa de base biotecnológica prepara recetas de genes y de genomas a la carta.

El incremento del uso de combustibles fósiles está produciendo cambios ambientales, el calentamiento global, la polución del aire, el agua y el suelo, así como la pérdida de la diversidad biológica. Synthetic Genomics Inc., empresa fundada por Venter, está desarrollando estrategias genómicas novedosas para direccionar la energía global y los cambios ambientales. Los avances actuales en genómica sintética están mostrando grandes probabilidades para revolucionar la producción de energía, la industria química y farmacéutica y la bioremediación ambiental. En su página web <http://www.syntheticgenomics.com> se lee:

Imagine a future...

When researchers can use a modular, software-like product
To design new microbial genomes
Which are manufactured
On an industrial scale...

Imagine a future...

Where clean, environmentally
friendly microorganism produce
The bulk of industrial materials
That today are made
From petrochemicals...

Imagine a future...

When specifically tailored
Organisms harness the sun
To create clean energy...

Esta compañía aspira a crear microorganismos sintéticos que produzcan combustibles como etanol e hidrógeno. Desarrolla el uso de plantas y microorganismos para tareas variadas que van desde generar energía hasta remover carbono de la atmósfera. La empresa asegura estar en una posición única para producir una revolución biológica industrial. Y está comprometida para generar un futuro de energía limpia mediante la genómica.

La manipulación y creación de nuevas formas de vida conllevan grandes complejidades. ¿Quién va a controlarlas? ¿Quién puede asegurar su bioseguridad ambiental? ¿Quién evaluará el riesgo de su utilización? ¿Cómo se fiscalizará la investigación? ¿Deberíamos apoyar esta revolución de esta manera cuando los cuestionamientos ambientales y en torno a la seguridad humana son tan vastos? ¿Quién decide? ¿Que está haciendo el sistema educativo contemporáneo para preparar a los hombres del mañana de manera que puedan generar el mundo que todos queremos? ¿Sabemos realmente lo que queremos? ¿Qué cambios necesita la educación del siglo XXI, siglo de la inteligencia, más precisamente, el siglo de la racionalidad científica y tecnológica, el siglo de la Sociedad del Conocimiento y, por ende, de la nueva ciencia, la nueva biología, la genómica sintética y la cultura biológica?

Y no es difícil sustentar el entorno que rodea y rodeará a los humanos en los próximos años. La nueva sociedad en la que viviremos estará conformada por al menos cinco características bien definidas: 1) una alta rotación del saber; lo que hoy aprendemos es muy pronto obsoleto o falso; 2) un papel preponderante de la ciencia y la tecnología en nuestra vida cotidiana. Cuando apenas entendíamos el mecanismo de replicación, traducción y transcripción del DNA, pasamos rápidamente al de DNA recombinante y de éste a organismos transgénicos, a la genómica y clones, incluyendo clones humanos, y de ahí a la biología sintética; 3) un mayor contenido tecnológico en todos los oficios, que requieren un conocimiento básico cada vez mayor; 4) un cambio radical en el tipo de industrias con mayor potencial y crecimiento, que en esta nueva sociedad serán las industrias del conocimiento: informática, biotecnología, microelectrónica, robótica, genómica sintética, entre otras; y 5) la necesidad imperiosa de tomar decisiones basadas en el conocimiento sobre los cuatro aspectos anteriores, desde una perspectiva biológica. El aumento exponencial del conocimiento no tiene una relación directa con el aumento de la sabiduría para manejarlo; de esta forma, la biología debe verse como un proceso necesario, ineludible e impostergable en la búsqueda incesante de la "sabiduría" para desarrollar el conocimiento de cómo usar el conocimiento, de estructurar siempre el pensamiento para mejorar las condiciones del planeta y de todos los seres vivos, incluyendo la supervivencia y la mejora de la condición humana y del ecosistema.

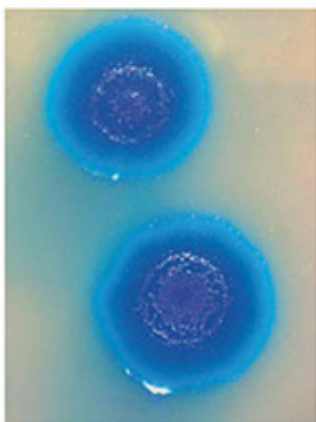
Poner la biología en el centro del desarrollo para humanizarlo es una tarea urgente que, sin duda, por primera vez en la historia de la humanidad no constituye solamente un imperativo moral, sino también una cuestión de supervivencia. Se requiere el desarrollo del conocimiento, pues es una de las salidas a la problemática ambiental. No es desde la ignorancia que podemos atacar problemas tan mayúsculos como el calentamiento global, por lo que las iniciativas que viene proveyendo la "nueva biología" constituyen uno de los asideros que tenemos. Sin embargo, debemos tener ojo avizor, ya que la ciencia va más rápido que la discusión biológica de sus métodos y resultados, poniéndonos en una encrucijada cada vez mayor. Las preguntas son entonces: ¿cómo no parar los adelantos científico-técnicos que están ocurriendo?, ¿cómo asegurar o por lo menos discutir la conveniencia de tales adelantos para solucionar los grandes problemas planetarios? Y tal vez una pregunta decisiva: ¿tenemos los humanos conocimiento de las transformaciones que están ocurriendo y van a ocurrir a mediano plazo y corto plazo?

La manipulación y creación de nuevas formas de vida conllevan grandes complejidades. ¿Quién va a controlarlas? ¿Quién puede asegurar su bioseguridad ambiental? ¿Quién evaluará el riesgo de su utilización? ¿Cómo se fiscalizará la investigación?

Referencias

- Cely Galindo, G. (ed.) (2005). *El horizonte biotético de las ciencias*, Bogotá, Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Del Arco, J. (2008). "La llamada Nueva Biología y la célula como holón profundo", [en línea], disponible en: http://www.tendencias21.net/biologia/index.php?action=article&id_articulo=898199, recuperado el 30 de septiembre de 2008.
- Gibson, D. et al. (2008, enero). "Complete Chemical Synthesis, Assembly, and Cloning of a *Mycoplasma genitalium* Genome", en *Science Express*, vol. 319, núm. 5867, pp. 1215-1220.
- Gross, L. (2007). "Untapped Bounty: Sampling the Seas to Survey Microbial Biodiversity", en *PLoS Biol* 5: e165. doi:10.1371/journal.pbio.0050085.
- Houghton, R. A. y Hackler, J. L. (2001). "Carbon Flux to the Atmosphere From Land-use Changes: 1850 to 1990" [en línea], disponible en: <http://ediac.ornl.gov/epubs/ndj/ndp050/ndp050.html>, recuperado el 4 de septiembre de 2008.
- Lartigue, C. et al. (2007, junio). "Genome Transplantation in Bacteria: Changing One Species to Another", en *Science Express*, vol. 317, núm. 5858, pp. 632-638.
- "Lyotard: The Postmodern Condition" (2008). [en línea], disponible en: <http://userwww.service.emory.edu/~mhulber/Research/Paper/pcilyotard.html>, recuperado el 30 de agosto de 2008.
- Morin, E. (2000). "Estamos en un Titanic" [en línea], disponible en: <http://www.scribd.com/doc/13585892/Estamos-en-Un-Titanic-Edgar-Morin>, recuperado el 8 de septiembre de 2008.
- Potter, Van Rensselaer (1970). "Bioethics, the Science of Survival", en *Perspectives in Biology and Medicine* 14, pp. 127-153.
- Stainforth, D. et al. (2002). "Climateprediction.net: Design Principles for Public-resource Modeling Research", Proceedings of the 14th IASTED International Conference PARALLEL AND DISTRIBUTED COMPUTING AND SYSTEMS November 4-6, 2002, Cambridge, USA.
- Smith, Leonard (2002). "What Might we Learn from Climate Forecasts? PNAS Vol. 99 No. Suppl 1, pp. 2487-2499.

■ Colonias de la bacteria *Mycoplasma mycoides* transformadas.



© J. Craig Venter Institute



Brugmansia o Belladonna, de la familia Solanaceae. En Colombia se la conoce como cacao sabanero o borrachero. De ella se extrae una droga llamada atropina que tiene varios usos en la medicina clásica. Es una planta altamente alucinógena de donde se extrae la escopolamina. (Zipacón, Cundinamarca, Bosque de Niebla)

FOTO: SUSANA CARRIÉ

Darwin, creador de dos teorías en conflicto aparente:

selección natural

Y

pangénesis

EUGENIO ANDRADE
PROFESOR TITULAR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

leandradep@unal.edu.co

Introducción y antecedentes

La comunidad científica concuerda en afirmar que la teoría de Darwin es la que identifica al evolucionismo científico por excelencia, y por esta razón se ha convertido en el punto de referencia ineludible para rebatir las explicaciones vitalistas por un lado, y las creacionistas por el otro. El vitalismo se refiere a la explicación según la cual las propiedades de la vida se deben a una "sustancia", como los "principios vitales" de Newton y los "fluidos vitales" como el calor de Lamarck. Este pensamiento fue superado cuando la termodinámica demostró que el calor no existía como "fluido", sino que era una propiedad dependiente del movimiento atómico o molecular, cuando F. Wöhler sintetizó la materia orgánica (urea) a partir de un componente inorgánico (cianato de amonio) en 1828. No obstante, Darwin aceptó la existencia del *nixus formativus* o "principio vital formativo" para explicar la regeneración de las partes y la producción de la forma orgánica a lo largo del desarrollo, dado que en su época no había una explicación mecánica a estos fenómenos, pero mantuvo la convicción de que algún día esta explicación sería posible.

Por otra parte, el creacionismo se refiere a la acción directa de Dios en la producción de todas las especies —en un pasado remoto— en su forma actual, posición no sólo apoyada en el ámbito religioso sino entre los fundadores del pensamiento mecánico como Newton.

Posteriormente el mecanicismo newtoniano superó su alianza original con el creacionismo cuando, gracias a Darwin, se comenzó a entender la creación de las formas de vida como un proceso gradual de transformación a partir de ancestros comunes por acción de la selección natural. No obstante, Darwin mantuvo un telismo filosófico justificado en la existencia de leyes universales absolutas. Al respecto afirmó en *El origen de las especies*:

Autores de la más alta eminencia parecen estar completamente satisfechos con la visión de que cada especie fue creada independientemente. Para mí concuerda mejor con lo que conocemos de las leyes impresas en la materia por el Creador, que la producción y extinción de los habitantes pasados y presentes del mundo se ha debido a causas secundarias, como las que determinan el nacimiento y la muerte del individuo (la selección natural) (Darwin [1859], 1997: 402).

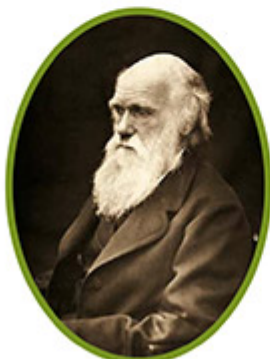
Independientemente de qué tan profundas hayan sido las rupturas con el pensamiento vitalista por un lado y el telismo por el otro, Darwin sin duda alguna inauguró un nuevo modo de pensar la naturaleza, al proponer un mecanicismo causal de la transformación gradual de las especies conocido como selección natural. Pero este planteamiento notable de Darwin —que se ha divulgado mediante la fórmula condensada de "evolución por selección natural de variaciones aleatorias"— no debe hacernos olvidar que coexistió con la hipótesis, complementaria y aparentemente antagonista, de la pangénesis formulada por él mismo. Es decir, al creador de dos teorías se le otorga el máximo reconocimiento por la primera, dejando la segunda como una curiosidad para los historiadores de la biología.



• JEAN BAPTISTE DE MONET,
caballero de Lamarck.



• GEOFFROY DE SAINT-HILAIRE



• CHARLES DARWIN

Estamos pues ante dos facetas disímiles de un mismo Darwin: una reconocida y otra olvidada, o mejor ante un autor creativo y crítico que, en aras de buscar una mayor coherencia, elaboró una hipótesis complementaria a riesgo de que la primera (selección natural) perdiera algo de importancia en favor de la segunda (pangénesis). En la historia que sigue veremos que la estrategia de Darwin consistió en proteger el núcleo central de la teoría de la selección natural, utilizando la segunda como explicación complementaria sobre el origen de las variaciones.

El método de inferencia darwiniana reveló a la ciencia un tipo de objetividad de la cual muchos dudaban y que, como decía William Whewell, se apoya en el hecho de que si dos o más observaciones independientes señalan en una misma dirección debe ser porque indican o apuntan a una verdad. Darwin combió hábilmente una diversidad de argumentos —al reconocer la gran complejidad del mundo viviente, manifestada en la dificultad de condensar la explicación en una fórmula definitiva—, e integró distintos tipos de evidencias (registros fósiles, diversidad y distribución geográfica de las especies, estudios embriológicos, cruce dirigido para la obtención de razas animales, etc.) no sólo para justificar el fenómeno de la evolución, del cual G. L. Buffon en 1753 y E. Geoffroy de Saint-Hilaire en 1833 habían proporcionado evidencias convincentes, sino sobre todo para proponer un mecanismo o explicación causal de la misma.

Una vez admitido que existen familias en los vegetales y en los animales, que el asno pertenece a las familias del caballo y que sólo se diferencia de él en que es una degeneración suya, podemos igualmente decir que el mono pertenece a la familia del hombre y que es un hombre degenerado. Podemos decir también que hombres y mono, como caballo y asno, tienen un origen común; que en toda la familia, tanto animal como vegetal, hay un único tronco, e incluso que todos los animales proceden de uno sólo que con el paso del tiempo, al ir perfeccionándose o degenerando, ha dado origen a todas las demás razas animales (Buffon, 1753 en Jahn et al. 1987: 226).

El mundo externo altera la forma de los cuerpos organizados. Estas modificaciones se heredan e influyen al resto de la organización animal. Cuando estas modificaciones conllevan a efectos perjudiciales, los animales que las presentan perecerán y serán reemplazados por otros de forma diferente, una forma cambiada de modo que se adapta al nuevo medio ambiente (Geoffroy de Saint-Hilaire, 1833).

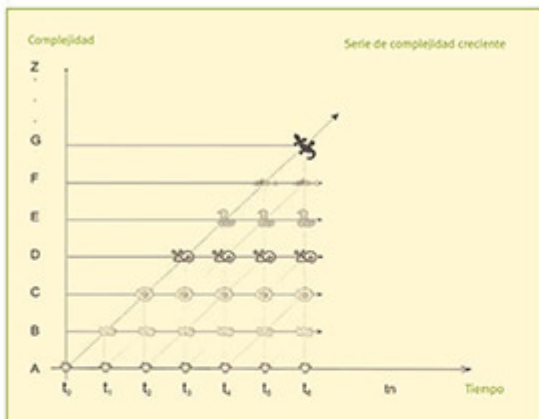
Es de singular importancia conocer la influencia de Jean Baptiste de Monet, caballero de Lamarck, quien en su obra *Filosofía zoológica* publicada en 1809 —el mismo año del nacimiento de Darwin— propuso una tesis sobre el mecanismo causal de la transformación. Para Lamarck existían dos factores de modificación: primero, el plan de la naturaleza y segundo, el hábito que conlleva al uso y desuso de los órganos.

De acuerdo al primero, la naturaleza viviente posee una tendencia intrínseca a modificarse yendo de lo más simple a lo más complejo, proceso que se reinicia permanentemente a partir de cada generación espontánea.

En uno de los extremos de la serie encontramos los animales más perfectos en todos los sentidos, y cuya organización es más compleja; mientras que en el extremo opuesto de la misma serie se encuentran los más imperfectos que existen en la naturaleza, aquellos cuya organización es más simple, y que apenas se reconocen dotados de animalidad (Lamarck, [1809] 1966: 109).

• Figura 1

El eje Y representa la complejidad creciente de la serie de formas vivas A, B, C, D, E, F, G... y el eje X representa el tiempo. Para Lamarck la evolución transcurre por "líneas paralelas" replicando la misma serie de formas desde las más simples (A) hasta las más complejas (G), a partir de diferentes eventos de generación espontánea. Un corte temporal en G permite ver la serie continua de formas (Diagrama modificado de Jablonka y Lamb, 1999: 9).



De acuerdo al segundo factor, los organismos son desviados de su plan natural por el medio ambiente y, en consecuencia, se ven compelidos a modificar sus hábitos, costumbres y modos de vida, generando modificaciones en el uso y desuso de los órganos que son transmitidas a la descendencia.

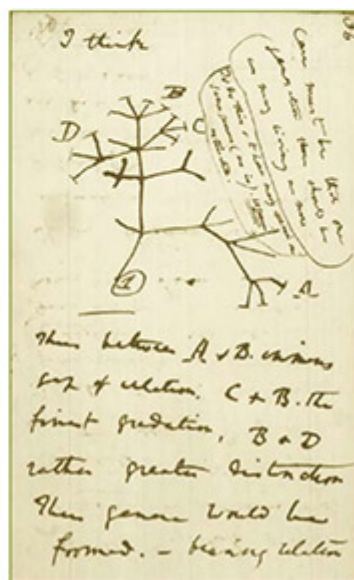
Todo lo que la naturaleza ha hecho que los organismos ganen o pierdan por la influencia de las circunstancias a las que han estado expuestos por largo tiempo, y en consecuencia por la influencia predominante del uso y desuso constante de un órgano o parte, se conserva a través de las generaciones en los nuevos individuos que descienden de ellas, provisto que estos cambios son comunes a los dos sexos o al menos en aquellos que producen nuevos individuos (Lamarck [1809], 1986: 175).

Para entender el pensamiento de Darwin hay que examinar cómo se gestaron sus teorías, las evidencias empíricas existentes, y el contexto social y cultural de su validación. Al respecto, he identificado cinco etapas, las dos primeras que lo llevaron a proponer la evolución como descendencia con modificación a partir de ancestros comunes en contra de las visiones fijistas¹ y, las tres siguientes, orientadas a la búsqueda de mecanismos causales (Andrade, 2009: 130-131).

1. Se entiende por fijismo la corriente de pensamiento que considera que las especies vivas han permanecido inalterables desde la creación. Carl von Linné (1707-1778), autor del sistema de clasificación u ordenación de todos los seres vivos, sostuvo que las especies habían sido creadas de un modo independiente. El descubrimiento de los fósiles, que sugerían la existencia de formas extinguidas, planteaba un enigma. George Cuvier (1769-1832) intentó solucionar el problema sugiriendo que la Tierra había sufrido cataclismos o catástrofes frecuentes, como el diluvio universal de la Biblia, que provocaron la extinción de todas las especies y que, posteriormente, nuevas formas habían sido creadas.

1. Darwin mecanicista

Desde 1831 hasta 1836, Darwin fue influenciado por la teología natural de William Paley y por la doctrina mecanicista recibida mediante la lectura de los principios de geología de Charles Lyell. Esta etapa marcó el inicio de su trayectoria con el convencimiento de que los organismos están adaptados al medio ambiente, la existencia de leyes en la naturaleza y la posibilidad de aceptar transformaciones graduales, sin por eso atender contra el orden mecánico racional del universo. Esto quiere decir que debería ser posible explicar —de acuerdo a ciertas causas inmediatas y en conformidad a leyes naturales— el indiscutible fenómeno de la adaptación que Paley presentaba como argumento central de la existencia de Dios. Además, este período de su vida estuvo marcado por la huella imborrable que le produjo el contacto con la exuberancia y la diversidad de especies en el trópico. El viaje alrededor del mundo y en particular al continente suramericano fue definitivo en su formación intelectual al constatar, entre otros hechos, la similitud entre los fósiles de mamíferos gigantes extintos y los actuales, la existencia de fósiles de caballos en un continente donde supuestamente no había caballos, y la diversidad de tortugas, iguanas y aves en islas cercanas pertenecientes al archipiélago de las Galápagos que lo indujo a preguntarse si había uno o varios centros de creación o dispersión de las especies, inclinándose por la hipótesis del origen único.



• Figura 2

Abel tomado del cuaderno B de Darwin (1837) que describe la ramificación de las especies a partir de nodos que representan los géneros, y donde se indican los ancestros. Los ramos terminados en "T" representan extinciones. Para más información, véase <http://darwin-online.org.uk/>

Imagen de www.darwinonline.org.uk

2. Darwin recapitulacionista

Desde 1836 hasta 1854, Darwin recibió el influjo de los embriólogos recapitulacionistas que veían en el desarrollo del embrión una repetición breve y comprimida de la larga serie de transformaciones por las cuales transcurrieron las formas ancestrales a lo largo de la evolución de las formas más simples y homogéneas, a las más complejas y heterogéneas. Igualmente fue decisivo el estudio de las leyes del desarrollo de Karl von Baer (1828), según el cual el desarrollo embrionario transcurre de lo más general a lo más específico, planteamiento que lo indujo a concebir la evolución como un proceso de desarrollo dirigido hacia una mayor diferenciación o especificación por adición de etapas (Richards, 1998: 126-131). De esta manera explicó la unidad de tipo, proponiendo la existencia de ancestros comunes cuya forma podemos descubrir examinando las etapas tempranas de la embriogénesis. La ley de la semejanza embrionaria y la existencia de caracteres homólogos se convirtieron en argumentos a favor de la existencia de un ancestro común. En la siguiente cita se ve su aproximación a la idea de evolución, a partir de un ancestro común, utilizando como mecanismo la adición de etapas al desarrollo en los organismos jóvenes y su fijación o transmisión a las siguientes generaciones.

Al ver que todos los vertebrados [...] pueden ser rastreados hasta un germen, dotado de principio vital [...] y sabiendo por analogía, que absolutamente todos estos animales descienden de algún tronco único, uno llega a sospechar que el nacimiento de las especies y el de los individuos en sus formas actuales están estrechamente relacionados; por nacimiento, las sucesivas modificaciones de la estructura se añaden al germen, en un cierto momento (incluso en la infancia), cuando la organización es flexible, tales modificaciones se hacen en gran medida fijas, como si se añadieran a los viejos individuos, durante miles de siglos; cada uno de nosotros, entonces, ha pasado por tantos cambios como cualquier otra especie (Darwin, 1878 en Richards, 1998: 117).

Figura 3
Portada de la monografía sobre los cirrípedos de 1851.

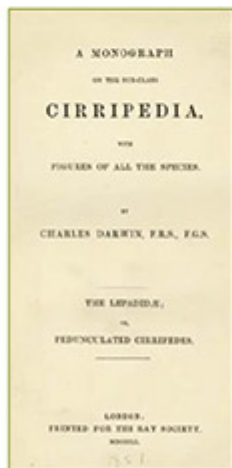


Imagen de www.darwin-online.org.uk

Imagen de www.darwin-online.org.uk

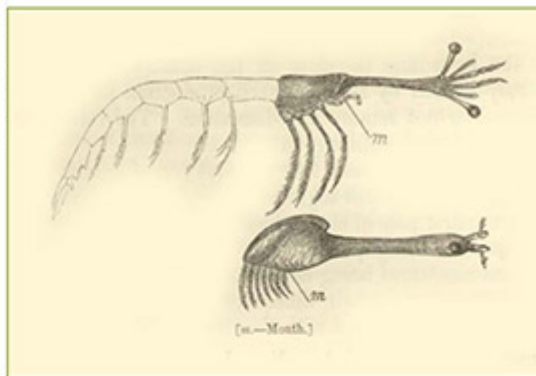


Figura 4
Ilustración de los homólogos entre un crustáceo estadiado adulto (Lepidodermis) y una larva de percebe (Lepadus). Para más información, véase <http://darwin-online.org.uk/>

En esta etapa, Darwin se impuso el reto de estudiar la taxonomía de los cirrípedos o percebes, registrando observaciones minuciosas y detalladas de 10.000 variedades de este grupo de crustáceos marinos (familia Lepidodermidae), estudio que le sirvió para confirmar su idea de que el desarrollo embrionario muestra la historia filogenética, proponiendo así su correcta ubicación taxonómica derivada de la estructura de su forma larval homóloga a los crustáceos y no a los moluscos a los que se asemejan las formas adultas, derribando así las tesis de Cuvier sobre la discontinuidad entre vertebrados, artrópodos, moluscos y radiolarios.

3. Darwin neolamarckiano

Desde 1854 hasta 1859, Darwin reconoció la importancia de los mecanismos lamarckianos de modificación como el hábito, el uso y desuso de los órganos, y la herencia de las características adquiridas como respuesta de los organismos a las condiciones de vida. La idea de selección natural que venía acariciando a partir de la primera lectura del *Ensayo de población* de Thomas Malthus y que incluso había mencionado al comienzo de sus *Cuadernos de notas* de 1837 o 1839, todavía no cumplía un papel preponderante. En esa época, Darwin sostenía que la presión impuesta por la escasez de recurso estimula la capacidad inventiva de los organismos que los lleva a proponer nuevas estrategias para sobrevivir, profundizando cada vez más la división del trabajo en la naturaleza. Es el origen del concepto de divergencia entre los individuos de una misma especie que surge no por azar, sino como respuesta a las condiciones severas impuestas por el medio. En 1855, Darwin conoció un artículo de Alfred Russel Wallace publicado ese mismo año en una revista de historia natural y titulado "Sobre la ley que regula la introducción de nuevas especies". Wallace demostraba que había una continuidad real entre las variantes y las especies, hecho que motivó a Darwin a acelerar la escritura de una obra que había decidido llamar "Selección natural".

En este período, en una carta a Joseph Hooker, se expresó acerca del concepto de especie, en torno a la cual los científicos tienen opiniones muy diversas, algunas basadas en la similitud, otras en la capacidad de dejar descendencia, otras en la esencia creada y otros criterios arbitrarios y risibles que provienen de insistir en definir lo indefinible. De ahí su adhesión a una ontología individualista y no

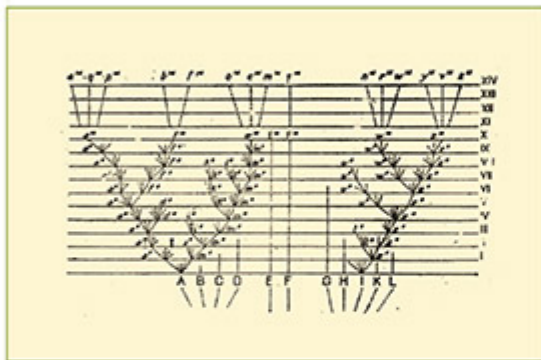
esencialista³, que explica por qué Darwin en *El origen de las especies* se refirió al carácter histórico y contingente de las mismas.

4. Darwin darwiniano

El período entre 1859 y 1868, que caracteriza su madurez intelectual, transcurrió entre las fechas de publicación de sus dos obras más ampliamente conocidas: *El origen de las especies por selección natural* o *la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la vida* y *El origen del hombre y selección en relación al sexo*, en las cuales expuso la idea de una evolución diversificadora a partir de ancestros comunes como resultado de la selección natural. Desde entonces no hay retorno posible a la noción de plan de la naturaleza que defendía Lamarck.

Figura 5

Árbol filogenético publicado en el origen de las especies donde se observa que la evolución es un proceso de ramificación o diversificación a partir de ancestros comunes, por efecto de la selección natural. El árbol no puede ser simétrico puesto que solamente aparecen los linajes que sobreviven. Los números romanos del I al XIV representan las familias primateas, las letras de la A hasta la L representan las especies originales de las que B, C, D, E, G, H, K, L se han extinguido, y F permanece constante hasta el presente. Los descendientes de A e I divergen formando B e I familias respectivamente que en el momento presente (000) pueden agruparse como monos, gibones, chimpancés y humanos.



En cuanto al origen de las variaciones evolutivas, Darwin osciló entre variaciones dirigidas a las condiciones de vida al modo lamarkiano y variaciones independientes de las necesidades y condiciones de vida, que caracterizan la contribución proglamente darwiniana. Darwin propuso que el medio ambiente actúa de forma directa e indirecta; en el primer caso, todos los organismos se modifican de la misma manera al modo de Lamarck; y en el segundo caso, se generan variabilidades fluctuantes. La variación plástica y fluctuante a la que se refiere Darwin surge como consecuencia del estrés que implica el enfrentarse a ambientes cambiantes; equivale a la variación azarosa y constituye la materia prima de la selección dirigida, la cual conduce a la obtención de razas. En la naturaleza esta variación es, por analogía, la materia prima para la producción de nuevas especies por selección natural. Por el contrario, la influencia directa del medio ambiente se manifiesta en la capacidad que tienen los organismos de una misma población a ceder o ajustarse a las condiciones de vida de la misma manera, en plena concordancia con las tesis de Lamarck.

3. Para Darwin los individuos tenían una existencia real, no las especies. A partir de esta idea, Mayr (1942:121) definió el concepto biológico de especie como grupos de poblaciones naturales que se cruzan entre ellos y que están reproductivamente aislados de otros, y no por la posesión de una esencia manifestada en la presencia de características comunes.

La acción directa del cambio de condiciones nos lleva a resultados definidos e indefinidos. En este último caso, el organismo se asemeja al plástico, y tenemos una gran variabilidad fluctuante. En el primer caso, la naturaleza del organismo es tal, que cede rápidamente cuando se encuentra influenciado por determinadas condiciones, y todos o casi todos los individuos se modifican de la misma manera (Darwin, [1859] 2001: 129).



Figura 6

Ejemplos de razas de palomas obtenidas por selección artificial. La variabilidad fluctuante, debida a la acción indirecta de las condiciones de vida o medio ambiente sobre los organismos, es la materia prima de la selección artificial que aumenta la intensidad de los rasgos seleccionados, mediante el cruce dirigido, dando lugar a nuevas razas. De modo análogo la selección natural genera nuevas especies. Las figuras fueron tomadas directamente del libro Las variaciones de plantas y animales en domesticación de Darwin. Para mayor información, véase <http://darwinonline.org.uk/>

En la siguiente cita, Darwin explica la razón de su preferencia por la producción de variaciones, independientemente de las necesidades y condiciones de vida de los organismos, o azarosas en cuanto se ignoran las causas de cada variación particular.

[...] además, todo naturalista sabe de innumerables ejemplos de especies que se mantienen constantes o que no varían nada, a pesar de vivir en los climas más apurados. Consideraciones de este tipo me inclinan a atribuir menos peso a la acción directa de las condiciones ambientales, que a una tendencia a variar debida a causas que ignoramos por completo (Darwin, [1859] 2001: 126).

Estas variaciones mínimas entre individuos son objeto de la selección natural, que retiene a las más adaptadas y elimina a las menos adaptadas en la lucha por recursos escasos. No se trata de un alejamiento por degeneración de una forma arquetípica ideal, ni de un necesario perfeccionamiento de acuerdo a un plan natural, sino de una selección por adaptación a condiciones locales muy específicas y contingentes del medio ambiente. Dentro de esta perspectiva, el principio de divergencia individual se convirtió en el factor más importante de la evolución de las especies. El concepto de selección natural surgió por analogía a la selección artificial de razas por cruce dirigido, pero adquirió una mayor solidez al adoptar las tesis demográficas de Thomas R. Malthus sobre el crecimiento aritmético de los recursos y el crecimiento geométrico de la población, llegando a un punto de exceso poblacional en el que la fuerza de la escasez de recursos o la selección natural, restablece el equilibrio entre población y recursos eliminando a los menos aptos.

El concepto de selección natural introdujo un modo verbal, que corresponde a una acción continua en el presente, requerido para explicar que el orden en las producciones de la naturaleza no está prefijado, sino definido en cada momento, en el aquí y el ahora, tal como ocurre en el mundo de la competencia y la lucha por los recursos disponibles que son escasos ante una población que tiende a crecer exponencialmente. De forma metafórica, Darwin afirmó que:

Metafóricamente puede decirse que la selección natural está inspeccionando cada día y cada hora, por todo el mundo, las más ligeras variaciones, rechazando las que son malas, conservando y acumulando todas las que son buenas; bajando siglos e insensiblemente, cuando quiere y donde quiere que se presente la oportunidad, por el perfeccionamiento de cada ser orgánico en relación con sus condiciones orgánicas e inorgánicas de vida (el subrayado de las cinco formas verbales en gerundio es mío) (Darwin, [1859] 2000: 84).

El poder explicativo de la teoría de la selección natural es, sin duda, el legado más importante de Darwin a la cultura humana, idea que ha tenido una fecundidad imprevista por él mismo, ya que está abierta a otro tipo de interpretaciones no sólo mecánicas, sino mecánico-estadísticas y, más recientemente, epigenéticas e incluso semióticas (Andrade, 2007).

En este punto hay que insistir una vez más que las teorías no nacen puras e incontaminadas, se gestan en un ambiente de discusión e interpretación de las evidencias empíricas y por tanto, aun en el origen de los especímenes, podemos rastrear elementos lamarkianos en cuanto al posible mecanismo de modificación. La descripción general del proceso evolutivo a partir de ancestros comunes defendida por Darwin, impide que haya un retorno al lamarkismo puro que parta de series de modificación dirigidas a mayores grados de complejidad a partir de sucesivas generaciones espontáneas. El lamarkismo de la segunda mitad del siglo XIX es una interpretación del darwinismo con mecanismos lamarkianos, es decir, sin revivir la cosmovisión lamarkiana. Darwin reconoció expresamente la complejidad del mundo viviente y por tanto fue consciente de la dificultad de encontrar una ley de variación, preocupación que lo acosó toda la vida.

La importancia que Darwin concedió en *El origen al uso y desuso en la transformación*, que opera adiciando o incorporando modificaciones no puede ser más clara:

Cualquiera que fuese la influencia que el largo y continuado ejercicio o uso, por una parte, y el desuso, por otra parte, hayan tenido en la modificación de un órgano, tal influencia afectaría principalmente al animal maduro, que tuvo que alcanzar por completo sus facultades de actividad y ganarse la vida por sí mismo, y los efectos así producidos, se heredarán a la correspondiente edad madura (Darwin, [1859] 1997: 369-370).

Y continúa diciendo, en consonancia con su visión embriológica de la variación, que las adquisiciones o modificaciones surgidas a consecuencia del uso y desuso se convierten en extensiones del desarrollo.

[...] el adulto difiere de su embrión debido a las variaciones que sobrevienen en edad temprana y que se han heredado en la época correspondiente. Este proceso que deja casi inalterado el embrión, añade continuamente en el curso de generaciones sucesivas, más y más diferencias en el adulto. De esta manera, viene a resultar el embrión una especie de retrato, preservado por la naturaleza, de la condición antigua y menos modificada de cada animal (Darwin, [1859] 1997: 289).

5. La hipótesis provisional de la pangénesis

Desde 1868 hasta el final de sus días en 1882, reconocemos a un Darwin que prefiguró el carácter discreto de los factores hereditarios los cuales denominó "gémulas", dentro de un esquema conceptual que para él tenía un carácter provisional, en espera de mejores evidencias para justificar una hipótesis más sólida.

Darwin intentó explicar —en términos de la recién difundida teoría celular— cómo el medio ambiente podía influir o afectar el material hereditario. La pangénesis tiene como trasfondo la idea de que la herencia es una función del sistema reproductivo, cuya ley es transmitir fielmente los caracteres de padres a hijos, mientras que la variación constituye una anomalía producida por cambios en las condiciones de vida o el medio ambiente. Es decir para Darwin variación y herencia operan como fuerzas antagónicas (Churchill, 1987: 343-345; Bowler, 1989: 25, 68).

La pangénesis tenía una importancia fundamental para Darwin, puesto que en el siglo XIX se asumía que cuando dos razas distintas coexistían en igual número, con el tiempo se mezclarían completamente, fenómeno que terminaría por eliminar a las variantes ventajosas dentro de la población. En consecuencia, era esencial postular la existencia de una fuente intensa de variación que contrarrestara la pérdida debida a la herencia por mezcla.

La hipótesis debía explicar, además, los siguientes fenómenos ilustrados con numerosos ejemplos:

1. La reaparición repentina de un carácter perteneciente a un ancestro remoto.
2. La transmisión hereditaria de los efectos del uso y desuso sobre un órgano.
3. La producción de híbridos por injerto (fusión de tejidos pertenecientes a plantas diferentes) sin la participación de los órganos reproductores.
4. La regeneración de miembros amputados.
5. La reproducción de un mismo organismo por procesos diferentes: asexual (propagación vegetativa) y sexual (fecundación).

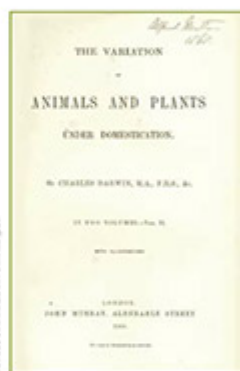


Imagen de www.darwinonline.org.uk

Figura 7

Parada del libro *Las variaciones de plantas y animales en domesticación*, publicada en 1868. Para más información, véase <http://darwin-online.org.uk/>. En su obra *Las variaciones de plantas y animales en domesticación*, publicada en 1868, Darwin justificó su esfuerzo citando a Malthus: "Las hipótesis frecuentemente son útiles a la ciencia, aun cuando involucren alguna porción de incompletitud, y de error" (Darwin, 1868: 375).

Y continúa:

Bajo este punto de vista me atrevo a lanzar la hipótesis de la pangénesis, la cual implica que cada parte del organismo reproduce a ella misma. Óvulos, espermatozoides, granos de polen, huevo fertilizado, semillas, melitomas, incluyen y consisten de una multitud de gémulas lanzados de cada parte o unidad separada (Darwin, 1868: 398).

Posteriormente se preguntó:

¿Cómo explicar el carácter hereditario de los efectos del uso, o desuso, de determinados órganos? [...] ¿Cómo puede el uso o el desuso de un determinado miembro o del cerebro, afectar a un pequeño conjunto de células reproductoras, asentadas en una parte distante del cuerpo, de tal manera que el desarrollo a partir de estas células herede los caracteres de uno o ambos progenitores? (Darwin, 1868: 372).

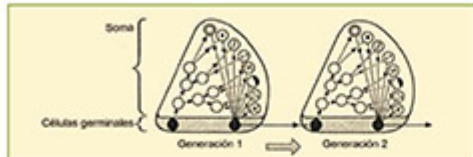
Y añadió que una respuesta imperfecta a esta pregunta sería satisfactoria, haciendo una clara invitación a aventurar hipótesis ante la necesidad de abrir caminos que permitan entender mejor las

variaciones evolutivas. Darwin enmarcó su propuesta dentro del esquema de la teoría celular de Rudolf Virchow, proponiéndose llevarla hasta sus últimas consecuencias.

Los fisiólogos suponen que las unidades del cuerpo son autónomas. Yo voy un paso más allá y conjuro que producen gémulas reproductivas. Así, un organismo no reproduce su especie como un todo, sino que cada célula por separado la reproduce. Los naturalistas han dicho que cada célula de una planta tiene la capacidad potencial para reproducir la planta en su totalidad. Pero si tiene tal capacidad es solamente porque contiene gémulas dimanadas de cada una de las partes (Darwin, 1868: 368).

Figura 8

Representación esquemática de la pangénesis de Darwin. Diagrama modificado de G. G. Simpson y citado por L. Bawa (1971: 14). De las células somáticas diferenciadas, representadas en blanco, emanan gémulas reproductivas que dan lugar a la formación de las células germinales, representadas en negro.



Este argumento revivió las propuestas de Demócrito en la Grecia antigua y de Buffon en el siglo XVII, según las cuales todas las unidades del cuerpo desprendían partículas materiales, "gémulas" o "embiones" diminutas que se repartían por todo el organismo. En otras palabras, el organismo no se reproducía como un todo sino que cada parte se reproducía a sí misma. Mientras que para Buffon la capacidad que tenían estas moléculas para formar los órganos requería de la existencia de "moldes" y de una fuerza penetrante equiparable a la gravedad, para Darwin las gémulas estarían dotadas de un "principio vital formativo" o tendencia a transformarse en el ser vivo completo o en una parte del mismo (Noguera y Ruiz, 2005).

La hipótesis iba dirigida a explicar la variabilidad evolutiva, la cual habría de buscarla en los cambios ambientales que inducen modificaciones de las partes y en la producción de gémulas, como disminución en caso de desuso de un órgano específico y sobreproducción, en caso de uso. Además, Darwin incluyó —como causa de variación— la reactivación de gémulas que habían permanecido dormidas por mucho tiempo. Tenemos de nuevo los dos tipos de variación que ya hablamos discutido: la darwiniana propiamente tal y la lamarkiana. La primera corresponde a la variación fluctuante o azarosa debida a la superabundancia, deficiencia, fusión y transposición de las gémulas que constituiría la materia prima de la selección natural; y la segunda a la modificación de las gémulas debida al uso y desuso en respuesta a las condiciones del medio que cambia "forma" a la descendencia independientemente de la selección natural. Los dos modos de variación, azarosa y dirigida, coexisten dentro de la misma hipótesis. Darwin escribió:

Quando la organización ha sido modificada por condiciones cambiantes, por el incremento o un ómnino de las partes, o por cualquier otra causa, las gémulas emitidas por las unidades modificadas del cuerpo estarán a su vez modificadas y, cuando se multipliquen suficientemente, se desarrollarán en estructuras nuevas y cambiantes (Darwin, 1868: 357).

La idea contraria a la pangénesis era la de la continuidad del plasma germinal. De acuerdo a esta última las similitudes entre padre e hijo se debían a que están condicionadas por una misma causa, mientras que la hipótesis de la pangénesis se basaba en la idea de que la forma del padre determina causalmente la forma del hijo. La idea sobre una posible continuidad del plasma germinal fue conocida por Darwin gracias a su primo Francis Galton, quien era uno de sus promotores. En 1877, Galton sometió a prueba la hipótesis de su primo, por medio de experimentos de transfusión de sangre entre razas diferentes de conejos sin observar ningún tipo de alteración en la descendencia (Jahn et al., 1990: 384-385), pero a pesar de estas evidencias experimentales Darwin siguió insistiendo en la pangénesis.

Posteriormente, en el año 1900 la idea de Galton fue desarrollada por August Weismann y se convirtió en un concepto necesario para la unión entre las teorías genéticas y evolutivas en lo que se denomina como neodarwinismo. En 1953, Watson y Crick le otorgaron a este razonamiento la categoría de dogma central, al afirmar contundentemente que están prohibidos los flujos de información de las células somáticas a las germinales, del fenotipo al genotipo, o de las proteínas al ADN.

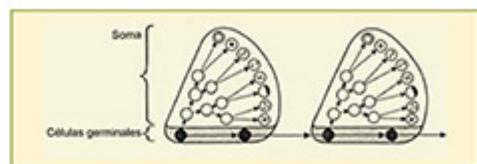


Figura 9

Continuidad del plasma germinal de acuerdo a Weismann (1892). Las células somáticas (círculos blancos) surgen por mitosis y las germinales (círculos negros) por meiosis. Según esta visión, no hay hereditabilidad de las variaciones que surgen en células somáticas (círculos blancos), sino una continuidad de las células germinales (círculos negros). Diagrama modificado de G. G. Simpson y citado por L. Bawa (1971: 14).

Conclusión

Queda pendiente despejar el siguiente interrogante: ¿por qué razón Darwin propuso y defendió la hipótesis de la pangénesis? Parte de la respuesta radica en el hecho de que Darwin creía que las condiciones de vida influyen en la producción de modificaciones que pueden ser heredables, ya que las células germinales se están reconstituyendo en todo momento a lo largo de la vida y no están —como propuso Weismann en 1892, diez años después de su muerte— predeterminadas en las primeras etapas del desarrollo, aisladas, congeladas o secuestradas al amparo de la influencia de los tejidos somáticos y, por tanto, de los factores ambientales externos. Otra de las posibles razones por las cuales Darwin no consideró alternativas diferentes a la pangénesis radica en el hecho de que no contradice la teoría de la selección natural, sino que la complementa y enriquece en dos aspectos.

Primero, porque de acuerdo a los conocimientos de la herencia aceptados entonces, para Darwin era importante responder a la objeción de Fleeming Jenkin (1867) quien sostenía que por herencia, los rasgos de los dos progenitores se mezclaban y combinaban en la descendencia y, por tanto, cualquier rasgo favorable adaptativo no se podría intensificar por efecto de la selección, sino que se diluiría hasta un valor medio. Para Darwin, el éxito de la teoría de la selección natural dependía de poder responder acertadamente esta objeción; por esta razón, consideró que la variación evolutiva no podía depender exclusivamente de factores contingentes o aleatorios que podrían llevar a la pérdida de las variaciones seleccionadas, mostrando que la producción de variaciones ventajosas y adaptativas —aunque fluctuantes y susceptibles de desaparecer por mezcla o cruce con un organismo que no las poseyera— tendían no obstante a producirse de nuevo y así era más probable que fueran retenidas por la selección natural.

Segundo, la hipótesis de la pangénesis no contradecía la selección natural, sino que abría la posibilidad de generalizar el principio de selección natural a otros niveles de la organización biológica y no limitarla exclusivamente al caso de los organismos en competición por recursos escasos. En la siguiente cita, Darwin afirma que las gémulas se autoreproducen y proliferan constituyendo un microcosmos de seres minúsculos, es decir, que existen en poblaciones numerosas, lo cual implica que si no todas sobreviven y muchas perecen, debe ser por un factor análogo de la selección natural.

[...] de las cuales unas (gémulas) brotan enseguida, otras dormitan por un tiempo, en tanto que otras perecen [...]. Un organismo es un microcosmos —un universo pequeño— constituido por una multitud de organismos que se autoreproducen y que son increíblemente minúsculos y tan numerosos como las estrellas del cielo (Darwin, 1868: 404).

En los años siguientes a la publicación de *El origen*, Darwin sostuvo que las variaciones influenciadas por el medio ambiente habrían desempeñado un papel destacado. El 24 de noviembre de 1862, escribió a J. D. Hooker diciendo que a pesar de él mismo lamentaba tener que aceptar la influencia directa del ambiente, a riesgo de debilitar la idea de la selección natural.

Apenas entiendo por qué lo siento mucho, pero mi trabajo presente me está conduciendo a creer cada vez más en la acción directa de las condiciones físicas. Presumo que lo lamento porque disminuye la gloria de la selección natural... (Darwin, 1862, Letter 3822 — Darwin, C. R. to Hooker, J. D., 24 [Nov 1862], disponible en <http://www.darwinproject.ac.uk/darwinletters/calendar/entry-3822.html>).

Después, el 13 de octubre de 1876, escribió a Moritz Wagner:

En mi opinión, el mayor error que he cometido ha sido el de no darle suficiente peso a la acción directa del medio ambiente, alimento y clima, independientemente de la selección natural. Las modificaciones así causadas, las cuales ni son ventajosas ni desventajosas para el organismo modificado, estarán favorecidas especialmente, tal como puedo ver ahora a través de sus observaciones, por aislamiento en áreas pequeñas, donde solamente pocos individuos viven bajo condiciones casi uniformes. Cuando escribí *El origen*, y durante algunos años después, tenía poca evidencia de la acción directa del ambiente; ahora hay un gran cuerpo de evidencias, y su caso de la *Saturnia* es uno de los más destacados que haya oído (Darwin, 1888: 159, véase además <http://www.fullbooks.com/The-Life-and-Letters-of-Charles-Darwin-29907.html>).

Todas estas reflexiones hacen pensar que Darwin estaba convencido de que la pangénesis explicaba el origen de las variaciones individuales, sobre las cuales actúa la selección natural. En este caso, tanto la transmisión de las características invariables como las variaciones individuales serían el resultado de gémulas "inconcebiblemente pequeñas" y "tan numerosas como las estrellas del cielo". Concluso afirmando que las dos teorías de Darwin se refuerzan, y son coherentes con lo que había escrito al final del prólogo de *El origen* cuando expresó que la selección natural no era el único, sino el principal medio de modificación (Darwin [1859] 1997:20). Es decir que la adopción de los mecanismos lamarckianos de modificación no menoscabó en nada la gloria de la teoría de la selección natural. Darwin creyó que la pangénesis constituía lo más aproximado a donde se podía llegar en la búsqueda de las leyes de variación que tanto había discutido y explorado en los capítulos I, II y V de *El origen de las especies*, y en los capítulos XXII, XXIII, XXV, XXVI y XXVII de *Las variaciones de plantas y animales en domesticación*. Debemos reconocer que la complejidad del mundo natural requiere de una diversidad de interpretaciones que, como en el caso de Darwin, enriquecen la congruencia y coherencia argumentativa del conjunto de su obra.

Agradecimientos

A Yuleni Nieto Toscano por la revisión y las sugerencias hechas al manuscrito.



Línea de Atención al Cliente Nacional 01 8000 111210

Referencias

- Andrade, E. (2007). "A Semiotic Framework for Evolutionary and Developmental Biology", en *BioSystems*, 90, pp. 389-404.
- Andrade, E. (2009). *La ontogenia del pensamiento evolutivo*, Bogotá, Sello Editorial Universidad Nacional.
- Bowler, P. J. (1989). *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Science and Society*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.
- Buffon, G. L. (1753). *Historia natural*. Tomo IV, citado por John et al., p. 226.
- Buss, L. W. (1987). *The Evolution of Individuality*, Nueva Jersey, Princeton University Press.
- Churchill, F. B. (1987). "From Heredity Theory to Vererbung: the Transmission Problem 1850-1915", en *his 28*, pp. 337-364.
- Darwin, C. (1859). 2001. *El origen de las especies*, Traducción de Elizabeth Martínez, Barcelona, Edicomunicación, S.A. Carvigraf.
- _____. (1859). 1997. *The Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*. First edition, London, John Murray.
- _____. (1862). Letter 3822 — Darwin, C. R. to Hooker, J. D., 24 [Nov 1862], disponible en <http://www.darwinproject.ac.uk/darwinletters/calendar/entry-3822.html>. También: *Life and Letters of Charles Darwin, Including an Autobiographical Chapter*, Vol 1 y Vol. II, edited by his son Francis, London, John Murray.
- _____. (1868). *Animals and Plants Under Domestication*, London, John Murray.
- _____. (1876). *Letter to Moritz Wagner*, octubre 13, p. 159.
- _____. (1888). *Life and Letters*, edited by Francis Darwin, London, John Murray, vol. III, p. 159.
- Geoffroy de Saint-Hilaire, E. (1833). *Influence du Monde Ambiant pour Modifier les Formes Animales*, *Question Intéressante l'origine des Espèces Mésozoïennes et Successivement Celle des Animaux de l'Époque Actuelle*, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, XII, p. 63, disponible en <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/hilaire.html>, recuperado en junio de 2009.
- Jablonska, E. y Lamb, M. (1995). *Epigenetic Inheritance and Evolution. The Lamarckian Dimension*, Oxford, Oxford University Press.
- Jahn, I.; Lother, R. y Senglaub, K. (1989). *Historia de la Biología. Teorías, métodos, instituciones y biografías breves*, Calabria, Barcelona, Labor.
- Lamarck, J. B. 1806 [1809]. *Filosofía zoológica*. Presentación de Adrià Casinos, Barcelona, Editorial Alta Fulla. Mundo Científico.
- Mayr, E. (1942). *Systematics and the Origin of Species*, Nueva York, Columbia University Press.
- Noguera, R. y Ruiz, R. (2005). "Pangénesis y vitalismo científico", en revista *Asclepio*, vol LVI-1, pp. 219-236.
- Richards, R. (1998). *El significado de la evolución. La construcción morfológica y la reconstrucción ideológica de la teoría de Darwin*, versión de Susana del Viso y Tomás R. Fernández Rodríguez, Ciencia y Tecnología, Madrid, Alianza Editorial.



LA BRACHISTÓCRONA: UN PROBLEMA HISTÓRICO Y UNA CURVA SORPRENDENTE

JESÚS HERNANDO OTÁLORA B.

ESPECIALISTA EN CIENCIAS FÍSICAS
MAESTRO EN ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
MIEMBRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN
EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA
PROFESOR ASOCIADO
UNIVERSIDAD DE LA AMAZONIA
FUERZAS, CAQUETÁ

bonilla@hotmail.com



La naturaleza siempre tiende a actuar en la forma más simple, y por lo tanto aquí tenemos una curva que sirve a dos funciones diferentes...

J. Bernoulli.
(Sánchez y Valóles, 2009b)

Resumen

En la historia de la ciencia se encuentran momentos que sirven para un doble propósito. En primer lugar, recrean el desarrollo de las ciencias mostrando la parte humana de sus actores y de la ciencia misma, y en segundo lugar, permiten convertir, de forma amena, la historia de las ciencias en una herramienta didáctica que facilita la claridad conceptual. Con el problema de la brachistócrona presentado aquí, se pretende mostrar ese doble propósito al cual puede servir la historia de la ciencia.

Introducción: el reto

En junio de 1696 en la revista *Acta Eruditorum* se publicaron las siguientes palabras:

Yo, Johann Bernoulli, me dirijo a los matemáticos más brillantes en el mundo. Nada es más atractivo para la gente inteligente que un honesto y retador problema, cuya posible solución otorgará fama y permanencia como un monumento perdurable. Siguiendo el ejemplo dado por Pascal, Fermat, etc., yo traigo la esperanza de ganar la gratitud de toda la comunidad científica colocando ante los matemáticos más finos de nuestro tiempo un problema que probará sus métodos y la fuerza de su intelecto. Si alguien me comunica la solución del problema propuesto, yo lo declararé públicamente merecedor de fama. (O'Conner y Robertson, 2009).

Con estas afirmaciones Johann Bernoulli retaba a los grandes matemáticos a solucionar el problema de la brachistócrona (del griego *brachisto* (βραχιστο) el más corto, y del griego *Chronos* (χρονος) tiempo, tardar), el cual puede formularse como: dados dos puntos A y B en un plano vertical, ¿cuál es la curva trazada por un punto afectado solamente por la gravedad, que comienza en A y alcanza a B en el tiempo más corto?, o en una forma más moderna y divertida: ¿cuál es la forma que es necesario darle a un tobogán de los jardines infantiles de tal manera que se minimice el tiempo de descenso? (Anekin, 2009).

Para esa época Gottfried Leibniz e Isaac Newton ya se encontraban en una agria controversia sobre la prioridad en la invención del cálculo infinitesimal, lo que llevó a Leibniz a proponerle a Bernoulli la ampliación del plazo inicial de tres a seis meses para la solución del problema, con el fin de que los matemáticos extranjeros pudieran participar, con las siguientes palabras:

[...] hay pocos quienes están aptos para resolver nuestros excelentes problemas, y menos aún entre los muchos matemáticos quienes se jactan de que (ellos) [...] han maravillosamente extendido sus límites por medio de teorías brillantes los cuales (ellos piensan) nos los conoce uno, pero que de hecho habían sido publicados previamente por otros (O'Conner y Robertson, 2009).

Clara referencia a Newton.

El problema fue resuelto por cinco grandes matemáticos: Gottfried W. Leibniz (1646-1716), Johann Bernoulli (1667-1748), Jacob Bernoulli (1655-1705), Isaac Newton (1642-1727) y Guillaume Françoise Antoine de L'Hôpital (1661-1704).

A decir de John Conduitt, biógrafo de Newton y quien contrajo matrimonio con Catherine Barton, sobrina de Newton, este último resolvió el problema en el término de doce horas, hacia las cuatro de la madrugada después de un día de fatigoso trabajo.

Newton envió en forma anónima la solución a la Royal Society; una vez conocida la solución por Johann Bernoulli, éste reconoció a Newton como el autor y expresó su famosa frase: "Por las ganas se conoce al león".

Una familia notable: los Bernoulli

Según Eric Temple Bell, los Bernoulli "fueron una de las muchas familias protestantes que huyeron de Amberes en 1583 para escapar de la matanza de los católicos (como en las vísperas de San Bartolomé) en su prolongada persecución de los hugonotes" (Bell, 2001). Se establecieron en Basilea, país de Suiza y la generación suiza de esta familia estuvo encabezada por Nicolaus Senior (1623-1708), quien a pesar de seguir la tradición de comerciantes de la familia no logró acumular una gran fortuna, sino que se inclinó por la medicina. Por ello es considerado como el iniciador de la generación intelectual de los Bernoulli, de quienes se dice que no menos de 120 miembros se distinguieron en las leyes, el profesorado, la ciencia, la literatura, la administración y las artes. En las tres primeras generaciones, ocho de ellos fueron grandes matemáticos, sobresaliendo Daniel, quien se destacó en el estudio de la mecánica de fluidos, Jacob I y Johann I. Por su parte, Jacob fue "el primero de los Bernoulli en estudiar en una universidad, el primero en investigar las ciencias matemáticas, el primero en recibir un título de doctor y el primero de la familia en ser aceptado como catedrático de matemáticas en la Universidad de Basilea" (Sánchez y Valdés, 2009: 1). Con su humor colérico y susceptible, le gustaba desafiar intelectualmente a los demás, se consagraba a la resolución de problemas y polemizaba sobre las soluciones. Al problema de la brachistócrona, respondió con el título "Resolución del problema de mi hermano, a quien yo a mi vez planteo otro" y formuló, entonces, el problema isoperimétrico, el cual ya se conocía pero no había sido solucionado; sin embargo, en 1690 ya había retado a la comunidad matemática con el problema de la catenaria, es decir, el de "encontrar la forma que toma una cuerda, perfectamente flexible y homogénea, por la acción sólo de su peso, si sus extremos son fijos" (Sánchez y Valdés, 2009a). Jacob contribuyó notablemente al desarrollo de la teoría de los infinitesimales, a la cual años más tarde Newton y Leibniz le darían cuerpo con el desarrollo del cálculo diferencial e integral. A su muerte, dejó un trabajo incompleto, el *Ars conjectandi* (Arte de las conjeturas), de gran importancia para el desarrollo de las teorías de las probabilidades.

Dentro de las situaciones curiosas que marcaron la vida de los Bernoulli, está la que se desarrolla a partir de octubre de 1686 cuando el senado universitario eligió a Jacob, de forma unánime, para el puesto de profesor de matemáticas en la Universidad de Basilea. De allí en adelante, y durante un siglo dicha cátedra sería ocupada, sin interrupción alguna, por algún miembro de la familia Bernoulli.

A su vez, Johann Bernoulli, trece años menor que su hermano Jacob y con quien se inició en el estudio de las matemáticas, fue considerado uno de los mejores geómetras de la época, lo cual era una consideración que él mismo valoraba, como lo demuestra el epitafio que quiso que se grabara en su tumba: "Aquí yace el Arquímedes de su tiempo", lo que además demuestra su carácter fanfarrón.

La resolución del desafío de su hermano Jacob sobre el problema de la catenaria lo llevó, de una parte, a obtener el reconocimiento de la comunidad matemática, lo que a la postre le permitiría la entrada al exclusivo círculo francés de Malebranche, pero, de otra parte, esto ocasionó una agria disputa familiar con su hermano Jacob. Ser miembro del círculo de Malebranche le permitió conocer a L'Hôpital, de quien fue maestro en la nueva disciplina del cálculo infinitesimal, y de quien reclamó (una vez muerto L'Hôpital) la autoría del primer libro sobre cálculo, pues L'Hôpital publicó a nombre suyo las lecciones que Johann le había dictado. Otra muestra de su carácter polémico, ocurrió cuando despidió



de la casa a su hijo Daniel, por haber ganado un premio en el que él también había participado. Sin embargo, Johann tuvo una exitosa carrera, pues junto a su hermano Jacob fue nombrado, en 1699, como uno de los ocho miembros extranjeros que la Academia de París eligió por primera vez; en 1701, ambos entraron a formar parte de la flamante Academia de Berlín. Además, a la muerte de su hermano Jacob, lo sucedió en la cátedra de matemáticas de la Universidad de Basilea, donde en ocho ocasiones fue decano de la facultad de filosofía y en dos períodos, rector de la universidad, donde tuvo a grandes matemáticos extranjeros como alumnos, para lo cual sólo el nombre de Leonhard Euler basta.

Solución al problema de la brachistócrona

La solución más conocida al problema de la brachistócrona es la de Johann Bernoulli, la cual se basa en el principio de Fermat, donde se establece que el tiempo gastado por un rayo de luz para viajar entre dos puntos, sufriendo refracción en la superficie de interfase que separa a dos medios materiales, es mínimo.

Considerando el paso de la luz a través de un medio estratificado, compuesto por un número infinito de capas, cada una infinitamente delgada, se obtiene la curva deseada girada 270°. Las ecuaciones paramétricas de la curva en cuestión son:

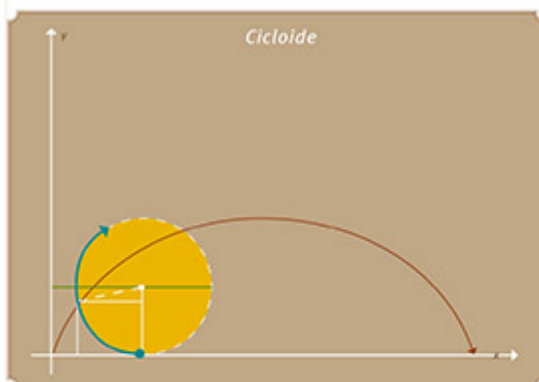
$$x = \frac{C}{2} (2\varphi - \sin 2\varphi) \quad y = \frac{C}{2} (1 - \cos 2\varphi)$$

Estas ecuaciones resultan ser coincidentes con las de la curva, para la época ya conocida, llamada cicloide, ante lo cual Johann Bernoulli expresa su admiración con las siguientes palabras:

Antes de terminar debo expresar una vez más la admiración que siento por la inesperada identidad de la Tautócrona de Huygens y mi Brachistócrona. Considero especialmente interesante que esta coincidencia tenga lugar sólo bajo la hipótesis de Galileo, puesto que con esto nosotros también obtenemos una de sus aproximaciones. La naturaleza siempre tiende a actuar en la forma más simple, y por lo tanto aquí tenemos una curva que sirve a dos funciones diferentes, mientras que bajo cualquier otra hipótesis necesitaríamos dos curvas (O'Connor y Robertson, 2006).

La cicloide: una curva sorprendente

La cicloide se define como la curva plana que representa la trayectoria de un punto de la circunferencia de un círculo, llamado círculo generador, que rueda sin deslizarse sobre una recta.



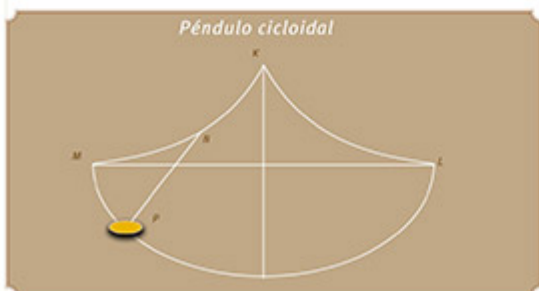
Presenta una serie de propiedades que hacen de ella una curva sorprendente y que, a diferencia de lo que pensaba Johann Bernoulli, sirve a más de dos funciones.

Entre dichas propiedades se encuentran:

Brachistocronía: la cicloide es la curva por la cual un cuerpo, bajo la acción de la gravedad, gasta el menor tiempo entre dos puntos dados.

Tautocronía: la cicloide es la curva por la cual el tiempo gastado por un cuerpo que se desliza por ella, es independiente del punto de partida.

Isocronía: si se cuelga el péndulo con una cuerda de longitud aR y se instala a ambos lados del punto de apoyo una cicloide como extremo, entonces la lenteja describe una cicloide igual, por lo que, sea cual sea la amplitud del movimiento oscilatorio, el periodo es el mismo. Esta propiedad fue aprovechada por Cristian Huygens (1629-1695) para construir, en 1673, el péndulo cicloidal, con el que se demuestra que el péndulo simple es isocrono sólo para amplitudes donde la circunferencia descrita coincide con la cicloide correspondiente.



56

Teorema de Galileo: el área limitada por un arco de la cicloide y la base de ese arco es igual al triple del área del círculo generador.

Teorema de Wren: la longitud de un arco de la cicloide es igual al cuádruplo del diámetro del círculo generador. ¿Quizás la única curva cuya longitud se expresa mediante un número entero!

Otra familia notable, pero... de curvas

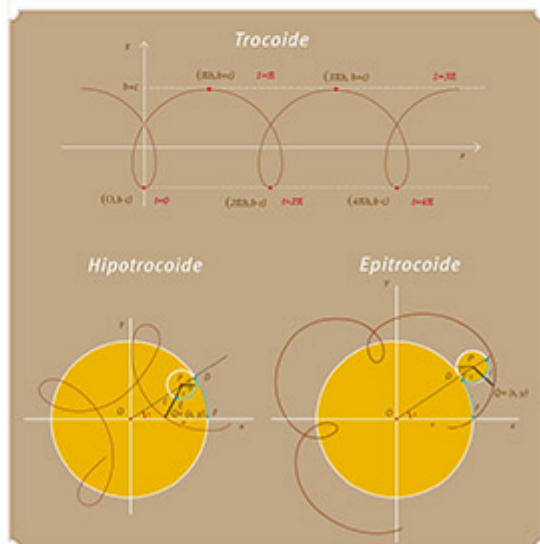
La cicloide pertenece a la familia de curvas generadas por el movimiento de un punto de un círculo que rueda sin deslizarse. Entre ellas se encuentran:

Trocoide: traza un punto de un círculo móvil de radio b que rueda sin resbalarse sobre una recta, situado a una distancia c , de modo que c es menor que b .

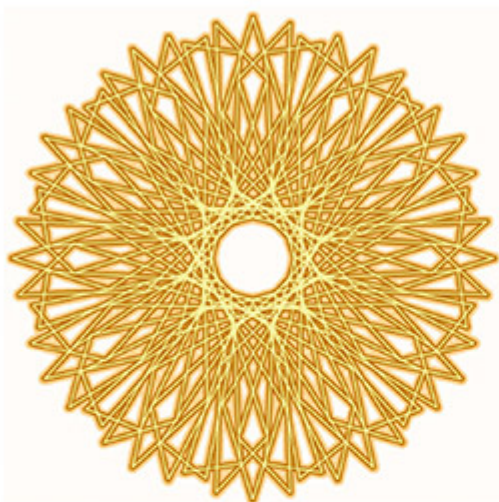
Hipotrocoide: traza un punto situado a una distancia c del centro de un círculo móvil de radio b que rueda sin resbalarse, dentro de un círculo más grande y fijo de radio a .

Epitrocoide: traza un punto situado a una distancia c del centro de un círculo móvil de radio b , que rueda sin resbalarse por fuera de un círculo fijo de radio a .

En la página web www.temasmaticos.unlandes.edu.co/trocoides/paginas/trocoides.html han desarrollado la aplicación Java mediante la cual invitan al visitante a crear su propio espirograma. De su galería de espiogramas se tomaron las hermosas imágenes mostradas aquí, que corresponden a la familia de la cicloide.

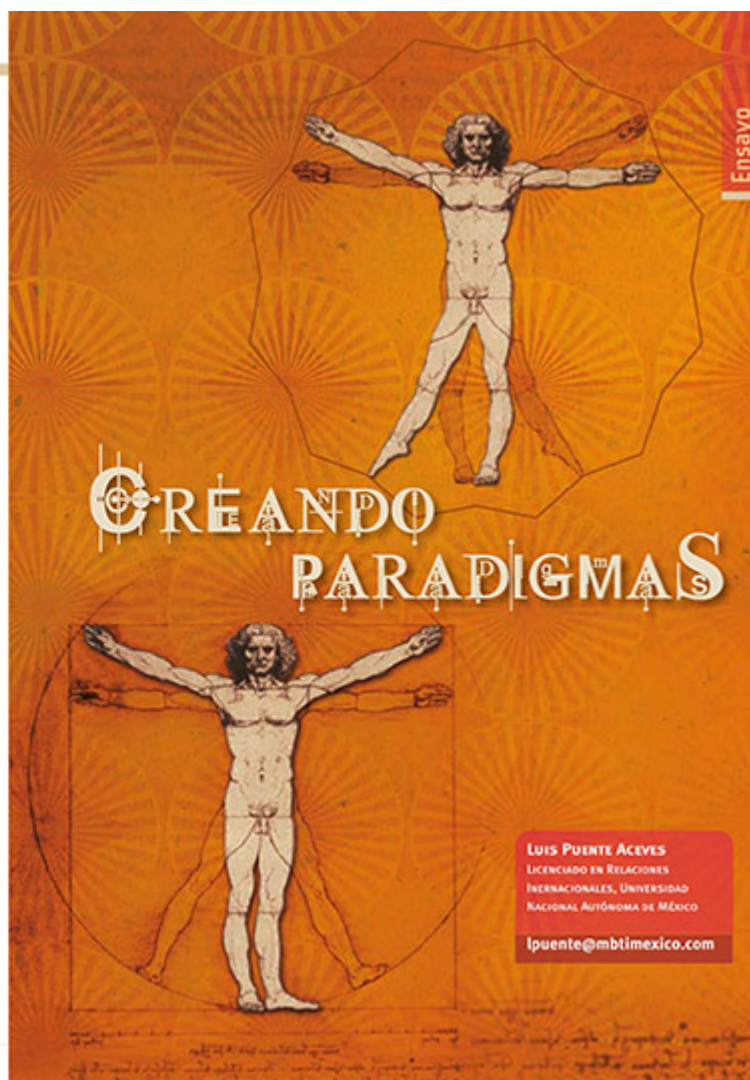


57



Referencias

- Amelkin, V. V. (2003). *Ecuaciones diferenciales en la práctica*. Moscú. Ed. URSS.
- Bell, E. T. (2005). *Los grandes matemáticos*. [en línea], disponible en <http://www.librosmaravillosos.com/grandesmatematicos/capitulo08.html>.
- Neuman, J. R. (1968). *SIGMA: el mundo de los matemáticos*, vol. 2, Barcelona, Grijalbo.
- O'Connor, J. J. y Roberson, E. F. (2009). "History Topic: the Brachistochrone Problem" [en línea], disponible en <http://www.gap-system.org/~history/PrintH1/Brachistochrone.html>, recuperado el 3 de junio de 2009.
- Sánchez, C. y Valdés, C. (2009a). "Jacob Bernoulli" [en línea], disponible en <http://divulgamat.ehu.es/weborriak/historia/MateOspetsuak/Bernoulli.asp>, recuperado el 3 de junio de 2009.
- _____. (2009b). "Johann Bernoulli" [en línea], disponible en <http://divulgamat.ehu.es/weborriak/historia/MateOspetsuak/JBernoulli.asp>, recuperado el 3 de junio de 2009.



LUIS PUENTE ACEVES
 LICENCIADO EN RELACIONES
 INTERNACIONALES, UNIVERSIDAD
 NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
lpunte@mbtimexico.com



urante la reciente XVII Convención Científica Nacional –celebrada el pasado mes de septiembre de 2008 en la ciudad de Neiva, Huila– a la que fui amablemente invitado a presentar una ponencia, hablé sobre la relevancia de crear nuevos paradigmas en la ciencia, en la educación y en el campo de la transferencia de conocimiento. Al término de mi conferencia algunas personas interesadas en el tema se me acercaron para charlar sobre sus experiencias y formular preguntas adicionales. Afortunadamente para el ámbito científico y tecnológico de Colombia, este tema despertó en el público lo que creo es un auténtico deseo de renovación y apertura a nuevos esquemas de pensamiento aplicables dentro de su campo de acción. Mi más sincera intención fue haber despertado en el público un nuevo ánimo para seguir adelante y perseguir sus más grandes sueños, haberles ayudado a reavivar la chispa de la curiosidad que caracteriza a todos los grandes científicos y ofrecido herramientas para ampliar sus opciones, recorriendo el enorme potencial que yace latente en aquel querido país.

En dicha ocasión, algunos de los periodistas me hicieron las mismas preguntas que el resto del público y por ello creo valioso retomárlas, dando una respuesta más amplia en este espacio. La pregunta más frecuente fue: "¿Por qué crear nuevos paradigmas?". Para muchas personas la experiencia más cercana en materia de paradigmas fue aquello que brevemente aprendieron en sus clases de ciencias sociales donde quizás sólo se les enseñó a romper paradigmas. Así que hablemos un poco sobre el interesante uso de las palabras en dicha pregunta. Aunque pareciera lo contrario, entender de forma clara qué es lo que se dijo es realmente trascendente. Muchas personas optarían por entender en ello la intención detrás de la pregunta, lo cual no es un error. En este caso, me gustaría que entendiéramos que existe una diferencia entre la supuesta intención de la pregunta y lo que, en efecto, se está preguntando. De hecho, sólo podemos saber lo que se preguntó por medio de las palabras usadas, mientras que para reconocer la intención, habría que formular otras preguntas a nuestro interlocutor, ya que podría haber más de una intención detrás de dicha pregunta. Y esto es generalmente cierto.

A muchos estudiantes se les hizo creer que en la vida las cosas siguen básicamente un proceso integrado por etapas consecutivas. Por ejemplo, el darwinismo nos enseñó que las funciones de cualquier ser vivo, incluyendo a los seres humanos, son: nacer, crecer, reproducirse y morir, algo así como un destino inmutable; palabras que solidifican una que otra idea en la mente convirtiéndose así como en verdades escritas sobre piedra. Y desafortunadamente la visión de que en la vida hay cosas que se "deben hacer" de una manera y no de otra, fomenta una clase de pensamiento en la cual se transita por la vida aceptándolo todo, sin cuestionarse poco o nada porque los cosas son así; y la televisión nos ha venido enseñando que lo importante sólo es lo material o lo mundano, heredando los paradigmas equivocados a los estudiantes, sin mediar interpretaciones o explicaciones. Pero los vacíos que así se forman en la mente no se llenan con ideas productivas, creativas e ingeniosas, sino con creencias altamente limitantes.

Así que la pregunta me parece de primordial importancia y merece responderse a fondo. En momentos de confusión, un buen amigo bromea con sus compañeros diciéndoles: "Comencemos por el principio. ¿Cuál es tu nombre?". Haciendo honor a esta sabiduría de Perogrullo comencemos por conocer algunas definiciones. De acuerdo con la versión en Internet del diccionario de la Real Academia Española, la definición de la palabra paradigma es:

Paradigma.

(Del lat. *paradigma*, y este del gr. *παράδειγμα*).

1. m. Ejemplo o ejemplar.

Si nos remitimos a la definición de "ejemplo" encontramos que:

Ejemplo.

(Del lat. *exemplum*).

1. m. Caso o hecho sucedido en otro tiempo (o en otro lugar; nota del autor), que se propone, o bien para que se imite y siga, si es bueno y honesto, o para que se evite si es malo.

2. m. Acción o conducta que puede inclinar a otros a que la imiten.

Por lo tanto, romper paradigmas significa romper los ejemplos, los modelos, acciones o conductas a seguir o imitar.

Crear.

(Del lat. *creare*).

1. tr. Producir algo de la nada. Dios creó cielos y tierra.

2. tr. Establecer, fundar, introducir por vez primera algo; hacerlo nacer o darle vida, en sentido figurado. Crear una industria, un género literario, un sistema filosófico, un orden político, necesidades, derechos, abusos.

3. tr. Instituir un nuevo empleo o dignidad. Crear el oficio de condestable.

Ahora que conocemos estas definiciones, ¿entonces qué más hay que entender sobre esta pregunta? La Programación Neurolingüística (PNL) ofrece algunas respuestas. Para quienes no conocen qué es la PNL, el doctor Richard Bandler, su creador, dice que es "el estudio de la estructura de la experiencia subjetiva y lo que puede calcularse y aprenderse de ella". En pocas palabras, es una metodología para entender los procesos de la mente y de la comunicación humana. El Instrumento MBTI (Myers-Briggs Type Indicator por sus siglas en inglés) y la PNL son algunas de las metodologías que utilizo en mis servicios de consultoría para el desempeño. La PNL es mundialmente conocida por su eficacia en los campos de la enseñanza, la terapia, la negociación, el desarrollo personal, el trabajo en equipo, etc. Por su parte, el Instrumento MBTI es una herramienta para detonar el autoconocimiento sobre nuestra manera particular y personal para aprender, tomar decisiones, convivir y actuar. Una de las herramientas de la PNL nos sirve para entender, por medio de la literalidad de las palabras, aquello que está implícito y que no ha sido expresado verbalmente.

La pregunta "por qué" no expresa la intención, pues sólo se refiere a los valores que una persona mantiene con respecto a cierto tema. Para la PNL, la mente humana piensa en direcciones y la pregunta "por qué" tampoco muestra una dirección, sino el deseo de conocer la vialidad de ello. La pregunta "¿para qué crear paradigmas?" está diciendo que alguien está en búsqueda de una dirección. Emplear la pregunta "para qué", en sustitución de "por qué", nos abre la oportunidad a respuestas inesperadas porque una pregunta bien formada nos conduce a información específica, hacia una dirección o hacia una meta. Es como cuando a una persona le preguntan "por qué te enojaste" y esta se pone furiosa. Al contestarnos con un enojo aún mayor, parecería que la persona se rehúsa a dar una explicación de la causa de su molestia. Sin embargo esto no es así. Hay que entender que en la pregunta "por qué" no se cuestionó la "causa" de la molestia, sino acerca de los "valores o principios morales" que aquella situación molesta trastocó la fuente verdadera del enojo. En situaciones así, la pregunta más lisonjera podría ser: "¿Qué te molestó?". Por lo tanto, cuando escucho la pregunta "por qué crear nuevos paradigmas", mi respuesta con cierto tono de broma es: "porque son valiosos".

Por otro lado, se crean nuevos paradigmas para imaginar, crear y pensar nuevas ideas, realizándose así nuevas conexiones neuronales, donde la mente comienza a avanzar hacia nuevas direcciones, otorgándole a ésta un propósito ulterior más luminoso, un objetivo hacia el cual encaminarse dando coherencia a las ideas, y alineando los pensamientos, las habilidades, conductas, acciones y valores, hasta llegar a redefinir incluso la identidad de una persona. Existiendo una nueva dirección, los pensamientos van ordenándose consecuentemente, uno a uno en tomo hacia el nuevo objetivo deseado.

Por lo tanto, hay que aprovechar este mecanismo de la mente humana. Cuando reemplazamos los viejos paradigmas llenamos el vacío que dejaría un paradigma roto. Se crean otros nuevos cuando los primeros han sido superados, puestos a un lado o simplemente abandonados. Se llena el vacío de la mente con nuevos retos, objetivos y metas. Estamos hablando de alinear los pensamientos en aras de alcanzar objetivos más grandes, enfocando nuestra atención de maneras distintas y dirigiendo nuestra mirada e imaginación en otros sentidos para detectar con los ojos o los oídos de la mente la variedad de opciones disponibles que así comienzan a apañecer a nuestro alcance.

Plíeme un minuto y quizás recordará que raramente un maestro enseñaba a sus alumnos a reemplazar los paradigmas rotos, y reconocerá que esto fue por simple desconocimiento. Supongamos que tenemos una invitación a almorzar en casa de una persona que acabamos de conocer. A mitad del camino nos informan que el almuerzo fue cambiado a otro lugar y carecemos de un mapa o una dirección. ¿Cómo se espera que lleguemos a ese otro lugar si no contamos con nueva información?

La mente piensa en términos de imágenes, sonidos o movimientos, así que cuando eliminamos una idea representada por imágenes, sensaciones y sonidos que manteníamos frente a nosotros (para la mente, las imágenes y sonidos literalmente ocupan un lugar en el espacio físico que nos rodea), nos quedamos sin nada: en pausa o detenidos en el tiempo. Sin nuevas direcciones, la mente se estanca en un ciclo que se repite infinidad de veces haciendo más de lo que ya conoce o de lo que le es familiar. Es como aquel chiste que habla sobre una persona que tiene una veintena de años trabajando en el mismo puesto, haciendo siempre lo mismo, cuando en realidad no cuenta con una experiencia de dos décadas sino de tan sólo un año, repetido veinte veces.

Recuerdo que en mi época de estudiante en la Universidad Nacional Autónoma de México, la moda de los profesores con ideas de izquierda era romper paradigmas. Y muchos alumnos de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales fuimos alegremente por la vida rompiendo los paradigmas del imperialismo, del esclavismo, del capitalismo a ultranza y del colonialismo. Me he dado cuenta, años después, de que algunos de mis ex compañeros continúan hoy en día sin hallar un reemplazo para aquello que rompieron en su mente; y su creatividad se secó. Cuando veo la televisión o escucho las noticias me doy cuenta de que a la mayoría de los políticos, empresarios, banqueros y a los propios comunicadores les sucede lo mismo. Están perdidos en formas viejas de pensar queriendo explicar una realidad distinta mediante patrones obsoletos. A veces me dan ganas de sacudírlos de sus sillas y pedirles que vean un poco más allá de sus narices, lo cual bastaría para observar el precario estado que guarda la economía de nuestros países. Y para aquellos a los que les gustan los modelos de las primeras economías del mundo, podrían enfocar su atención a la de Estados Unidos para reconocer que los paradigmas del llamado "primer mundo" jamás fueron perfectos, y que muchas veces aplaudimos la imitación sin el debido cuestionamiento. Muchos gobiernos latinoamericanos se han aferrado a viejas ideas como si fueran la panacea. Y varios dirigentes empresariales y banqueros confían en que mantenerse fieles al "modelo" nos conducirá eventualmente hacia un milagro económico. Albert Einstein decía que locura es hacer la misma cosa repetidamente esperando resultados diferentes.

Y uno de los más grandes dones del ser humano es la imaginación. Hay quienes dicen que es un don divino. En el campo del estudio del cerebro humano y de los procesos de la mente, los científicos han descubierto que para el cerebro no existe diferencia entre aquello que ve y aquello que imagina.

Se crean nuevos paradigmas para imaginar, crear y pensar nuevas ideas, realizándose así nuevas conexiones neuronales, donde la mente comienza a avanzar hacia nuevas direcciones, otorgándole a ésta un propósito ulterior más luminoso.

Con base en este descubrimiento, el doctor Richard Bandler continúa diseñando valiosas técnicas terapéuticas que científicos renombrados, empresarios exitosos y hasta atletas de alto rendimiento emplean para lograr sus objetivos de manera consistente. Desarrollar la imaginación parece ser un ejercicio que bien vale la pena practicar. Con ese fin, este artículo expone, de forma breve, los trabajos e ideas de tres científicos reconocidos mundialmente que mediante sus trabajos, nos muestran soluciones innovadoras a viejos problemas por medio de nociones poco convencionales que inspiran al cambio.

Presento estas experiencias con la intención de abrir sus mentes a nuevas direcciones, despejarlas de ideas anquilosadas y despertar sus sentidos, retando aquellos supuestos sobre los cuales construimos nuestros viejos modelos de la realidad. Invito a todas las personas, sin importar la edad, a renovar su curiosidad, a agitar en sus corazones la emoción por realizar nuevos descubrimientos, despertar su inquietud por cambiar al mundo y ampliar su capacidad de asombro.

Doctor Stephen Wolfram



• Doctor Stephen Wolfram.

Stephen Wolfram es un distinguido científico, autor, empresario e inventor inglés que nació en Londres en 1959. Publicó su primer artículo científico a la edad de 15 años y recibió su doctorado en física teórica del California Institute of Technology (conocido como Caltech) a los 20 años de edad. Durante los años ochenta, el doctor Wolfram continuó trabajando en el tema de la ciencia de la complejidad y de alguna manera retó a la comunidad científica con la publicación de su famoso libro *A New Kind of Science*, obra de 1.200 páginas que requirió una década y media de trabajo; un estudio muy amplio sobre los denominados "autómatas celulares".

De manera resumida, los autómatas celulares son programas de cómputo donde se emplean reglas muy simples para construir sistemas altamente complejos. En su libro, Wolfram incluye un enorme número de gráficos complejos diseñados con reglas muy simples. Por ejemplo, si una persona toma una hoja de papel cuadrículado y pinta de color negro un cuadro a la mitad de la primera fila, después baja a la siguiente fila e inventa una regla que definirá si el siguiente cuadro deberá ser pintado de



• Sir Ken Robinson.

negro o dejado en blanco, de acuerdo con el color del cuadro que tiene arriba y a sus lados (por ejemplo, un cuadro debe ser del mismo color al de arriba, a menos que éste tenga un cuadro pintado de negro a un lado), y continúa llenando así fila tras fila, acabará con un patrón de diseño interesante. Algunos patrones no lo son tanto, pero si se sigue una buena regla, entonces el patrón será complejo y bello, y posiblemente reflejará algún patrón conocido en la naturaleza o podrían ser soluciones para el cálculo de impuestos, o para modelar la evolución de una estrella, etc.

Wolfram señala que incluso las versiones más sencillas de esta clase de programas pueden producir resultados asombrosamente similares a patrones observables en la naturaleza como ramas de árboles, manchas en la piel de un leopardo, etc., y ello puede corroborarse en los gráficos incluidos en dicha obra. El doctor Wolfram sugiere que su trabajo tiene importantes implicaciones en la generación de una nueva ciencia, puesto que la ciencia actual busca explicaciones complejas cuando podría utilizar explicaciones más sencillas. Esta nueva ciencia podría explicar el universo, redefinir nuestra comprensión del tiempo y el espacio, la evolución, la inteligencia, el libre pensamiento, la filosofía y también la física.

Curiosamente, los autómatas celulares de Wolfram tienen una aplicación muy cercana a nuestra vida diaria. El inquieto autor desarrolló una aplicación que utiliza los autómatas celulares para generar tonos de música para teléfonos móviles. Para los interesados, la página web donde se pueden descargar dichos tonos musicales es: <http://tones.wolfram.com/generate/advanced.html?generator>.

En Latinoamérica vivimos en sociedades en permanente construcción, donde muchas de las reglas que utilizamos para construir nuestros países están basadas en paradigmas viejos y extraños. El cardenal Thomas Wolsley (1471-1530) decía que debemos ser muy cuidadosos de aquello que metemos en nuestras cabezas, porque nunca podríamos sacarlo. Si bien esta aseveración no es totalmente cierta, sí es indicativa de que para algunos de nuestros líderes, ciertas ideas se han anquilosado en sus mentes. Si en México o Colombia prevalecen realidades por caóticas o desagradables que nos parezcan en materia económica, política, social, educativa y hasta cultural, y si éstas no están produciendo los resultados que deseamos, puede deberse en parte a que utilizamos reglas que produjeron los resultados que vivimos hoy en día. En otras palabras, ¡Eureka! Lo logramos.

Bien vale la pena realizar un análisis profundo de cada uno de los fundamentos sobre los cuales se encuentran edificadas las instituciones de nuestros países, y sobre las que se sustentan muy diversas políticas. Es necesario evaluar si es apropiado continuar en este camino o dar ya un buen giro al timón. Siguiendo la línea de pensamiento de Wolfram, diremos que si en nuestros países queremos vivir realidades diferentes, podemos crear nuevas reglas simples de convivencia que transformen nuestras economías, rediseñen el tejido social, reprogramen los sistemas educativos y sirvan para erigir sistemas políticos, legislativos y jurídicos más eficientes, por ejemplo.

Sir Ken Robinson

Sir Ken Robinson es un experto en los campos de la creatividad, en la innovación en la educación y en los negocios reconocido internacionalmente. Obtuvo su grado de Doctor en 1981 por la Universidad de Londres con una investigación acerca de las artes dramáticas y el teatro en la educación. Es también autor de libros como *The Arts in Schools: Principles, Practice and Provision*, su más reciente trabajo *Out of Our Minds: Learning to be Creative*, y una obra que está por publicarse titulada *The Element: How Finding Your Passion Changes Everything*.

En febrero del año 2006, Sir Ken Robinson participó en el marco de la conferencia TED (Technology, Entertainment and Design) con una charla sobre cómo las escuelas matan la creatividad en los niños. En

En Latinoamérica vivimos en sociedades en permanente construcción, donde muchas de las reglas que utilizamos para construir nuestros países están basadas en paradigmas viejos y extraños.

su intervención, Robinson señaló que la creatividad es tan importante como el alfabetismo y que debe tratarse con el mismo respeto. Refirió que existe evidencia extraordinaria en el mundo tanto del rango como de la variedad en la creatividad humana, y señaló que el talento es inmenso, que está presente en todos los niños y niñas y que existe un acuerdo generalizado sobre las extraordinarias habilidades en ellos para la innovación.

Los sistemas educativos, en prácticamente todo el mundo, privilegian una jerarquía de materias selectas dando principal relevancia a la enseñanza de las matemáticas y las lenguas, después a las humanidades y por último a las artes donde existe una segunda jerarquía: la música y el dibujo ocupan los primeros lugares, relegando la importancia de las artes escénicas o la danza en la educación, dijo Robinson. En sus palabras, ello implica educar a los niños y niñas de la cintura hacia la cabeza y finalmente sólo hacia un lado de ésta, apartando así el aprendizaje que se puede realizar mediante el movimiento del cuerpo.

Robinson argumentó que existe un juicio económico tras la organización de los programas académicos, que implica una división entre materias útiles para el trabajo y las inútiles. Estos juicios están integrados en la concepción de los sistemas de educación pública, diseñados en la Inglaterra del siglo XVIII, para cubrir las necesidades de mano de obra tras el advenimiento de la Era Industrial. No obstante, sus principios continúan prácticamente inalterados hasta nuestros días, dando prioridad a una sola meta: la habilidad académica.

¿Y las consecuencias? Los sistemas educativos basados en este diseño vigente en casi todo el mundo, hoy en día enseñan a los niños a perder su creatividad y provocan que muchas personas sumamente talentosas, brillantes y creativas "piensen que no lo son", debido a que sus habilidades no fueron valoradas de forma adecuada, o incluso fueron estigmatizadas por ellas en la escuela. Además, de acuerdo con Robinson, estos sistemas producen lo que él denomina una "inflación académica", donde los grados académicos no valen nada y lo que antes se podía lograr con un grado de licenciatura (como conseguir trabajo), hoy sólo se logra con grado de maestría, y en el futuro sólo con uno de doctorado. De acuerdo con cifras de la UNESCO, en treinta años se graduarán más personas en todo el mundo que desde el comienzo de la historia, debido a la tecnología y su impacto en el trabajo, así como por la demografía y la explosión demográfica.

Ello nos obliga a pensar en una nueva visión de la inteligencia humana. Esta nueva visión implica entender que la inteligencia es diversa porque pensamos con sonidos, imágenes y movimientos del cuerpo, también que es abstracta y tiene movimiento; y al mismo tiempo es dinámica, interactiva y diferente en cada persona. De acuerdo con la definición del doctor Robinson, la creatividad es la capacidad de generar ideas originales que tienen valor, y que ésta a menudo surge cuando reunimos distintas disciplinas para entender las cosas. Por lo tanto, es necesario diseñar una nueva concepción sobre la ecología humana basada en las habilidades y no sólo en el uso de la mente, lo cual implica cambiar de forma radical los principios básicos de la educación de nuestros niños y niñas quienes son los herederos del futuro.

Ello nos obliga a pensar en una nueva visión de la inteligencia humana. Esta nueva visión implica entender que la inteligencia es diversa porque pensamos con sonidos, imágenes y movimientos del cuerpo, también que es abstracta y tiene movimiento; y al mismo tiempo es dinámica, interactiva y diferente en cada persona. De acuerdo con la definición del doctor Robinson, la creatividad es la capacidad de generar ideas originales que tienen valor, y que ésta a menudo surge cuando reunimos distintas disciplinas para entender las cosas. Por lo tanto, es necesario diseñar una nueva concepción sobre la ecología humana basada en las habilidades y no sólo en el uso de la mente, lo cual implica cambiar de forma radical los principios básicos de la educación de nuestros niños y niñas quienes son los herederos del futuro.

Doctor Sugata Mitra

El doctor Sugata Mitra es profesor de Tecnología Educativa en la Escuela de Educación, Comunicación y Ciencias del Lenguaje de la Universidad de Newcastle en el Reino Unido, y ha trabajado también en física y energía durante más de treinta años. Sus contribuciones incluyen el experimento con niños e Internet conocido como "El hoyo en la pared" (*The Hole in the Wall*). Sus intereses actuales, además de la ingeniería y el desarrollo de software, incluyen la educación a distancia, tecnologías para la educación

Los sistemas educativos basados en este diseño vigente en casi todo el mundo, hoy en día enseñan a los niños a perder su creatividad y provocan que muchas personas sumamente talentosas, brillantes y creativas "piensen que no lo son", debido a que sus habilidades no fueron valoradas de forma adecuada.



• Doctor Sugata Mitra.

remota y la educación rural, la robótica, los sistemas autoorganizados y los sistemas colaborativos en Internet.

En el año 2007, en su ponencia presentada en el marco de la Conferencia LIFT 2007, el doctor Mitra habló sobre cuatro temas importantes relacionados con la problemática de la educación primaria. El

primer tema es el impacto de la lejanía en la calidad de la educación. De acuerdo con el doctor Mitra, la lejanía puede entenderse de dos maneras: como la distancia entre centros urbanos y los poblados alejados de esas grandes metrópolis; y como la lejanía de ciertos barrios con respecto de otros dentro de una misma ciudad, debido a que son económica y socialmente lejanos entre sí, ya que unos cuentan con mayores recursos que los otros creando la percepción o sensación de "ellos" y "nosotros".

En un estudio, el doctor Mitra, trazó una ruta que lo llevó desde Nueva Delhi hasta el norte de la India (300 kilómetros) manteniéndose siempre alejado de los grandes centros urbanos. Encontró que los maestros de las escuelas en los poblados más alejados, al ser cuestionados, siempre respondían positivamente a la pregunta sobre si tenían o no el deseo de mudarse de sus poblados lejanos a una de aquellas grandes ciudades. Y mientras más alejado estaba el poblado, le pareció que había una correlación más importante y directa entre la calidad de la educación y los niveles de motivación de los maestros relacionados estrechamente con sus deseos de emigrar. Además, observó una falta de correlación entre la calidad de la educación y cuestiones como la alimentación, la sobrepoblación en los salones, entre otros, temas que podrían tener mayor incidencia en la calidad de la educación.

El doctor Mitra encontró que en materia de tecnología educativa, las pruebas piloto se realizan regularmente en escuelas que cuentan con recursos suficientes, con buenos alumnos y buenos maestros. Y notó que en éstas prevalece la noción de que la tecnología está siendo sobrevalorada y que tiene poca o nula incidencia en la calidad de la educación. Para Mitra el beneficio de utilizar estas tecnologías en esas escuelas es marginal. Por otro lado, llevar dicha tecnología a las escuelas más remotas y con los niveles académicos más bajos, redundaría en un beneficio proporcionalmente mayor y el impacto sería mucho más significativo en la parte más baja de la pirámide.

En sus estudios, el doctor Mitra descubrió que muchos maestros perciben negativamente el uso de computadoras para la educación, pues creen que no se puede sustituir a un maestro por una máquina.

Esta respuesta presentó un dilema que luego fue hábilmente resuelto para el doctor Mitra por el autor de ciencia ficción Arthur C. Clarke, escritor de la novela 2001: Una odisea espacial. Sir Arthur Clarke le comentó que si un maestro puede ser sustituido por una máquina, debería ser sustituido. Por ello, el doctor Mitra sugiere crear sistemas alternativos de educación primaria en aquellos lugares donde no hay escuelas, donde éstas no son suficientemente buenas, donde no hay maestros o bien, donde los maestros tampoco son buenos.

El hoyo en la pared fue un sencillo experimento educativo realizado en Nueva Delhi. El equipo del doctor Mitra puso la pantalla de una computadora conectada a internet con alta velocidad —que tenía instalado un navegador de internet en la página Altavista.com— y un dispositivo conocido como ratón (mouse), en un hoyo en el muro de su oficina que daba a la calle de un barrio de muy bajos recursos. Sus descubrimientos lo llevaron a repetir

este experimento en un pueblo remoto, obteniendo resultados asombrosos. ANI, un niño de 13 años de edad que había abandonado la escuela aprendió por sí mismo a navegar por internet en tan sólo seis minutos. Para esa misma noche setenta niños más se encontraban navegando en páginas en inglés sin tener conocimiento alguno del idioma y sin la ayuda de ningún maestro. Seis meses después, 300 niños habían aprendido computación y cerca de 200 palabras en inglés, con un solo equipo. El doctor Mitra refiere que después de tres meses de iniciado su experimento, el primer comentario que recibió de parte de dos niños de 8 y 12 años de edad fue: "Necesitamos un procesador más rápido y un mejor mouse".

Entre las conclusiones más destacadas que arrojó este experimento, se destaca que los niños de edades entre 6 y 13 años pueden aprender por sí mismos a pesar de cualquier otra carencia medible, siempre y cuando el aprendizaje se realice en grupos, utilizando una computadora e internet; aprenden viendo o haciendo; las diferencias de idioma no son un obstáculo para el aprendizaje; los niños más jóvenes enseñan a los mayores; en los pueblos remotos, las niñas participan más que en los barrios de las ciudades donde hay una mayor conciencia de clase; los valores son adquiridos mientras que

la doctrina y el dogma son impuestos; y al menos parte de la educación primaria no tiene que ser impuesta y puede ser autoaprendida porque el aprendizaje es un sistema autoorganizado.

Conclusiones

Albert Einstein escribió que el espíritu del aprendizaje y del pensamiento creativo se pierden bajo el sistema de roles estrictos de aprendizaje. El trabajo de estos tres científicos nos demuestra que la inteligencia no se conforma bajo un estándar y que requiere de libertad para florecer.

Nuestro quehacer como personas interesadas en el progreso, el avance de la sociedad, de la ciencia y el desarrollo de los seres humanos tiene que fomentar el amor, la pasión y la diversidad en el aprendizaje.

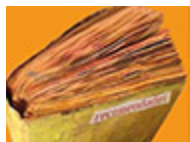
Nuestros países requieren de un cambio y una renovación urgente de paradigmas en tres grandes áreas: primero, en nuestra concepción de lo que sabemos; segundo, en lo que respecta a la diversidad e individualidad de la inteligencia, nuestra visión sobre la capacidad para aprender, el talento y la creatividad humana; y tercero, en la necesidad de actualizar nuestros sistemas educativos.

Si con tres simples reglas los pájaros vuelan en parrivas y los peces nadan en el mar —evadiendo a sus depredadores y produciendo al mismo tiempo las formas más exquisitas, el movimiento más sublime trabajando en equipo— seguramente los seres humanos podremos lograr mucho más que ello utilizando el valor para reinventar lo anquilosado, dando oxígeno al ánimo de la transformación y expandiendo los horizontes de la mente hacia nuevas y futuras posibilidades, todo ello utilizando el enorme poder de nuestra imaginación.

¡Bienvenidos al cambio!

Se destaca que los niños de edades entre 6 y 13 años pueden aprender por sí mismos a pesar de cualquier otra carencia medible, siempre y cuando el aprendizaje se realice en grupos, utilizando una computadora e internet.





Novedades editoriales



GERMÁN PUERTA RESTREPO
Las obras maestras en la astronomía
Cafam, Bogotá, 2005*

En este libro Puerta decide, más allá de intentar una historia propiamente dicha de la astronomía, hacer un viaje a través de las imágenes que las culturas construyeron en distintas épocas de la humanidad a partir de su experiencia diurna y nocturna con el cielo, sus objetos y fenómenos.

En trece apartados recorre las representaciones, los mitos y las leyendas que fueron surgiendo desde hace 50.000 años hasta nuestros días. Dice Puerta en la introducción: "Para describir esta maravillosa relación entre el arte y la astronomía decidí utilizar una representación de temas más que una estricta aproximación cronológica. El resultado es una muestra del inmenso

* Todos los citas que aparecen en esta revista corresponden a esta obra.

poder del ser humano para recrear lo material y lo invisible, imitando la realidad, o acudiendo a su más formidable arma, la imaginación" (p. 9).

En el primer apartado, "Misterios de la bóveda celeste", nos presenta una reflexión sobre las necesidades de la vida cotidiana en las sociedades, el surgimiento de las concepciones del cosmos y las explicaciones de los fenómenos naturales. Desde la más remota antigüedad el cielo se fue poblando de ríos, mares, dioses, árboles y todo tipo de personajes sobre los cuales se construyeron los relatos del inicio del cosmos. "Para distinguir las estrellas en las diversas épocas del año, todas las culturas acostumbraron agrupar las más brillantes en conjuntos geométricos más o menos grandes que primero se utilizaron como referencias y luego fueron figurados y dramatizados en toda clase de epopeyas y leyendas" (p. 14). Esta

relación permanente entre el cielo y la Tierra permitió la aparición de uno de los instrumentos más importantes para las culturas en relación con la predicción de su destino: la astrología.

Como complemento del apartado anterior, el siguiente, cuyo título es "El registro del tiempo", describe el proceso mediante el cual, en los distintos territorios del planeta, las sociedades aprendieron a codificar el tiempo en días y noches, estaciones y calendarios como fundamento de la vida práctica. Esta gran empresa de registro del tiempo fue posible gracias a la observación detallada de los fenómenos celestes, y a la construcción de edificaciones especiales que permitían detectar las regularidades del cosmos. Puerta nombra algunas de las más importantes construcciones que posiblemente se dedicaron a esta empresa entre las que están Stonehenge (Inglaterra), Chichen Itzá (México) y las pirámides de Egipto. Naturalmente, estas construcciones seguramente tenían varias funciones adicionales como centros ceremoniales, templos religiosos y monumentos funerarios.

El apartado dedicado a la "Astronomía en las antiguas culturas" hace un recorrido por las concepciones y representaciones del cosmos de China, India, Egipto y las culturas americanas de los incas, mayas y aztecas. Encontramos aquí bajo relieves, pintura mural, tabillas y decoraciones arquitectónicas que representan el Sol, la Luna y las constelaciones junto a escenas de reyes y dioses según cada tradición cultural. También se observan reproducciones de los códices aztecas donde se ilustran algunos de los conocimientos

astronómicos de los habitantes del México antiguo.

Después de ese recorrido, Puerta destaca que la astronomía que hoy tenemos se originó en Mesopotamia, en el valle de los ríos Tigris y Éufrates. Según él, "los textos más antiguos explícitamente astronómicos son mesopotámicos, con fechas hasta el 1700 a. C., tabletas de arcilla en escritura cuneiforme con presagios en donde las posiciones del Sol, la Luna y las estrellas, se relacionan con guerras, hambrunas y sucesiones reales" (p. 28).

"La música de las esferas" está dedicado a presentar un esbozo de la ciencia griega en la cual los pitagóricos pensaron que la esencia del mundo eran el número, los ritmos y las proporciones, mientras que los filósofos materialistas griegos crearon la concepción de que el mundo estaría constituido por agua, tierra, aire o fuego, o por los cuatro elementos o raíces, hipótesis postulada por Empédocles y retomada por Aristóteles. Fue este último, quien además postuló que estos cuatro elementos constituyen todos los cuerpos sublunares por, "la región supralunar está hecha de una sustancia diferente, transparente y cristalina, sin peso ni luz, indisoluble y eterna: el éter" (p. 34). Fue también Aristóteles quien propuso que los cuerpos celestes giraban alrededor de la Tierra en esferas de cristal y que en su movimiento producían la "Música de las esferas". No obstante, fue el astrónomo, geógrafo y matemático greco-egipcio, Claudio

Ptolomeo, quien formuló un complejo y preciso sistema matemático de los cielos, retomando las ideas de Aristarco de Samos, Hiparco de Nicea y Aristóteles, que se ha denominado el "sistema tolemaico". Este fue el modelo que estuvo vigente por doce siglos hasta la revolución copernicana.

"Las estrellas del Islam" está dedicado a proponer el aporte más importante de los árabes a la astronomía. Los árabes, después de la caída del Imperio Romano, fueron quienes rescataron gran parte de la ciencia griega mediante traducciones que luego fueron introducidas en Europa. En cuanto a la astronomía, Puerta destaca que "El trabajo de Al-Sufi sobre las constelaciones fue independiente y original, y superó en precisión al de Ptolomeo, y no tendría rival por los siguientes cinco siglos. Una vez conocido en Europa, los nombres de las estrellas más importantes serían adoptados sobreviviendo hasta la actualidad" (p. 38).

El siguiente apartado, "Cristianismo y medioevo" está ilustrado generosamente con pinturas del siglo XIII, XIV y XV. En ellas, además de las imágenes y la ubicación de los planetas y las estrellas, aparecen Dios —a veces como centro del cosmos—, los ángeles y los arcángeles y otros elementos de la imaginaria religiosa convenientemente mezclados con las imágenes de la astronomía.

No obstante, la posición de la iglesia católica en relación con la astronomía fue bastante hostil, pues la veía como integrante de otras tradiciones mágicas y

esotéricas muy cercanas a la astrología. Por esta razón, la Iglesia asumió como propia la ciencia aristotélica y el modelo tolemaico del cosmos, adoptados ambos casi como si fueran parte de las sagradas escrituras. Según Puerta, es en la divina comedia de Dante Alighieri (1265-1321), un profundo conocedor de la astronomía donde se encuentra la completa descripción del orden físico y espiritual del Medioevo.

"Prodios y portentos celestes" recapitula la manera como se interpretaban los fenómenos celestes especiales como eclipses, cometas, meteoritos y estrellas fugaces y aun los más comunes como rayos, truenos, lluvias torrenciales y vendavales. Todos estos fenómenos se vinculaban con desdencas sociales, presagios catastróficos, calamidades y enfermedades. "La causa más terrible de espanto estaba en los eclipses, el temor a la muerte del Sol por algún monstruo que lo ataca, y era costumbre en casi todo el mundo producir un estrépito para asustar al animal" (p. 53). Puerta termina este apartado comentando la importancia que ha tenido la discusión sobre la estrella que supuestamente guió a los Reyes Magos hasta el lugar del nacimiento de Jesús, y reflexiona: "Si este episodio efectivamente sucedió, ¿en realidad qué fue lo que los célebres Reyes Magos vieron en el cielo? ¿cuál es la verdadera identidad de la estrella de Navidad?" (p. 54).

"Fuego en el cielo" está emparentado con el apartado anterior, pero se refiere

pagosonline.net
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.net



PBX: (F) 7 563 126



solamente a los cometas como portentos celestes que infundían temor, pues eran relacionados casi siempre con desgracias y castigos de los dioses. Se les podía tomar como señal maligna que producía la pérdida de una batalla, como responsable de la muerte de un personaje o como el productor de la plaga u otras enfermedades. Será hasta la era de la nueva ciencia cuando se comienzan a entender estos fenómenos de otra manera y a predecir su comportamiento.

Edmond Halley (1656-1742) fue quien propuso que las órbitas de los cometas eran elípticas y, por lo tanto, debían regresar en forma periódica. A partir de esta hipótesis, de las trayectorias de tres cometas que tenían un patrón muy similar, uno observado en 1531, otro en 1607 por Kepler y el que él mismo observó en 1682 y, teniendo en cuenta la diferencia de aproximadamente 76 años en sus apariciones, Halley predijo que en 1758 o a más tardar en 1759, el cometa regresaría. "La víspera de Navidad del año 1758 un aficionado alemán lo encontró con su telescopio y Halley y el cometa que lleva su nombre pasaron a la historia" (p. 59).

"La revolución copernicana" se refiere fundamentalmente a ese momento de la historia de Occidente que se ha

denominado el Renacimiento. Es la época del redescubrimiento de los clásicos griegos, de las grandes exploraciones marítimas, de los artistas que dominaron distintas ramas de la ciencia, la técnica y el saber. Es también la época del descubrimiento de la perspectiva y de la publicación de *Revoluciónibus Orbium Coelestium* (La revolución de los órbitas celestes), la obra de Copérnico que presentaba la nueva visión de la estructura del cosmos con el Sol en el centro y la Tierra y todos los planetas girando alrededor. Esta nueva visión heliocéntrica tuvo un aporte fundamental en las leyes de Kepler con la demostración matemática de que las órbitas de los planetas eran elípticas.

"La astronomía moderna" y "La era de la ciencia" corresponden ya a historias más conocidas. El primero de estos apartados habla sobre el trabajo de Galileo Galilei, sus observaciones con el telescopio de la superficie de la Luna, de los satélites de Júpiter, de las manchas solares y de multitud de nuevas estrellas y nebulosas. Este apartado termina afirmando que después de Copérnico, Brahe, Kepler y Galileo, el cosmos cambió para siempre y la astronomía necesitó nuevas interpretaciones físicas y matemáticas. Este será el motivo del siguiente apartado en el cual Puerta, después de hacer un inventario de los catálogos de estrellas y mapas del cielo a lo largo de la historia, se centra en Newton y su interpretación física y matemática del sistema planetario con base en sus leyes de la mecánica y la gravitación universal.

También se describe la competencia entre Francia e Inglaterra por la construcción de los mejores y más poderosos observatorios en los siglos XVIII y XIX; se plantea que la astrofotografía y la fotografía del espacio profundo desde comienzos del siglo XIX, permitieron la construcción de un cosmos moderno como el que actualmente conocemos. Es, en este mismo siglo, en el cual "el astrofísico Edwin

Hubble comprueba que muchas de las "nebulosas" que se observan por todas partes en la Vía Láctea, como la nebulosa de Andrómeda, son en realidad enormes galaxias muy distantes que se alejan entre sí. De allí se derivaría años después la teoría del Big Bang" (p. 85). Luego vendrían los cambios fundamentales en la imagen del cosmos a partir de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica.

"Los artistas de la luz" es una reflexión muy bien ilustrada sobre ciencia y arte, principalmente en relación con las nuevas concepciones sobre la naturaleza de la luz a finales del siglo XIX y la pintura de los impresionistas franceses. "[...] es el impresionismo una interpretación de la naturaleza mediante la luz reveladora de las formas, en donde las sombras no son ausencia de luz, sino luz de otra calidad y otro valor" (p. 88).

El último apartado del libro, "Nuevos mundos", plantea cómo a partir de las nuevas tecnologías de la fotografía astronómica, la interpretación pictórica perdió importancia a comienzos del siglo XX. No obstante, a partir de la imposibilidad de tener acceso a mundos demasiado distantes o a partir de hipótesis como la que se desarrolló a finales del siglo XIX sobre los canales de Marte, el arte espacial es una realidad. "[...] los artistas del espacio nos llevan a lugares inalcanzables por los telescopios y las naves espaciales; sus descripciones tan vívidas y realistas de estrellas, planetas, cometas y agujeros negros nos enseñan que el poder del arte para representar nuestras ideas sobre el cosmos, permanece" (p. 96).

La lectura de este libro es una experiencia estética e intelectual que vale la pena experimentar. El texto y la imagen confabulan para que el viaje sea un placer para el intelecto y para la imaginación.

GERMÁN CUBILLOS ALONSO
Coordinador editorial
Revista *Innovación y Ciencia*

Sitios web

Astroseti

<http://www.astroseti.org/>

La presentación de la página dice: Astroseti.org es, ante todo, el esfuerzo de un grupo de voluntarios aficionados a los temas relacionados con la astronomía y la exploración espacial, que encuentran en la astrobiología una ciencia que responde a sus inquietudes, al tiempo que busca una respuesta a la pregunta: ¿estamos solos?

Puesto que está constituido principalmente por españoles y algunos latinoamericanos, su labor de traducción de artículos y noticias al español es una de las actividades fundamentales. De hecho, hacen traducciones para el Instituto de Astrobiología de la NASA y también para *Astrobiology Magazine* (<http://astrobio.net/news/>). Su actividad está centrada en la divulgación para poner los temas que ellos manejan al alcance de los visitantes de su página.

Organización Mundial de la Salud, OMS

<http://www.who.int/es/>

Esta es la página web de la Organización Mundial de la Salud, OMS, la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas. Como su nombre lo indica, es la entidad responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales; configurar la agenda de las investigaciones en salud; establecer normas; articular opciones de política basadas en la evidencia; prestar apoyo técnico a los países; y vigilar las tendencias sanitarias mundiales. En situaciones como la recientemente presentada por el brote de influenza H1N1, para mantenerse bien informado, lo mejor es consultar páginas reconocidas como esta.

Centros para el control y la prevención de enfermedades

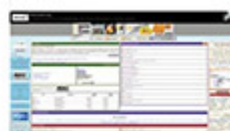
<http://www.cdc.gov/spanish/index.htm>

Esta página corresponde al portal oficial del Gobierno de los Estados Unidos, en español, dedicada a ofrecer información sobre salud, control y prevención de enfermedades. Es un buen complemento de la página de la OMS.

Nature

<http://www.nature.com/nature/history/editors.html>

Esta es la página web de *Nature*, una de las revistas científicas más importantes en todo el mundo, fundada en 1869. En ella se publican artículos de múltiples áreas de la ciencia, aunque tiene cierta tendencia hacia la biología. Se publica en el Reino Unido por la compañía Nature Publishing Group, con periodicidad semanal y su principal competidor es la revista *Science*. La editorial también publica revistas especializadas como *Nature Neuroscience* y *Nature Structural and Molecular Biology*.



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

Revista Innovación
y Ciencia
Un paso adelante en Ciencia y Tecnología

Cupón de suscripción

Suscripción anual para Bogotá \$45.000 • Precio número regular \$12.000 • Precio edición especial \$15.000 • Suscripción gratuita para asociados

AÑO
 NOMBRE
 DIRECCIÓN
 TELÉFONO FAX CELULAR C.E. O. NO.
 CIUDAD CORREO ELECTRÓNICO
 PROFESIÓN ESPECIALIDAD
 FORMA DE PAGO EFECTIVO TARJETA DE CRÉDITO N° ACEPTO RENOVACIÓN AUTOMÁTICA: SI NO
 DINERO VISA MASTER CARD AMERICAN EXPRESS
 VENCE CUOTAS NÚMERO DE SEGURIDAD
 CHEQUE CHEQUE N° BANCO
 FIRMA

Consignación a nombre de: «Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia» cto:
 Banco de Occidente, cuenta de ahorros N° 26880244-5 • Banco Agrario, cuenta de ahorros
 N° 0230-002930-5 • Banco Popular, cuenta corriente N° 360-207196.
 Envíe su comprobante de pago junto con este cupón al fax: 2216550 y 2219953 o por correo a la
 sede de ACAC en Bogotá: Calle 44 N° 45- 67 Unidad Camilo Torres • Bloque C • Módulo 3
 innovacionyciencia@acac.org.co
 Bogotá, Colombia • Más 95.000, costo de envío fuera de Bogotá

PROGRAMACIÓN ACADÉMICA

Un componente muy importante en el marco de la XI Especiencia Expotecnología 2009 en el Año Internacional de la Astronomía es la programación académica dentro de la cual se realizarán encuentros, seminarios y talleres a cargo de importantes especialistas nacionales e internacionales que tratarán diferentes temas afines a la feria tales como: ciencia y literatura, curiosidad, creatividad, innovación, astronomía, biotecnología, políticas de ciencia y tecnología, entre otros.

ENCUENTRO: EXPLORACIÓN POR LA BIOLOGÍA Y LA BIOTECNOLOGÍA. Una mirada futurista

OBJETIVO: Preparar un espacio para que los diferentes actores sociales puedan debatir acerca de la relación entre biotecnología, medio ambiente y sociedad, así como mostrar el interés por la ciencia y la tecnología e impulsar la innovación y el desarrollo social integral.

Capacidad: 200 asistentes. Duración: 2 días
 Fecha: Octubre 21 y 22 de 2009
 Precio inscripción: Asistencial \$30.000
 Participación: \$120.000
 Extranjeros: \$50.000

X ENCUENTRO NACIONAL DE PROFESORES INVESTIGADORES, INNOVADORES EN EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS "Ciencia y Educación"

OBJETIVO: Dar a conocer a los docentes del país, una nueva perspectiva y discusión de la relación ciencia/humanas y su importancia en el aprendizaje y la investigación en el aula.

Capacidad: 2000 docentes del país
 Duración: 2 días
 Fecha: Octubre 22 y 23 de 2009
 Precio inscripción: Asistencial \$80.000
 Participación: \$100.000

TALLERES Y ENCUENTROS CIENTÍFICOS

OBJETIVO: Promover el acercamiento de niños, niñas, jóvenes y público en general a la ciencia y a la tecnología a través de talleres sobre temáticas de interés y encuentros con otros grupos de investigación, donde se socialicen los resultados de los trabajos de investigación.

Para público en general y grupos de instituciones \$3.000
 Precio inscripción:
 Costo por persona: \$3.000

V ENCUENTRO NACIONAL DE CLUBES DE CIENCIA "Curiosidad, Creatividad e Innovación"

OBJETIVO: Incentivar el trabajo de los clubes de ciencias promoviendo y creando clubes que involucran procesos de participación de la sociedad con el objeto de estimular el desarrollo de la ciencia, tecnología y la innovación en sus diferentes etapas.

Capacidad: 200 niños y jóvenes / Duración: 2 días
 Precio inscripción: \$7.000 por persona
 Fecha: Octubre 20 y 21 de 2009

ENCUENTRO EMPRESARIAL

OBJETIVO: Da la oportunidad a los empresarios de establecer nuevas relaciones con el desarrollo empresarial, científico, tecnológico, a cargo de grandes empresarios, académicos y científicos quienes exponen y acompañan sus experiencias con los empresarios.

Precio inscripción:
 Fecha: 20 y 21 de Octubre

V FORO DE POLÍTICAS DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA UNIVERSIDAD, EMPRESA Y ESTADOS

Agenda de trabajo sobre políticas científicas, tecnológicas, empresariales, en donde a través de un espacio de discusión se manifiesta una cooperación de la academia y el empresario. Incluye la agenda y la sustentación técnica general y presentaciones de investigación, actividades y actividades tecnológicas en el campo de la innovación.

Precio inscripción:
 Fecha: 20 y 21 de Octubre

**XI ESPECIENCIA
EXPOTECNOLOGÍA
2009 EN EL AÑO INTERNACIONAL DE LA ASTRONOMÍA**

ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA, CALLE 44 No. 45-67, BLOQUE C, UNIDAD CAMILO TORRES, BOGOTÁ - COLOMBIA / 3
 Teléfono: (57) 01 221 6550 / 221 9953 • Fax: (57) 01 221 6550
 Dirección electrónica: innovacionyciencia@acac.org.co
 innovacionyciencia@acac.org.co, www.acac.org.co
 Web site: www.acac.org.co