

Innovación y Ciencia

Volumen XVIII • Nº1 • Tarifa postal reducida 2011-194 • Colombia \$ 12.000



REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA
VOLUMEN XVIII N° 1- 2011

PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para el Avance
de la Ciencia, ACAC

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez
Marcelo Riveros R.
Beatriz Bechara Cabrera
Carlos Corredor P.
Elena Stanshenko
Guillermo Hoyos V.
Helena Groot
Horacio Torres S.
José Felix Patiño
Rubén Ardila Ardila

Corporación para Investigaciones
Biológicas - CIB

Centro Internacional de Entrenamiento
e Investigaciones Médicas - CIDEIM

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales - ACCEFYN

Centro Interactivo Maloka

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

Carmen Helena Carvajal López

EDITOR

Germán Cubillos Alonso

COORDINACIÓN EDITORIAL

María Carolina Suárez S.

COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Flórez

Carmen Helena Carvajal

Elizabeth Castañeda

Marcelo Riveros

Jordi Carreras

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

José Antonio López Cerezo

Alejandro Franco García

PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Susana Carrié M.

CORRECCIÓN DE ESTILO

Eduardo Aristizabal

FOTOGRAFÍA

Autores y Banco de imágenes

IMPRESIÓN

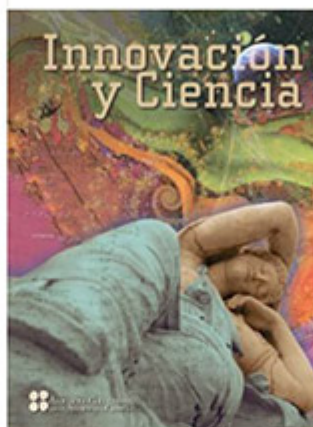
Nomos Impresores

COMERCIALIZACIÓN

Departamento de Mercadeo de ACAC

DISTRIBUCIÓN

Distribuidoras Unidas



CARÁTULA

El sueño cósmico

Imagen: Susana Carrié

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

DERECHOS RESERVADOS

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

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

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

ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida: 2011-194 4-72. La Red Postal de Colombia,
vence 31 de diciembre de 2011

ACAC Calle 44 N° 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): \$50.000 para Bogotá,

\$55.000 fuera de Bogotá.



Notas cortas ◀ ▶ 8
Año Internacional de la Química



Impactos ambientales
El mito del perpetuo crecimiento económico ◀ ▶ 12
GUNTER TRAPP



¿Cambio climático o de conciencia? Inundaciones, territorio y aprendizaje en la sociedad ◀ ▶ 21
GERMÁN IGNACIO ANDRADE



Astrofísica ◀ ▶ 28
El big bang: aproximación al universo y a la sociedad
SERGIO TORRES ARZAYÚS



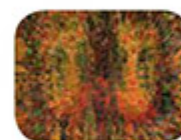
Sumario

Innovación y Ciencia • Volumen XVIII • Nº 1 • 2011

Fisicoquímica ← ▶ 41

El Incontrolable desorden

AURORA ESTHER MOLINA BACCA



Ver para conocer, conocer para preservar ← ▶ 50

FOTOS: CARMEN HELENA CARVAJAL • FABIO HERNANDO PÉREZ GÓMEZ



Neurobiología ← ▶ 53

**Evolución y Neurobiología de las experiencias
místico-religiosas**

JUAN FERNANDO DUQUE OSORIO



Divulgación de la ciencia ← ▶ 64

Ciencia y teatro ¿que qué?

GERMÁN CUBILLOS ALONSO



Páginas web ← ▶ 74

a

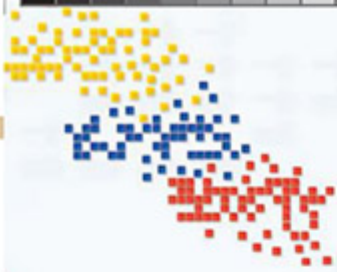
finales del año pasado se conocieron los resultados de un estudio llevado a cabo por Transparencia por Colombia, entidad que desde hace varios años lidera, desde la sociedad civil, la lucha contra la corrupción en el sector público. En ese trabajo, que incluyó a más de 150 instituciones, Colciencias aparece en uno de los últimos lugares, como una de las más corruptas del país. Dicho resultado causó estupor en la comunidad científica colombiana ya que descalifica de un plumazo la labor que esa entidad ha desarrollado a lo largo de sus más de cuarenta años de existencia. Lo más grave es que ese calificativo ha sido utilizado posteriormente por medios del mayor prestigio, como es el caso del periódico el Tiempo en una reciente nota editorial. No cabe duda de que al hacer ese tipo de evaluaciones, Transparencia por Colombia busca contribuir a combatir uno de los flagelos que más ha afectado a nuestro país a lo largo de su historia. Sin embargo, parece evidente que antes de emitir un juicio tan radical, una entidad de la seriedad y trayectoria de ésta debería haber desarrollado un proceso de diálogo, tendiente a complementar la información requerida y a aclarar las dudas que hubieran podido surgir en el análisis. Quienes, como es el caso de la ACAC, hemos estado cerca de Colciencias a lo largo de los años, podemos dar fe de la enorme labor adelantada por esa entidad en pro de la ciencia colombiana, gracias a la cual el país cuenta hoy con más de 5000 grupos de investigación, cerca de 100 centros y casi 18000 investigadores activos y ha incrementado de manera muy notable su producción científica hasta llegar a cerca de 2700 artículos anuales en revistas indexadas. Desde sus comienzos como fondo, adscrito al Ministerio de Educación, hasta el actual Departamento Administrativo, Colciencias ha desempeñado un liderazgo indiscutible a nivel no sólo nacional sino en el ámbito latinoamericano. Iniciativas tan importantes como la ley 29 de 1990, los estímulos tributarios, el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, la ley 1286 del 2009, o el notable incremento de presupuesto para la ciencia y la tecnología en los últimos tres años, han servido de referencia para acciones similares en otros países de la región y han sido factor esencial para el crecimiento de un sector tan vital para el futuro del país. Es igualmente claro que la mención antes citada pone en tela de juicio la probidad de sus directores y funcionarios, todos ellos personas de un merecidísimo prestigio por sus cualidades humanas y académicas y de un amplio reconocimiento nacional e internacional. Esperamos que de manera urgente se pueda aclarar este tema, ya que de lo contrario, en vez de lograr mejorar el desempeño de la entidad, como es el loable propósito de Transparencia, se corre el riesgo de afectar de manera grave, no solamente a Colciencias, sino a toda la comunidad científica, dinámica y de alto nivel, pero aún de una gran fragilidad, derivada del poco reconocimiento que, por razones culturales, tiene su labor en un país como el nuestro.

Eduardo Posada Flórez

Presidente

Carmen Helena Carvajal López

Directora Ejecutiva



Línea Verde



BANCOLDEX
BANCO DE COMERCIO EXTERIOR DE COLOMBIANA

*El Banco para el desarrollo empresarial
y el comercio exterior*

¿Mejorar la productividad de su empresa mientras contribuye al desarrollo sostenible es posible?

Con la línea especial de crédito **"aProgresar Desarrollo Sostenible"** que le ofrece BancolDex, usted podrá financiar, en condiciones preferenciales, el montaje e implementación de sistemas de control y monitoreo que prevengan y mitiguen los efectos generados por su empresa al medio ambiente.



Línea Colciencias

"En alianza con Colciencias, BancolDex apoya los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico de su negocio, ya sea este una micro, pequeña, mediana o gran empresa. En condiciones preferenciales de plazo y tasas, su empresa puede acceder a beneficios adicionales si demuestra un aumento en los indicadores de productividad y competitividad".

Línea Multicontacto BancolDex: Bogotá: (57)(1) 649 7100 - Otras Ciudades: 01 8000 91 5300

Oficinas

Bogotá - Cll. 28 No. 13 A-15, P. 38 al 42
Barranquilla - Cra. 52 No. 76-167, L. 101, C.C. Atlantic Center
Cali - Cll. 4 Norte No. 1N-04, Ed. Torre Mercurio, B. Centenario
Medellín - Cll. 7 Sur No. 42-70, Of. 613, Ed. Forum, El Poblado

www.bancoldex.com

Centro Empresarial BancolDex

(Micros y pequeñas empresas)

Bogotá - Cra. 10 No. 27-51, L. 211 P. 2, Centro Internacional
Barranquilla - Cra. 52 No. 76-167, L. 101, C.C. Atlantic Center
Cali - Cll. 4 Norte No. 1N-04, Ed. Torre Mercurio, B. Centenario
Bucaramanga - Cra. 33 No. 46-23
Pereira - Cll. 24 No. 7-23, L. 102, C.C. El Logo



Publique en



Innovación y Ciencia

Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

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

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

POLÍTICA EDITORIAL

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

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

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

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

ESPECIFICACIONES

Temas

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

Escritos

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

Lenguaje

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

- Evitar, hasta donde sea posible, el uso de expresiones y demostraciones matemáticas, así como el uso innecesario de formulaciones químicas.
- Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión ARDS (del inglés: Adult Respiratory Distress Syndrome)".
- Sólo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.
- Las ecuaciones y fórmulas deben generarse desde un archivo de Word.
- Todo cuadro, figura o ilustración debe estar traducida al español.

Envío

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

MATERIAL GRÁFICO

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

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

Referencias

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

Cita de artículo de revista científica:

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

Cita de Libro:

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

Resumen

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

IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

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

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

La revista *Innovación y Ciencia* esta indexada en **Latin-dex**: sistema de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. UNAM, Mexico.

Asociación Colombiana
para el Avance de la Ciencia -ACAC-
Calle 44 N° 45 - 67 Unidad Camilo Torres
Bloque C • Módulo 3
Fax: 2216950 • 2219953 • Tels: 3155898 • 3150734
innovacionyciencia@acac.org.co
Bogotá, DC, Colombia



Año Internacional de la **QUÍMICA**¹ 2011

1. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/sc_IYC_dossierfinal_ES.pdf



“La Química: nuestra vida, nuestro futuro”

Todo es química. Cualquier materia conocida –gas, líquido, sólido y plasma– está compuesta por diferentes elementos químicos o por compuestos de esos elementos. Se suele contraponer, erróneamente a menudo, la química a la naturaleza, cuando el conocimiento humano del mundo material está basado en nuestro conocimiento de la química. “La química es la vida. Es el vínculo entre todas las demás ciencias, en particular cuando trata de comprender cuáles son los elementos constitutivos de la materia, la energía y los componentes mismos de la vida”, afirma Irina Bokova, Directora General de la UNESCO.

La química está en todas partes, hasta tal punto que la mayoría de las veces suele pasar desapercibida. Jean-Marie Lehn, Premio Nobel de Química (1987), nos recuerda que “un mundo sin química estaría desprovisto de materiales sintéticos y, por lo tanto, carecería de teléfonos, ordenadores, tejidos sintéticos y cines. Sería también un mundo carente, entre otras muchas cosas, de aspirinas, jabones, champús, dentífricos, cosméticos, píldoras anticonceptivas, colas, pinturas y papel, por lo que no habría tampoco ni periódicos ni libros”. En efecto, todos esos productos son el resultado de transformaciones químicas.

Todos los hombres son químicos. El mero hecho de cocer un huevo supone realizar una operación química, en la medida en que provoca una transformación de la materia. Michal Meyer, directora de la revista Chemical Heritage, afirma que “ser hombre es transformar la materia”. La vida misma es la más alta expresión de la química, al ser ésta la ciencia de la materia y de sus transformaciones.

La química aporta soluciones sostenibles. Acusada con frecuencia de haber contribuido al deterioro del medio ambiente y al cambio climático, la química está elaborando en nuestros días materiales y elementos energéticos sostenibles. Por ejemplo, la última generación de productos fitofarmacéuticos es más eficaz y menos contaminante; y los nuevos combustibles reducen la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera. En el ámbito de la salud, la investigación nanomolecular está abriendo paso a innovaciones médicas importantes, ofreciendo así una alternativa a la quimioterapia en el tratamiento del cáncer.

La investigación química y la difusión de sus contribuciones al desarrollo sostenible a escala mundial revisten una importancia esencial. Bajo el lema de “La química: nuestra vida, nuestro futuro”, el Año Internacional de la Química ofrece una oportunidad para hacer un balance de las aportaciones de esta ciencia, sensibilizar al público sobre su importancia y movilizar a los jóvenes, invitándoles a que tomen el relevo y prosigan la labor de investigación de las generaciones anteriores.



2011: Un año de debates sobre la Química

Antecedentes del Año Internacional de la Química (AIQ)

Después de que la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) hubiera sugerido la idea de celebrar un Año Internacional de la Química, Etiopía la hizo suya y tomó la iniciativa de someter a la aprobación de las Naciones Unidas un proyecto de proclamación del Año. En 2008, menos de un año después de que esa idea germinara, el Consejo Ejecutivo de la UNESCO le prestó su apoyo. Posteriormente, Etiopía, país donde tiene su sede la Federación de Sociedades Africanas de Química (FASC), presentó a la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su 63º período de sesiones, una resolución respaldada por 23 naciones con vistas a la proclamación del Año Internacional. Esa iniciativa culminó en diciembre de 2008 con la aprobación de una resolución de las Naciones Unidas por la que se proclamaba el 2011 como el Año Internacional de la Química. En 2011 se celebra también el centenario de la concesión del Premio Nobel de Química a María Sklodowska-Curie por su descubrimiento del radio y el polonio. Por eso, el Año Internacional de la Química ofrece también una oportunidad para rendir homenaje a la labor de la mujer en la investigación científica en general, y en la química en particular. Uno de los propósitos del Año Internacional es despertar entre las mujeres la vocación por los estudios de química, ya que están insuficientemente representadas en esta disciplina. “Desde que se otorgó el Premio Nobel de Química a Marie Sklodowska-Curie, hace ya cien años, solamente tres mujeres han recibido esta prestigiosa distinción. El mundo necesita más mujeres galardonadas con premios científicos”, recalca la Directora General de la UNESCO, Irina Bokova.

Los objetivos del Año Internacional

El Año Internacional de la Química se sitúa en el marco del Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible (2005-2014), uno de cuyos objetivos es contribuir a la preservación de los recursos naturales del planeta. De conformidad con las recomendaciones formuladas por la IUPAC y la UNESCO, las Naciones Unidas han definido los objetivos del Año Internacional ajustándose a las metas del Decenio:

- Sensibilizar al público en general sobre la importancia del papel desempeñado por la química y, en particular, su capacidad para responder a los desafíos planteados por el desarrollo sostenible.
- Fomentar el interés de los jóvenes por la ciencia.
- Suscitar el entusiasmo por el futuro creativo de la química.
- Con motivo del centenario de la atribución del Premio Nobel de Química a Marie Sklodowska-Curie, celebrar la contribución de la mujer al desarrollo de la ciencia.

El Año Internacional de la Química 2011 tiene también por objeto poner de relieve la contribución de la química al bienestar humano. Bajo el lema: “La química: nuestra vida, nuestro futuro”, se trata de impulsar y coordinar a nivel internacional, nacional, regional y local, toda una serie de iniciativas lúdicas y educativas destinadas a un vasto público, a fin de dar a conocer la química.

La IUPAC y la UNESCO, dos organizaciones asociadas

Al haber sido la IUPAC y la UNESCO las dos primeras organizaciones que se movilizaron en favor de la proclamación del Año Internacional de la Química, las Naciones Unidas confiaron a ambas la tarea de organizar y coordinar las actividades y eventos conmemorativos del Año.

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC)

La IUPAC celebra este año sus 100 años de existencia. Esta organización, fundada por químicos del mundo universitario y empresarial, ha contribuido siempre a fomentar la investigación científica en el campo de la química. No sólo da a conocer en el mundo entero las investigaciones de las diferentes disciplinas de esta ciencia, sino que además desempeña la función de vínculo entre los universitarios, los industriales y el público en general. Aureolada de un gran prestigio internacional, la IUPAC, que cuenta con 51 organizaciones nacionales afiliadas como miembros y con 21 organismos asociados, está reconocida como la máxima autoridad mundial en todo lo referente a la nomenclatura y la terminología químicas, y a los métodos estandarizados de medidas y pesos atómicos. En los últimos años, la IUPAC ha dado pruebas de un gran dinamismo organizando una amplia gama de conferencias y proyectos encaminados a estimular y dar a conocer la reciente evolución de la química, a fin de mejorar el conocimiento de esta ciencia por parte del público y suscitar su interés. En su reunión celebrada en Turín (Italia) en agosto de 2007, el Consejo de la IUPAC aprobó por unanimidad una resolución con vistas a conseguir que 2011 fuera proclamado Año Internacional de la Química.

La IUPAC desempeña funciones de coordinación y comunicación en las actividades del Año Internacional.

Más información en: www.iupac.org

La UNESCO

Desde su creación en 1945, la UNESCO prosigue sin descanso su misión de promover la ciencia en pro del desarrollo sostenible y la paz. En el ámbito de la ciencia, la organización se centra en la elaboración de políticas científicas, el fortalecimiento de capacidades en ciencia, tecnología e innovación, la enseñanza de las ciencias, la gestión sostenible del agua dulce y de los recursos de los océanos y la Tierra, la protección de la diversidad biológica y el cambio climático. La UNESCO también se esfuerza por acabar con todas las formas de discriminación y promover la igualdad entre hombres y mujeres en general y, más concretamente, en el campo de la investigación científica.

En el marco de los años internacionales proclamados por las Naciones Unidas en el ámbito científico, la UNESCO fue la organización designada para encabezar la coordinación de las actividades correspondientes al Año Internacional del Planeta Tierra (2008) y el Año Internacional de la Astronomía (2009). También participó activamente en las actividades realizadas con motivo del Año Internacional de la Diversidad Biológica (2010).

Más información en: www.unesco.org/es

45 años

UN UNIVERSIDAD
DEL NORTE

Barranquilla - Colombia

Ciencia y
tecnología
para el
desarrollo y la
transformación
social

- Es una de las diez mejores universidades del país, según indicadores de ciencia, tecnología e innovación de Ranking U-Sapiens Colombia.
- Cuenta con infraestructura y experiencia para la gestión tecnológica.
- 40 grupos de investigación categorizados por Colciencias, 14 en A1 y A.
- Cerca de 70 experiencias exitosas en proyectos I+D Universidad-Empresa y más de 100 investigaciones con impacto social.



www.uninorte.edu.co/investigacion

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

© Susana Canals
Impactos ambientales

El mito del perpetuo crecimiento económico

GUNTER F. TRAPP

FÍSICO, PH. D. FACULTAD DE CIENCIAS,
UNIVERSIDAD DE MUNICH.

guntertrapp@hotmail.com



*Cuando arde la casa vecina,
está en juego la tuya¹*

Crecimiento y pronósticos

Cuando tratamos de anticipar el futuro, pronosticamos, extrapolamos experiencias anteriores. Hay pronósticos muy precisos, por ejemplo el de un eclipse, y otros muy inseguros como la futura felicidad de una pareja de novios. Pronósticos confiables nos favorecen porque nos permiten actuar con previsión. Pronostican los médicos, los meteorólogos, los economistas. Pronósticos a menudo se relacionan con el crecimiento, desde la talla de zapatos que el niño pronto necesitará hasta el tamaño futuro de una ciudad. Pero nunca se ha pronosticado un crecimiento perpetuo: es ajeno a nuestra experiencia y sería contrario a las leyes de conservación de masa y energía. Todo crecimiento tiene su límite². En algunos casos de crecimiento, por ejemplo el del cuerpo humano, pronosticamos su límite sin dificultad, porque conocemos su ritmo y la manera como varía. En otros casos, por ejemplo el de la explotación de un recurso natural, su ritmo y la forma como varía³ son menos conocidos y no se puede pronosticar con exactitud el momento en que llegue a su límite. Tales incertidumbres han sido motivo para una (errónea) afirmación: "Dado que no hay acuerdo sobre el límite, tal límite no existe". En forma atenuada, pero igualmente infundada, hay quienes afirman: "Si hay tal límite, se ubica en un futuro suficientemente lejano para no tener que preocuparnos". De hecho, para la explotación de los recursos naturales, pronósticos bien fundados se han elaborado a partir de los años 70 del siglo XX (por ejemplo Meadows et. al. 1972), ubicando el límite de su crecimiento en el siglo XXI, con importantes consecuencias para el desarrollo actual.

1. Célebre frase de Horacio (siglo I): *hic tua res agitur, paries cum proximus ardet*.

2. Según un dicho alemán "no hay árbol que crezca hasta el cielo".

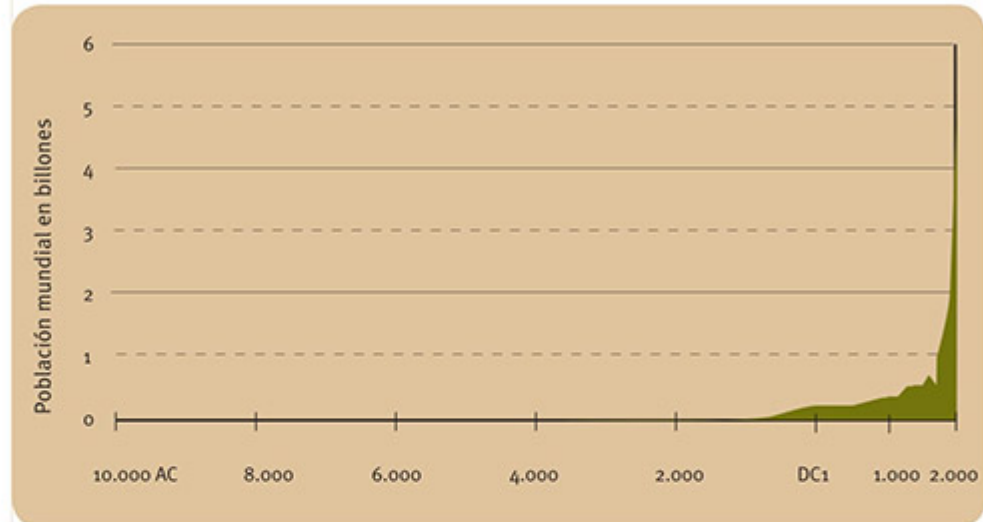
3. El crecimiento exponencial es el que con mayor rapidez llega a su límite.

¿Cuánta gente cabe en nuestro planeta?

El espectacular y acelerado crecimiento de la población humana en los últimos 200 años, con su forma (aproximadamente) exponencial y su contraste con épocas anteriores de relativa estabilidad (ver fig. 1), ha sido objeto de análisis y discusión a partir de la segunda mitad del siglo XX (por ejemplo: Ehrlich 1968).

Figura 1.

Desarrollo histórico de la población humana global.



Se relaciona estrechamente con el concepto de “capacidad de carga”, desarrollado por los biólogos para las especies vivas en ecosistemas estables⁴. En tales sistemas, (por definición) cada especie mantiene constante el número de sus individuos, generación tras generación. El *Homo sapiens*, a pesar de sus atributos únicos, no está exento de esta dinámica. Esto significa que en un ecosistema estable de cada pareja solo dos hijos (en promedio) alcanzan la edad reproductiva (la “cuota de reemplazo”). Si su fertilidad supera la cuota de reemplazo, los demás hijos caen víctimas de desnutrición, enfermedad, violencia o depredadores.

El hombre siempre ha tratado de escapar a esta cruel situación, para lo cual dispone de dos opciones (que se pueden combinar):

1. La intencional reducción de su fertilidad a la cuota de reemplazo, evitando embarazos indeseables (según criterios individuales y/o colectivos). Este camino en tiempos recientes ha resultado factible (“planeación familiar”), pero todavía encuentra oposición cultural y religiosa. La República Popular China está siguiéndolo en forma rigurosa (incluso coercitiva), con profundas (y problemáticas) transformaciones de la estructura familiar. Otros países podrán verse obligados a usar este camino a medida que otras alternativas se les cierren. La prosperidad de los países desarrollados (por ejemplo de la Unión Europea) ha sido un desincentivo para familias numerosas, suficiente para estabilizar su población. La mayoría de los países en desarrollo, incluyendo Colombia, registran cierta reducción de la fertilidad, pero insuficiente para estabilizar su población.
2. La ampliación de la capacidad de carga a favor de su especie, modificando los ecosistemas existentes. Siguiendo este camino, el hombre ha conquistado todos los continentes habitables; como cazador ha reducido las especies vulnerables, como agricultor ha reemplazado (muchas veces en forma irreversible) los ecosistemas originales, y con la moderna industrialización y urbanización ha creado sistemas artificiales que requieren continuo mantenimiento. Efectivamente, cada una de estas transformaciones ha significado un aumento de la capacidad de carga. Mientras esta capacidad aumenta, es decir durante la transición, baja la mortalidad, hay desarrollo y, desde

⁴. La capacidad de carga representa el límite que una población puede alcanzar sin afectar (degradar) la estabilidad del ecosistema que la sostiene

luego, crece la población. Pero en pocas generaciones se copa la mayor capacidad de carga, se impone un nuevo equilibrio y se pierde la ventaja. Este frustrante resultado se suele interpretar, de manera superficial, como crisis de crecimiento cuando en realidad es una crisis por llegar al límite de la capacidad de carga. Para que el desarrollo continúe, hay que reanudar la ampliación de la capacidad de carga.

3. La cuestión es saber hasta qué punto se puede continuar la ampliación de la capacidad de carga. ¿ad infinitum? La respuesta es negativa, puesto que todo crecimiento llega a su límite. Tarde o temprano se hacen sentir los fenómenos de "retroalimentación negativa", por ejemplo el agotamiento de recursos, la contaminación ambiental, la falta de espacio, que frenan y paran el crecimiento. Franquear este punto con una continuación del crecimiento demográfico significa abandonar la estabilidad del sistema, socavar la capacidad de carga y entrar en un efecto burbuja (fig.2).

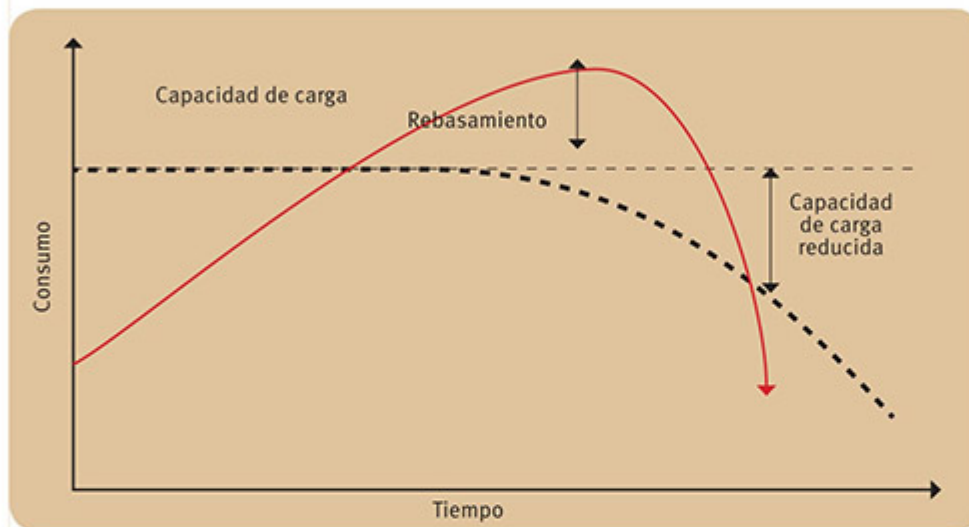


Fig. 2

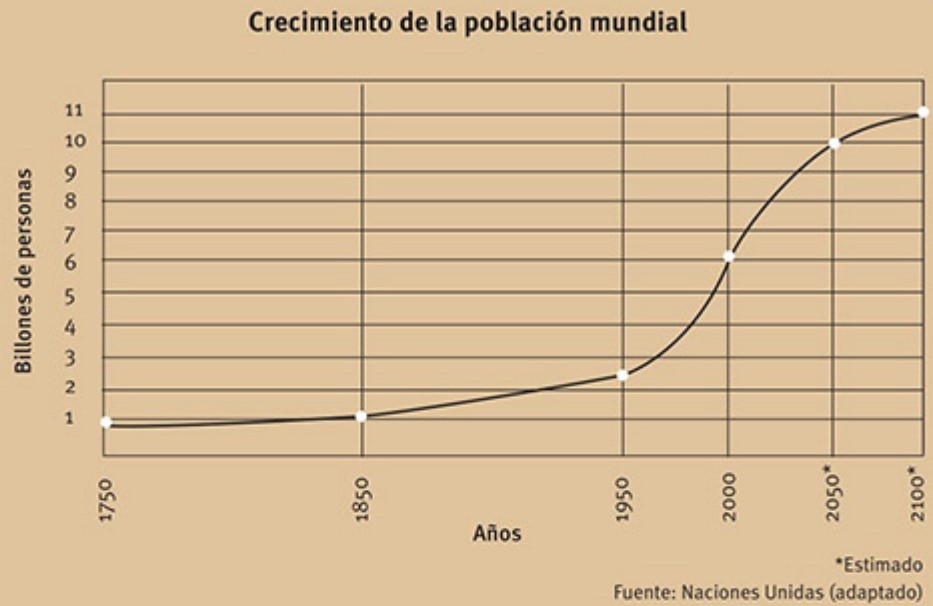
Efecto burbuja. La creciente población (línea roja) supera la capacidad de carga y la reduce. La reducción precipita el colapso de la población.

Obviamente, la capacidad de carga del planeta para nuestra especie no tiene un valor definitivo. Depende de los recursos que en forma sostenible podamos movilizar, los que a su vez dependen de nuestras posibilidades tecnológicas y de la manera como los aprovechamos y compartimos. La "Huella Ecológica" (Wackernagel 1995) es una de las formas para determinar esta capacidad. Consiste en calcular la superficie que cada ser humano necesita, directa o indirectamente, para satisfacer sus necesidades y para neutralizar o reciclar sus desechos. Se suman todas estas "huellas ecológicas" individuales y se compara el resultado con la superficie disponible del planeta. Cálculos recientes muestran que la huella ecológica global actualmente excede en más del 30 por ciento la superficie disponible y sigue creciendo. Esto concuerda con conclusiones anteriores indicando que ya a partir de los años 80 del siglo XX la humanidad había excedido la capacidad de carga del planeta. A partir de esa época, las ampliaciones de la capacidad de carga quedaron rezagadas frente al crecimiento demográfico. Desde esa época estamos sobreexplotando los recursos del planeta, lo estamos saqueando. Vivimos un efecto burbuja, caminamos hacia el colapso. Cuando más necesitamos nuevas ampliaciones de la capacidad de carga, más la estamos mermando. La "bomba de la explosión demográfica" no está desarmada; amenaza con estallar.

Es con esta perspectiva que hay que mirar ciertas proyecciones del crecimiento demográfico global que, ignorando el efecto de la mermada capacidad de carga, prevén un incremento de otro 30 por ciento hasta la mitad del siglo XXI (fig.3).

Fig. 3

Población humana global: Proyección hasta 2100 ignorando los efectos del deterioro de la capacidad de carga.



Un escenario más realista (fig. 4) prevé el colapso de la burbuja demográfica antes de esta época, resultando en un devastador aumento de la mortalidad, diez veces mayor al de la segunda guerra mundial y diez veces más duradero (Chefurka 2007).

Fig- 4

Población humana global: Escenario mostrando el colapso de la burbuja resultado del deterioro de la capacidad de carga y del consiguiente aumento de mortalidad.



Aún admitiendo la existencia de amplios márgenes de inseguridad en la construcción de tales escenarios, su mensaje es claro: nos enfrentamos al riesgo de un inminente cataclismo global sin precedentes. Es contra este trasfondo que hay que evaluar el impacto de alternativas para nuestra forma de vivir y de manejar la economía.



La tragedia del bien común⁵

En su muy citado artículo, G. Hardin (Hardin 1968) explica con lógica matemática porqué una pradera comunitaria tiende a ser víctima de sobrepastoreo: el beneficio por cada animal adicional colocado en la pradera favorece en su totalidad al dueño respectivo, mientras que el perjuicio (por creciente escasez de pasto) es compartido entre todos y lo afecta sólo en una pequeña proporción. Para cada dueño es ventajoso colocar animales adicionales hasta que la pradera queda destruida, a menos que entre a actuar otro mecanismo, por ejemplo, un acuerdo colectivo para anteponer el bien común a los intereses particulares. Esta misma lógica opera en la sobreexplotación pesquera en alta mar y, en general, en todos los casos de bien común, como el espacio público, los recursos hídricos, la biodiversidad o la atmósfera terrestre. En forma menos matemática corresponde al conocido hecho de que “lo que es de todos, es de nadie; todos lo aprovechan pero nadie lo cuida”.

Una forma de enfrentar la tragedia de los bienes comunes, sobre todo tratándose de recursos, ha sido entregarlos (durante un tiempo limitado) a manos definidas, individuales o corporativas, mediante permisos, licencias o concesiones que estipulan responsabilidades, derechos y obligaciones. Pero este mecanismo es difícil o imposible en el caso de recursos globales como los océanos, la diversidad biológica, la atmósfera y la capacidad de carga de nuestro planeta. En estos casos se imponen acuerdos internacionales, muchas veces difíciles de establecer y supervisar. Para ser efectivos, estos acuerdos y su cumplimiento deben ser respaldados (y exigidos) por la opinión pública de los países. En el caso de la biodiversidad, una conciencia global ya insiste en la necesidad de su conservación y su prioridad frente a intereses particulares. En el caso de la protección atmosférica contra la acumulación de CO₂ y el consiguiente cambio climático, la presión de la opinión pública no ha sido suficiente, hasta ahora, para obligar a los gobiernos a compromisos concretos. En el caso del desarrollo demográfico y de la necesidad de ajustarlo a la capacidad de carga (o viceversa), no hay acuerdo ni internacional, ni nacional, ni comunitario. Solo hay una vaga (mala) conciencia que población y capacidad de carga deberían concordar como condición para un futuro sostenible.

Cambio de siglo – Cambio de enfoque

Los últimos 200 años han visto una secuencia ininterrumpida de innovaciones tecnológicas, permitiendo la continua ampliación de la capacidad de carga y un crecimiento demográfico global sin precedentes. La principal base material de este desarrollo ha sido el acceso a energía barata en la forma de combustibles fósiles. Países ricos en yacimientos de carbón como Inglaterra y Alemania fueron los primeros en sacar provecho de este desarrollo. En el siglo XX, los países productores de petróleo pasaron a ocupar esta posición privilegiada. La continua mejora en las condiciones de vida de estos países y el ascenso social de buena parte de su población significaban desarrollo y progreso. Su continuación durante varias generaciones creó la convicción de que esta forma de progreso era un fenómeno duradero que podía extenderse al mundo entero y continuar sin límite. Conclusiones contrarias, por ejemplo las expresadas en el libro best seller *Los Límites del Crecimiento* (Meadows et al. 1972) fueron rechazadas, no por fallas en su análisis o sus conclusiones sino porque sacudían las bases de una arraigada convicción, cuestionaban la aceptada economía del crecimiento y chocaban con sus intereses creados. Advertencias sobre el agotamiento paulatino de recursos, niveles crecientes de contaminación ambiental y una población excesiva fueron contestadas con tres argumentos:

- La tecnología “siempre” ha encontrado soluciones oportunas. Parecían prueba suficiente varios ejemplos exitosos tales como el aumento de la producción global de alimentos (primero con abonos químicos, después con la “revolución verde” y, supuestamente en un futuro próximo, con modificaciones genéticas)⁶, o la miniaturización de la informática (cada vez más eficiencia usando menos energía)⁷.

5. Frase inspirada en el artículo de G. Hardin con el título: *The Tragedy of the Commons*

6. Se tiende a olvidar que las necesidades humanas básicas no se pueden miniaturizar.

7. El problema de la “lluvia ácida”, causado por el uso del carbón, se logró resolver sin excesivo sobrecosto.

- Las reservas de combustibles fósiles, en particular de carbón, garantizan energía barata por varios siglos. Con esta base, cualquier cambio o transformación ambiental es factible⁸; hasta podremos convertir los desiertos en jardines, regando con agua desalinizada.
- Para controlar el desempleo, el crecimiento es imprescindible. La ausencia de alternativas para reducir el desempleo ha dado mucho peso a este argumento aunque no prueba que el futuro crecimiento sea posible sino que es deseable.

El efecto práctico de las voces de alarma fue nulo. El “business as usual”, suponiendo un crecimiento económico sin límite⁹, continuó su rumbo. El crecimiento demográfico se vio, no como dilema o problema, sino como oportunidad para ampliar mercados. El siglo XX fue el siglo del optimismo y del crecimiento.

El comienzo del siglo XXI nos ha enfrentado a hechos que a ojos de todos invalidan el anterior optimismo: el cambio climático y una persistente crisis económica global. La nueva versión de “Los Límites del Crecimiento” (Meadows et al. 2004), y otros muchos trabajos (por ejemplo Chefurka 2007) han mostrado cómo los 30 años transcurridos sin cambio de rumbo han perjudicado nuestras opciones para el futuro y cómo nos han acercado peligrosamente al colapso de la burbuja. La actual crisis ya señala el choque de la economía contra los “hechos duros” del mundo real, contra los límites del crecimiento. Nos obliga a buscar, no una continuación del crecimiento, sino la transición hacia un estado estable. Quedaron al descubierto las debilidades de la argumentación anterior:

Aunque ciencia y tecnología buscan frenéticamente formas más “limpias” de energía, desde la fusión nuclear hasta los biocombustibles, ninguna de las alternativas está lista para reemplazar los combustibles fósiles.

La energía basada en combustibles fósiles ha dejado de ser barata: el inevitable aumento del CO₂ atmosférico, responsable del calentamiento global, es causa de tremendos costos, presentes y futuros.

No es posible forzar un crecimiento, así nos haga falta para controlar el desempleo.

Sobre las características de una economía de equilibrio (o economía ecológica) existe un amplio acervo de ideas, desde los trabajos que a partir de 1989 ha publicado la Sociedad Internacional de Economía Ecológica (ISEE) hasta la obra de H. Daly (por ejemplo Daly 2008). Su objetivo no es “más de lo mismo” (crecimiento del Producto Interno Bruto PIB), sino el cambio a una calidad de vida mejor, reflejada en otros índices⁹ y no condicionada por el crecimiento del consumo. Se reconoce que el crecimiento económico sigue siendo esencial para los pobres pero debe ser compensado por una renuncia parcial de los ricos a sus privilegios¹⁰. Solo así se evitará (o mitigará) una mayor degradación de la capacidad de carga del planeta. Solo así hay todavía esperanza de evitar el colapso de la burbuja. La transición a una economía de equilibrio se vuelve una cuestión social y ética de la mayor urgencia e importancia a nivel global. Si fracasamos en resolver esta cuestión, se impondrá “la ley del más fuerte”, ya sea desde el punto de vista tecnológico, económico o militar.

¿Quién paga los platos rotos?

En una economía de mercado clásica, el mecanismo oferta–demanda determina el precio de los bienes y servicios. Pero en el mundo real se presentan distorsiones y fallas, interferencias y manipuleo, incluyendo los subsidios y gravámenes de los gobiernos, artificiales tasas de cambio de divisas, barreras aduaneras etc., como también especulación, abusos de monopolios y la posibilidad de “externalizar” costos. En este último caso se esquivo el pago de costos pasando la cuenta a “los demás”. Un ejemplo

8. Este supuesto sitúa la economía tradicional muy cerca a las tristemente célebres pirámides fraudulentas.

9. Ejemplos son el *Human Development Index* de las Naciones Unidas y el *Happy Planet Index* propuesto por la New Economics Foundation.

10. Para los más pobres, un aumento de 2 dólares/día en sus ingresos significa duplicarlos; renunciar a 2 dólares/día es irrelevante para quienes ganen 100 dólares/día.



Tomado de www.buscador.com.

es el creciente endeudamiento de los estados que pasan la cuenta de cobro a la posteridad. Otros ejemplos son los costosos estragos ambientales que causa una minería mal llevada o la pérdida definitiva que representa la extinción de especies sobreexplotadas. Gran parte de los costos de la actual crisis económica también se ha externalizado: se trasladó desde la banca de inversión a los estados y de ahí a los contribuyentes desde los poderosos de los países ricos a los vulnerables de todo el planeta. La falla más grande ha sido una producción de energía “barata” con base en combustibles fósiles que no asume el costo del calentamiento global desencadenado. Aquí se presenta la tragedia del bien común a escala planetaria; el costo de las consecuencias recae en todos (aunque no golpee a todos por igual). Los costos causados por el huracán “Katrina” (Estados Unidos 2005) y por las inundaciones en Pakistán y Colombia (2010) todavía están sin pagar. Ni siquiera se ha podido cuantificarlos y menos indemnizar a las víctimas. Consecuencias a más largo plazo, como la paulatina desertificación y la gradual subida del nivel de mar causarían costos incalculables.

Para países como Colombia esto significa hacer todo lo posible para lograr dos cosas:

1. Blindarse contra la externalización ajena: buscar aliados y tomar el liderazgo en la búsqueda de las defensas necesarias, tales como tratados y convenios internacionales.
2. Evitar la externalización propia: evitar decisiones que perjudiquen a nuestros hijos, que de todas maneras tendrán que debatirse en un mundo empobrecido, contaminado, superpoblado y sujeto al cambio climático. Esto incluye:
 - Desmontar la deuda pública cuyo servicio ya consume cerca del 30 por ciento del presupuesto nacional colombiano.
 - Prever las consecuencias del calentamiento climático y hacer lo necesario para minimizar su impacto. Más vale prevenir que curar.
 - Cuidar los recursos renovables: nuestra parte de la biósfera, su diversidad, sus suelos, su hidrología.

Fig. 5

Damnificados de las inundaciones en Pakistán, 2010.



- Cuidar los recursos petroleros y mineros: velar por una explotación racional y cuidadosa; no vender barato ahora lo que tendremos que comprar caro después.
- Parar el crecimiento demográfico: evitar que todos los esfuerzos de una generación para mejorar producción y productividad se vayan en sostener, en las mismas condiciones precarias, la crecida población de la siguiente.

Colombia está en una posición privilegiada: su huella ecológica, suma de las huellas de todos sus habitantes, todavía no ha sobrepasado la superficie de la geografía nacional. Si logramos estabilizar la población y moderar nuestra huella individual, todavía podemos evitar el callejón sin salida del mítico crecimiento perpetuo. Construyamos y pongamos en marcha, junto con las mejores cabezas del mundo, la futura economía de equilibrio.

Referencias

- Chefurka P. (2007), "World Energy and Population, Trends to 2100". Página web del Autor
- Ehrlich P. R. (1968), *The Population Bomb*. Buccaneer Books, Cutchogue, N. Y.
- Hardin G. (1968), "The tragedy of the commons". Science vol.162 nr 3859 pp1243-48
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W. (1972), *The Limits to Growth*, Potomac Associates, N.Y.
- Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L. (2004), *Limits to Growth, the 30 years update*, Chelsea Green Publishing Co. White River Junction, V.T.
- Wackernagel M., Rees W. E. Testamale P. (1995), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on Earth*, New Society Publications, Gabriole Island, B.C. Canada.

© Luis Benavides





¿CAMBIO CLIMÁTICO O DE CONCIENCIA?

INUNDACIONES,
TERRITORIO Y APRENDIZAJE
EN LA SOCIEDAD

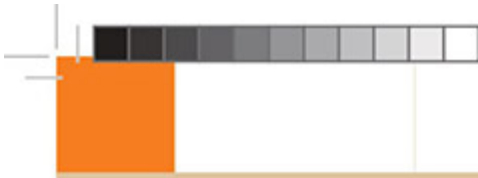
GERMAN I. ANDRADE

PROFESOR. FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN,
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

gandrade@uniandes.edu.co

Y FUNDACIÓN HUMEDALES DE COLOMBIA

www.fundacionhumedales.org



*Si algo caracteriza nuestra Naturaleza, es su indocilidad y su exuberancia,
y si algo nos obliga a una relación respetuosa con ella,
es su doble condición de generosidad y amenaza.*

William Ospina

Introducción

Se dice que las inundaciones que ha sufrido el país “son una venganza de la naturaleza”. Para otros son la prueba de que el cambio climático ya llegó. La evidencia científica no permite probar que las inundaciones del 2010-2011 (“las peores en los últimos 100 años”) sean producto directo del cambio climático. Sin embargo, con base en la ciencia tampoco se puede afirmar que no lo son. Cualquiera sea la forma en que el cambio climático se manifieste, es claro que no estamos adaptados a la variabilidad del clima, y “no sabemos vivir en Colombia” (Baptiste, 2011). Como dijo el profesor Carrizosa (2003), nuestro país es más bello que rico, pero nos resulta hoy frágil y esquivo para el bienestar humano. Preocupa en este sentido si la respuesta a estos eventos catastróficos contribuye a aumentar nuestra vulnerabilidad o nuestra adaptación. Para esta última, se requiere un cambio de visión acerca del territorio. La educación es un reto para las ciencias ambientales.

Del clima, seguiremos sabiendo poco. Del territorio ya se sabe lo suficiente, al menos para aumentar la adaptación ante las llamadas catástrofes naturales. Para ello es necesario un cambio en la conciencia acerca de nuestro territorio

Re-conocer el territorio

Un caso sobresaliente de cambio de conciencia sobre el territorio es el iniciado por la sociedad australiana. El sentimiento inicial de europeos expatriados, que se reflejaba desde la forma obstinada de crear jardines ingleses en el bush hasta las políticas públicas que consideraban el país sub-poblado, era una conciencia mal adaptada al territorio. En la conciencia indo-pacífica emergente se reconocen sus propios ecosistemas y se advierte que desde un punto de vista ecológico el continente ya está superpoblado. El cambio de conciencia tardó dos siglos y dejó un gran pasivo en un continente ecológicamente tensionado.

Los colombianos seguimos sin reconocer las particularidades de nuestro territorio. Todavía se nos enseña que Colombia es inmensamente rica, con enormes potencialidades y pocas restricciones. Desconocemos que Colombia es un país intertropical y lo que esto implica. Una de las causas de la insostenibilidad de esta naciente, y en parte ya envejecida nación¹ es la preponderancia de ideas que

1. Los estudios en la Universidad Javeriana muestran una huella ecológica espacial que ya cubre una parte importante de la superficie del territorio (Etter y Villa, 2006).



no corresponden con nuestro territorio. Más allá de los imaginarios de un país rico, feraz y ubérrimo, hoy sabemos que Colombia es compleja. La simpleza de sus instituciones contrasta con su enorme complejidad ambiental y social (Carrizosa, 2003). Pero detrás de instituciones simples hay ideas simplificadas. La visión del país de la élite urbana “de tierra fría” hace rato hizo crisis. Durante el siglo XIX vio nuestro país como un archipiélago de “pequeñas Europas”² en un mar de incomprendidas “fiebras de tierra caliente”³. Durante todo este siglo, el redescubrimiento de las tierras bajas del país se produjo como parte de la expansión de la sociedad nacional al ser requeridas para la integración como productoras de recursos naturales y sustento de economías extractivas; también, en razón de la repartición del poder político desde los centros y el dominio del territorio y como válvulas de escape para la ubicación de la población marginalizada a la vez que por la creación de espacios para las emergentes ideas contemporáneas de conservación de la naturaleza. Todas estas empresas de alguna manera implicaron la negación de la propia identidad socio-ecológica de un territorio que ya estaba largamente ocupado. El resultado que vemos hoy es una sociedad mal adaptada a su territorio.

El conocimiento que tenemos del territorio permite señalar con claridad algunos componentes de nuestra vulnerabilidad⁴. En otras palabras, habría que decir que los desastres no son naturales sino “desencadenados por la naturaleza” (Wilches-Chaux, 2011), por lo que el proyecto político de la llamada reconstrucción debería ser de recuperación de la capacidad humana de convivir en el territorio. Frente a la emergencia hemos visto respuestas que en lo socio-ecológico no necesariamente van en el sentido de la adaptación.

Es evidente que en el país hay un desajuste de fondo en la institucionalidad. Las jurisdicciones de las Corporaciones Autónomas Regionales seccionan el cauce de los ríos y los humedales, páramos o bosques, y sus decisiones no son armónicas con lo que deciden los municipios –actores principales del ordenamiento territorial- o lo que se estima necesario para manejar cuencas o áreas protegidas. La fragmentación de la gestión pública ambiental, en espacios que son recortes hechos con base en intereses políticos de corto plazo, impide la ejecución de las llamadas políticas ambientales nacionales. La repartición actual de competencias en el territorio genera en la práctica un mosaico muy complejo del que emerge la incompetencia del Estado para dirigir la ocupación y uso del territorio. En las fronteras de lo que no debía ocuparse o transformarse (paramos, bosques, planos de inundación, etc...), el interés privado termina primando y disputándole a la naturaleza una precaria forma de vida o una rentabilidad pasajera. Muchos de los cambios que infringimos en el sistema ecológico son la causa de las recurrentes crisis ambientales. Los humanos hemos abierto “la caja de pandora” de los ecosistemas, y en un planeta humanizado, no controlamos las consecuencias de nuestras acciones.

La recuperación ecológica no es asunto político fácil. En términos de ecología de ecosistemas diríamos que es actuar sobre *variables lentas* cuyos efectos estructurantes se incuban en el largo plazo. Por eso debe ser un cometido de varias generaciones. Tomará décadas recuperar una condición en el ecosistema (cobertura, suelos, etc.) suficiente para la regulación del agua en los “peladeros andinos”, como los llamó Enrique Pérez Arbeláez. Lo sucedido también implica reordenar la ocupación humana y el uso de los planos inundables. La tragedia de 2010 es el fracaso de una “cultura del jarillón”, que pretende siempre arrebatarle tierra al camino de las aguas. Hoy, cuando se revienta un dique, es claro que la única alternativa no debería ser siempre reconstruirlo⁵. Hay que evaluar la opción de liberar los ríos en sus planos de inundación. Si bien es cierto que una parte de la solución pertenece ya a la ingeniería, en muchos casos es un asunto de ingenio e innovación que tienen que ver mucho más con la forma como concebimos y ocupamos estos territorios. El gran dilema es seguir construyendo vulnerabilidades o iniciar la construcción de resiliencia, es decir, la capacidad del sistema social y ecológico de responder a los choques externos (Cuadro 1).

2. “Las nuevas Europas”, es el término que el historiador ambiental Crosby (1986) usa en su obra *El Imperialismo Ecológico* para referirse a la expansión biológica de Europa en el segundo milenio.

3. El historiador ambiental German Palacio (2006) presenta en su obra la dicotomía de la visión del país que persistió hasta bien entrado el siglo XX.

4. Ver el trabajo de Poveda *et al.* (2010) sobre la relación entre los procesos hidrológicos y el cambio de los ecosistemas del país.

5. En efecto, sobre el canal del Dique muchas cosas ya se sabían (ver Ortega, 2005), sin que haya habido aprendizaje en la sociedad.

Cuadro 1

¿CONSTRUIR VULNERABILIDAD O RESILIENCIA? CONTRASTE DE ALGUNAS OPCIONES

Más vulnerabilidad Acciones que aumentan la mala adaptación	Más resiliencia Acciones que mejoran la adaptación
Debilitamiento de la legislación e instituciones de control ambiental (Rudas, 2010).	Reconstrucción de la institucionalidad ambiental y sus relaciones con los sectores y la sociedad (gobernanza ambiental).
Emprendimientos agro-industriales con base en el drenaje de la <i>sabana inundable</i> ⁶ (Arauca, Casanare), que afectan la capacidad de regulación de los grandes ríos.	Reconocer la <i>sabana húmeda</i> ⁶ como parte de la infraestructura verde ⁷ de la Orinoquia, y usarla dentro de su carácter ecológico de humedal.
Construcción generalizada de diques (jarillones) en los ríos del país.	Liberar ríos y manejar cauces, rondas y planos de inundación, en lo posible dentro del rango de naturalidad de su funcionamiento.
Contaminación aguas arriba de planos de inundación.	La priorización de las acciones de descontaminación debe considerar los usos de las aguas abajo y el riesgo ambiental.
Manejo de caudales exclusivamente por su valor económico aguas abajo, como KIN o número de botellas de leche (laguna de Fúquene).	Caudales ecológicos ⁸ como soporte del mantenimiento del funcionamiento de los ecosistemas asociados con estados más deseables.
Represamiento de ríos principales.	Definir estratégicamente las subcuencas hidro-energéticas, y potenciar en ellas la restauración ecológica y social. Considerar el riesgo ambiental de los embalsamientos Mantener la integridad ecológica de algunos sistemas de ríos.
Concentrar esfuerzos exclusivamente en la reforestación de las cuencas.	Priorizar la deforestación evitada y la restauración ecológica, complementada con reforestación.
Desconocer derechos de propiedad y uso de recursos y espacios a la población ribereña en planos inundables y ciénagas del país.	Crear categorías de manejo de área protegida para gestión comunitaria que mejoren la gobernabilidad y el control social de amplias zonas en planos inundables.
Reconstrucción de todos los asentamientos humanos, con base en el secamiento y el (presunto) control de las aguas a través de obras de ingeniería.	(Re) diseño de asentamientos humanos adaptativos en llanuras de inundación, con renacimiento y dignificación de la cultura anfibia.
Exclusión legal de la minería sólo en los páramos.	Considerar el impacto de la minería sobre todos los ecosistemas alto-andinos.
Concentración de la población humana en conurbaciones en las tierras altas de las cordilleras, aumentando la vulnerabilidad física y ambiental de los servicios de los ecosistemas.	Idear una política de población y asentamientos humanos que absorba el crecimiento en ciudades más sostenibles y resilientes ante el cambio ambiental global.

Conocimiento y adaptación

La necesidad de conciliar el crecimiento económico y la adaptación, una vez sucedida la mayor catástrofe ambiental reciente, se ha constituido en una meta urgente de la sociedad. El conocimiento tiene

6. Frecuentemente conocida desde una perspectiva del uso agropecuario como "sabana inundable", la bióloga Anabel Rial la llama más acertadamente "sabana húmeda" (Rial, 2009).

7. También llamada "infraestructura ecológica", corresponde a la red de espacios que soportan los procesos que mantienen la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas (van der Hammen y Andrade, 2003).

un papel importante para la adaptación, en especial porque se espera que el cambio ambiental global acentúe la ocurrencia de eventos extremos. Esto es un reto para las ciencias ambientales ya que no sólo deberán establecerse criterios para el uso sostenible de los recursos, el uso racional de los suelos, o la sostenibilidad del desarrollo; sino también darse elementos para la gestión del riesgo ambiental producto acumulado de la forma de ver y usar el territorio. Es decir, el manejo de la incertidumbre.

La crisis de adaptación humana también tiene una raíz en el desajuste entre el conocimiento y las decisiones. Convencionalmente se considera que el conocimiento y la toma de decisiones responden a un proceso lineal simple: más conocimiento, mejores decisiones. La realidad muchas veces muestra lo contrario. Hoy se recomienda no sólo reforzar los procesos de generación de conocimiento sino articular una interfaz entre ciencia y política que incluya la integración, interpretación y divulgación del conocimiento⁸. Porque en la práctica resulta siendo igualmente importante superar lo que no se conoce en la ciencia, como aquello que desconoce la sociedad. El lento aumento de certeza en la ciencia se debe equilibrar con una rápida disminución de la incertidumbre en las decisiones, en un proceso que integre la generación de conocimiento, el manejo de la información y la integración e interpretación del conocimiento. Es decir, que más que sólo políticas de investigación, se requiere urgentemente una política de gestión del conocimiento, de manera que sea posible el aprendizaje en la sociedad.

El aprendizaje es un elemento crítico de la adaptación, porque los humanos no estamos biológicamente adaptados a ningún nicho ecológico sino bioculturalmente capacitados para crear nuestros propios nichos y adecuarlos a nuestras necesidades. Nuestra larga búsqueda de adecuar el mundo nos está convirtiendo en seres desadaptados. Hoy debemos adecuar nuestras necesidades a los límites ecológicos del planeta, en vez de seguir tratando de adecuarlo a nuestras desbordadas necesidades. La adaptación depende de la capacidad de movilizar la memoria individual y colectiva y transformar decisiones de la sociedad. En este sentido, el aprendizaje adaptativo sería en tres niveles (Figura 1, de Folke *et al.* 2002).

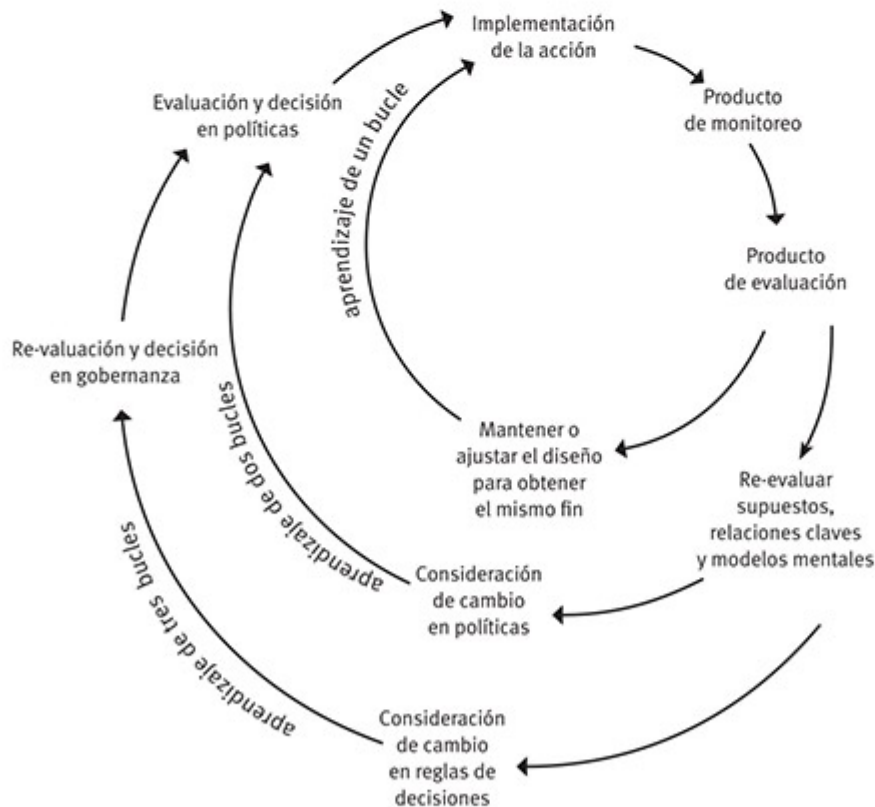



Figura 1.

Niveles de aprendizaje adaptativo de la sociedad.

8. Para Dyson *et al.* (2008) un caudal ambiental o ecológico es "el régimen hídrico que se da en un río, humedal o zona costera para mantener ecosistemas y sus beneficios donde se dan usos del agua que compiten entre sí y donde los caudales se regulan con este fin".



El primer nivel sería el conocimiento convencional que permite, en ciclos relativamente cortos (de los individuos o colectividades vivas), introducir cambios para alcanzar un fin predeterminado. En el caso de la respuesta a las inundaciones, la corrección frente a un mismo objetivo se traduce en reconstrucción de viviendas, diques, etcétera. Esta es la decisión política normal de un dirigente local, o de una autoridad ambiental presionada que responde a la inundación con “más de lo mismo”. El conocimiento relevante en este ámbito puede provenir de la ciencia aplicada o la técnica, más claramente de la ingeniería. Pero este aprendizaje no es suficiente, pues puede contribuir a la mala adaptación. Un segundo bucle de aprendizaje busca un cambio en las decisiones de la sociedad. En este caso, podría ser que los técnicos recomienden reconsiderar la costumbre de amarrar los ríos y habitar los planos inundables, con base de un conocimiento nuevo que resulta muy pertinente. El país habría cambiado la política formal hacia los planos inundables. Esta respuesta política no se ha dado, aunque en las inundaciones que comentamos, cuando se discutió el mandato de las CAR, se insinuó la necesidad de un cambio de conciencia acerca de la forma como se manejan estas partes del territorio. Con todo, parecería que se requiere un tercer nivel de aprendizaje para que la respuesta de la sociedad en su conjunto sea realmente adaptativa. Folke *et al.* (2002) proponen el tercer bucle de aprendizaje que se refiere a la innovación, no ya solamente en el tipo de conocimiento, sino en su forma de producción y en la relación entre el saber y las reglas de juego de las decisiones. En el caso de las inundaciones, la pregunta sería no solamente sobre el tipo de conocimiento sino sobre el proceso mismo de decisión. En el caso de las inundaciones, la respuesta que propone Wilches-Chaux (2011) es que desde el Estado se permita que la sociedad revise la forma de uso de estos espacios, abriendo el paso a las comunidades interesadas en reflexionar y decir sobre la forma de habitar y manejar esa parte del territorio.

El imperativo de la relación conocimiento–adaptación, implica para la ciencia abrirse, desde las aproximaciones únicamente disciplinarias, hacia la transdisciplina. En las ciencias ambientales diríamos que se trata de abrirse al nuevo paradigma de la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos adaptativos (Walter & Salt, 2006). La ciencia ya no se dividiría entre básica y aplicada sino que se reconocería que todo conocimiento emerge en algún contexto de aplicación. La producción de conocimiento se trasladaría así desde el escenario exclusivo de la academia y los centros de investigación hacia el sector público y privado, las redes sociales y los espacios de aprendizajes colectivos. De una ciencia autónoma y cerrada, debería pasarse a una ciencia abierta y reflexiva que rinda cuentas a la sociedad. Esto que algunos llaman ya una “lógica post académica” implica que las preguntas relevantes para la investigación no surjan sólo dentro de la ciencia sino en la interacción entre ésta y el resto de la sociedad. Es lo que Morin llama el “conocimiento pertinente”, que en este caso es el que, a través de los varios ciclos anidados de aprendizaje, efectivamente contribuya a disminuir la vulnerabilidad humana frente a la variabilidad de la naturaleza modificada. Es un conocimiento que debe contribuir a aumentar la resiliencia. Y esto sólo lo hace un colectivo social, porque “la capacidad adaptativa de un sistema socio-ecológico aumenta cuando los asuntos complejos se tratan a través de redes de actores involucrados, libremente interconectados y en diferentes niveles en la sociedad” (Walker y Salt, 2006).

Referencias

Baptiste, B.L.G. (2010), “Aún no sabemos vivir en Colombia”, Entrevista en El Tiempo, Sábado 15 de Enero de 2011.

Carrizosa, J. (2003), “Colombia, de lo imaginario a lo complejo. Reflexiones y notas acerca de ambiente, desarrollo y paz”, Ideas 3, Instituto de estudios ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Colombia, Consejo Nacional de Planeación (2010), *Política ambiental del Presidente Uribe, 2002 – 2010. Niveles de protección y retos futuros*. Bogotá.

Crosby, A. W. (1986), *Ecological Imperialism. The Biological Expansion of Europe, 900 – 1900*, Cambridge University Press.



Dyson, M., Bergkamp, G. & Scanlon, J. (Editors), (2008), *Flow - The essentials of environmental flows*, International Union for Conservation of Nature IUCN, Gland, Switzerland, 134 pp.

Etter, A. & Villa, L.A. 2006. El impacto humano sobre los ecosistemas y regiones colombianas. *Revista Javeriana*, 724, 30-33

Folke, C., S. Carpenter, T. Elmqvist, L. Gunderson, C.S. Holling and B. Walker. (2002), "Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations", *Ambio* 31:437-440.

Ortega, M.A. (2005), "Cartagena y el pan de restauración ambiental del canal del Dique y Barranquilla y las obras de profundización del canal navegable de acceso a la zona portuaria: visión general", en Restrepo - Ángel, J. D. *Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental*, Medellín, Editorial Universidad EAFIT.

Palacio, G. (2006), *Fiebre de tierra caliente. Una historia ambiental de Colombia 1850 - 1930*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, ILSA y Saber y Gestión Ambiental.

Poveda, G., D. M. Alvarez & O. A. Rueda (2010), "Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with the ENSO: a review of climatic processes and their impact n the Earth's most important biodiversity hotspot", Springer, *Climatic Dynamics* OnLineFirst 30 October 2010..

Rial, A. (2009), "Dinámica hidrológica en los llanos inundables", en *Plantas acuáticas de los llanos inundables del Orinoco*, Venezuela. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y Conservación Internacional. Caracas. República Bolivariana de Venezuela.

Van der Hammen, T. & Andrade G. I. (2003), *Estructura ecológica principal de Colombia. Primera Aproximación*, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial e IDEAM. Bogotá.

Walker, B. & D. Salt. (2006), *Resilience Thinking. Sustaining Ecosystems and People in a Changing World*. Washington DC, Island Press.

Wilches-Chaux, G. (2011, enero 16), "La oleada invernal: el clima y el modelo de desarrollo", en *Economía y Sociedad*, [en línea], disponible en: http://www.razonpublica.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1610:la-oleada-invernal-el-clima-y-el-modelo-de-desarrollo&catid=20:economia-y-sociedad&Itemid=29, recuperado: 2011: enero 16 2011.



Astrofísica

El *big bang*: aproximación al universo y a la sociedad¹

SERGIO TORRES ARZAYÚS

PHD EN FÍSICA

INVESTIGADOR

INTERNATIONAL CENTER FOR RELATIVISTIC

ASTROPHYSICS, ROMA, ITALIA

verada@earthlink.net

1. Basado en el libro *El big bang: aproximación al universo y a la sociedad*, Sergio Torres Arzayús, Editorial Siglo del Hombre, Bogotá, 2011 (www.astrove-rada.com/libro/). El libro expone con claridad los argumentos de la cosmología, incluyendo los puntos débiles y ofreciendo una valoración honesta del estado de avance de la cosmología. El autor presenta estos temas en forma de un diálogo —basado en discusiones reales— que tuvo lugar durante cuatro jornadas entre tres amigos, un panadero curioso, un sociólogo y un astrofísico, quienes, al igual que el lector, tienen muchas preguntas sobre el universo y quieren entender lo que los científicos están encontrando en el cosmos.



Hace 400 años Galileo Galilei abrió una ventana al universo que revolucionó la concepción del mundo en que vivimos poniendo así en marcha el desarrollo de la cosmología moderna. Basar los modelos del cosmos en observaciones astronómicas es un aspecto básico de la manera como Galileo se aproxima al universo. Hoy, siguiendo esa directriz, contamos con una teoría científica del origen y evolución del universo – teoría del *big bang* – basada en innumerables observaciones que entrelazan coherentemente diversos dominios de la física que abarcan desde las partículas sub-atómicas hasta los cúmulos de galaxias. Entre los años 1940-1970, período de su gestación, la teoría del *big bang* suscitó notorias peleas entre los físicos y los astrónomos que forcejeaban argumentos a favor (unos pocos) y otros, la gran mayoría, en contra de la teoría. Cabe preguntarse: ¿qué sucedió para que la teoría del *big bang* terminara siendo aceptada por la comunidad científica?

Escudriñando el pasado del universo

El telescopio es como una máquina del tiempo porque las imágenes que nos entrega son construidas con los rayos de luz que llegan a sus lentes después de un largo viaje por el espacio profundo que separa los objetos astronómicos. Cuando observamos el Sol estamos viendo la luz que salió de esa estrella hace ocho minutos. Quiere decir que estamos observando el pasado, lo que fue el Sol hace ocho minutos. Esto sucede porque la luz se propaga a una velocidad finita de 300.000 kilómetros por segundo. Las galaxias lejanas se encuentran a millones de años luz de distancia, lo cual quiere decir que la luz se demora millones de años viajando por el espacio antes de estrellarse contra las placas fotográficas de los astrónomos; en esa fotografía estamos observando lo que las galaxias eran hace millones de años. En resumen, el telescopio capta los objetos astronómicos tal como eran en el pasado lo que nos permite investigar cómo era el universo entonces y eventualmente llegar a saber cómo se originó y evolucionó.

Entre más potente sea un telescopio mayor penetración hacia el pasado del universo se puede lograr. Cabe preguntarse si existe un límite en la profundidad del tiempo a partir del cual no haya ya nada que observar, lo cual sucedería si efectivamente el universo tuvo un comienzo en el tiempo. En contraste, si el universo es eterno, entonces no existiría tal borde en el tiempo. Si hacemos observaciones cada vez más profundas vemos cúmulos y más cúmulos de galaxias hasta un punto en el que tropezamos con una barrera de luz, un fondo de radiación a una distancia de 13.700 millones de años-luz. Ese fondo de radiación fue observado accidentalmente en 1964 por los radio astrónomos Arno Penzias y Robert Wilson, de los Laboratorios Bell en Nueva Jersey, mientras hacían mediciones del ruido emitido por la atmósfera a frecuencias correspondientes a microondas. Ellos se dieron cuenta de que existía una componente residual de la señal de ruido en sus receptores que no dependía de la dirección a la cual apuntaban la antena. Observaciones posteriores pudieron medir las características espectrales de la radiación de fondo y así establecer que esta fue originada como resultado del *big bang* —el evento que dio origen al universo— (Torres 1994).



La teoría del *big bang* dice que el universo tuvo un origen en el tiempo, que el espacio se está expandiendo y que en el pasado el universo era caliente y denso, como el interior del Sol, ambiente en el que se formaron los elementos químicos ligeros y del que surgieron vibraciones acústicas que empujaron la materia hacia agrupaciones que conformaron las estructuras de galaxias hasta ahora observadas por los astrónomos. La teoría es consistente con las observaciones astronómicas. En resumen: la tasa o velocidad de expansión del espacio (parámetro de Hubble, H_0) aumenta con la distancia a la cual se hacen observaciones, 22 kilómetros por segundo por cada millón de año-luz de distancia, lo cual implica una edad del universo de 13.700 millones de años; en el pasado, el universo era más caliente y denso; compuesto en su gran mayoría por los elementos más ligeros de la tabla periódica — un 75% hidrógeno, 25% helio y unas trazas de litio y de deuterio, todo el espacio está impregnado por un fondo de radiación de microondas con energías que siguen la distribución característica de los cuerpos en equilibrio termodinámico (distribución de Planck); ese fondo de microondas tiene, en promedio, la misma temperatura (2.725 grados kelvin), pero también exhibe pequeñas desviaciones de ± 70 millonésimas de grado kelvin por debajo y por arriba del promedio; las galaxias se agrupan en vecindades de tamaños aproximadamente iguales. Este impresionante conjunto de observaciones ha sido reforzado por mediciones independientes realizadas con tecnologías diversas durante un período de 80 años. A pesar de toda esta lista de trofeos a su favor, el *big bang* sin embargo no es una teoría acabada y no está libre de retos observacionales, pero hasta el momento no han surgido observaciones que den pie para rechazarla. Vivimos en una época privilegiada porque por primera vez en la historia de la humanidad hemos podido desarrollar una cosmología que está respaldada por datos y no por especulaciones filosóficas como era la costumbre (Torres 2005).

Soporte empírico del *big bang*

La década 1990-2000 fue de singular importancia para el entendimiento del universo gracias a los nuevos resultados experimentales que surgieron a raíz de ambiciosos proyectos encaminados a descifrar la estructura del universo a gran escala. Durante estos años aprendimos que el espacio se expande aceleradamente, observamos las irregularidades en la radiación de fondo predichas por la teoría, medimos la geometría del espacio y pudimos identificar de qué está hecho el universo y cuáles son las proporciones de los elementos primordiales que lo componen.

Hacia finales de 1988, el equipo *High-Redshift*, liderado por el astrónomo Brian Schmidt del Observatorio de Mount Stromlo (Australia), y el *Supernova Cosmology Project*, liderado por Saul Perlmutter del Lawrence Berkeley Laboratory, anunciaron que tenían evidencia convincente sobre la expansión acelerada del espacio basados en observaciones de supernovas tipo Ia (“uno-a”) lejanas. La idea de estos experimentos fue extender las mediciones que hizo el astrónomo Edwing Hubble en 1929 con las que demostró que las galaxias lejanas se alejan de nosotros a una velocidad que aumenta de acuerdo con la distancia. La velocidad con la que se aleja la galaxia se obtiene midiendo el desplazamiento hacia el rojo de las líneas en su espectro; la distancia se obtiene comparando el brillo aparente de la galaxia (o de una estrella en la galaxia) con el brillo intrínseco. Claro está que es necesario conocer el brillo intrínseco para que funcione el método y aquí es donde las supernovas son instrumentos ideales. Una supernova tipo Ia es 20 veces más brillante que la entera galaxia con sus 200.000 millones de estrellas lo cual permite observarlas a distancias muy lejanas; por otro lado, el brillo intrínseco de una supernova Ia es conocido ya que este resulta de la explosión de una estrella enana blanca cuando adquiere una masa de 1,4 masas solares (límite de Chandrasekhar).

La aparición de estructuras en el universo —galaxias, cúmulos de galaxias y agrupaciones mayores— debe haber dejado una huella en la radiación de fondo que se manifiesta en pequeñas desviaciones (anisotropías) de la temperatura en la radiación de fondo con respecto a su valor promedio. Esto sucede debido a que la radiación de fondo y la materia estaban acopladas. En el pasado, el universo era muy caliente; la materia y la radiación (fotones) interactuaban como bolas de billar chocando con

mucha frecuencia formando un fluido. El fluido fotón-materia, llamado *plasma primordial*, es muy parecido al medio que se encuentra en las capas exteriores del Sol. Además de las partículas elementales mencionadas, en ese medio también operaba la interacción gravitacional entre ellas en forma de pequeñas fluctuaciones inductoras de vibraciones acústicas. Tanto la materia como la radiación participaban por igual de las compresiones aleatorias que impartían las ondas acústicas en el plasma primordial hasta el momento en el que la temperatura bajó lo suficiente (3.000 grados kelvin, 380.000 años después del tiempo cero) como para permitir la formación de átomos neutros. En un intervalo muy corto de tiempo los protones libres encuentran un electrón libre convirtiéndose en hidrógeno neutro. Igual sucede con los núcleos de helio cuando se unen con electrones (por un instante los átomos de helio pueden quedar parcialmente ionizados). En este momento las condiciones del medio cambian radicalmente haciendo que el fluido fotón-materia se disocie. A partir de este momento la materia sigue una historia separada agrupándose en las regiones de sobre-densidad donde más adelante se forman las primeras galaxias. Por otro lado los fotones quedan viajando libremente y hoy los observamos como un fondo de radiación. Los cálculos teóricos indican que al momento del divorcio entre la materia y la radiación las vibraciones acústicas y las fluctuaciones gravitacionales dejan una huella en la radiación de fondo que se manifiesta como pequeñas variaciones en la temperatura que se dan de manera desordenada entre regiones vecinas. El efecto de fluctuaciones del campo gravitacional en los fotones aparece como anisotropías en la radiación de fondo a escalas angulares mayores de un grado, al alcance de la resolución angular del experimento COBE (*Cosmic Background Explorer*) de la NASA. Las anisotropías en la radiación de fondo producidas por las vibraciones acústicas aparecen a escalas angulares menores de un grado y son visibles con los instrumentos del experimento WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) también de la NASA. El satélite COBE, lanzado al espacio en 1989, tenía instrumentos a bordo diseñados para medir el espectro y las anisotropías en la temperatura de la radiación de fondo (Torres 2006). El WMAP, lanzado al espacio en el 2001, extendió las mediciones del COBE a escalas angulares menores de un grado con mayor sensibilidad y con la capacidad de detectar la polarización de la radiación (Torres 2003).

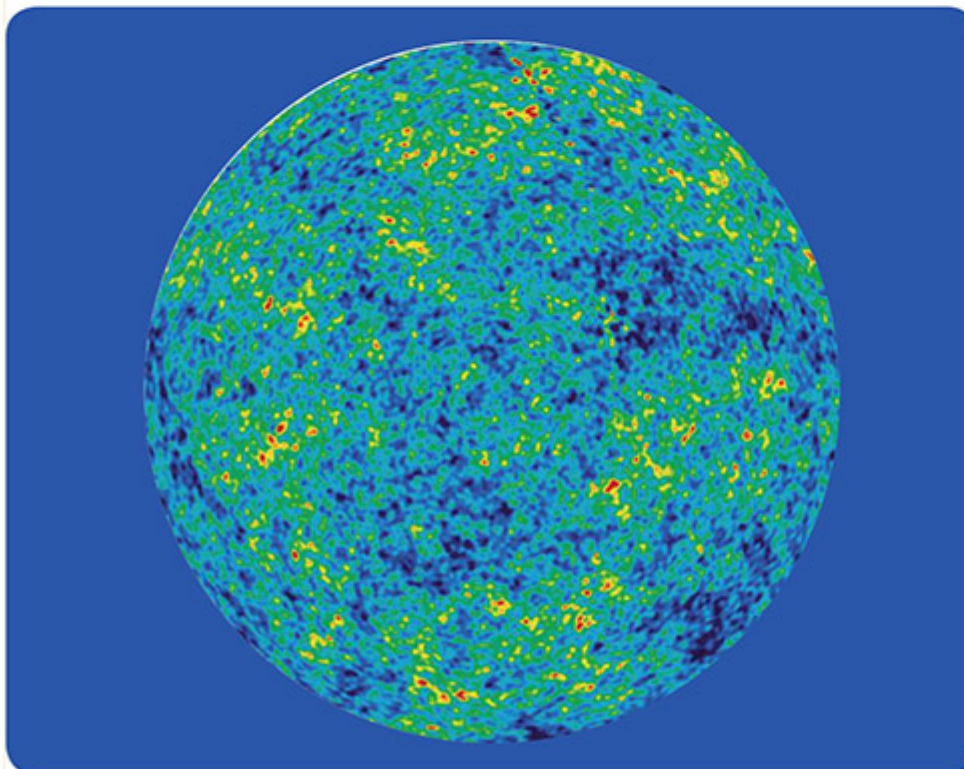


Figura 1.

Mapa del fondo cósmico de radiación observado por WMAP. Los colores representan desviaciones de la temperatura (± 70 millonésimas de grado kelvin) con respecto al valor promedio. Las manchas amarillas son regiones más calientes que el promedio y las manchas azules más frías. El tamaño promedio de las manchas es $0,6^\circ$ (créditos: NASA/WMAP).



El experimento COBE detectó variaciones en la temperatura de la radiación de fondo con amplitud de apenas 30 millonésimas de grado kelvin (escala angular $>10^\circ$). Con esta observación quedó confirmado que en el universo recién nacido existieron las ya mencionadas fluctuaciones del campo gravitacional. El mecanismo que produce las variaciones de temperatura en la radiación cósmica de fondo (llamado efecto Sachs-Wolfe) es el corrimiento de frecuencias que sufren los fotones al viajar por un campo gravitacional. Las anisotropías de la radiación de fondo a escala angular pequeña ($< 1^\circ$) fueron observadas en el año 2000 por el experimento Boomerang, de la Universidad de Roma y del Instituto Tecnológico de California, usando sensores a bordo de un globo atmosférico. Los datos de este experimento revelaron por primera vez la geometría del espacio, definiendo así el futuro dinámico del universo. De acuerdo con la teoría general de la relatividad de Einstein – la cual provee el marco teórico del *big bang* – el espacio posee una geometría que viene determinada por las trayectorias seguidas por rayos de luz. Por ejemplo, cuando la luz se propaga en trayectorias que siguen los postulados de la geometría de Euclides, que aprendimos en el bachillerato, decimos que el espacio es plano. En un espacio plano la suma de los ángulos internos de un triángulo suman 180° . El espacio también puede ser curvo, por ejemplo en presencia de cuerpos con masa. Relacionar la geometría del espacio con la gravedad generada por cuerpos masivos es justamente el *quid* de la relatividad general. En este caso, las trayectorias de la luz se curvan y la suma de los ángulos en un triángulo es mayor de 180° si el espacio es cerrado o menor de 180° si el espacio es abierto. Un ejemplo de un espacio curvo cerrado es la superficie de la Tierra: si uno camina en dirección norte todo el tiempo termina llegando al punto de partida después de darle la vuelta a la Tierra, de ahí que lo llamen un espacio “cerrado”. Es importantísimo saber si la geometría del universo es plana o curva abierta o cerrada ya que este simple dato determina la futura evolución dinámica del universo: si la geometría es curva cerrada entonces la expansión del espacio se frenará y llegará a un máximo después del cual el universo comienza a contraerse; si la geometría es plana o abierta, la expansión continuará sin límite, e inclusive puede sufrir aceleración como lo sugieren las observaciones de las supernovas lejanas. Los resultados del experimento Boomerang indican que la geometría del universo es plana. Esta medición es de una sencillez admirable que recuerda la medición de la curvatura de la Tierra realizada por Eratóstenes hace 2.200 años. A cualquier estudiante de bachillerato se le puede ocurrir que la manera más directa de determinar si el espacio es plano o no es dibujando un triángulo y midiendo muy cuidadosamente la suma de sus ángulos internos; si el resultado es 180° , entonces la geometría es plana. Conceptualmente, ésta fue la operación realizada por el Boomerang: con las mediciones se construye un triángulo en el espacio que tiene como base las regiones calientes y frías en el fondo de radiación y como altura la distancia de 13.700 millones de años-luz que existe entre observador y la superficie del plasma primordial donde se originaron las anisotropías en la radiación de fondo.

Modelo de concordancia

Entre los investigadores que estudian el universo existe el secreto bien protegido de que los objetos astronómicos y sus mecanismos son sistemas simples. En nivel de complejidad, una mosca es muchísimo más compleja que una estrella. Este hecho permite elaborar un modelo del universo relativamente sencillo y económico que explica coherentemente una amplia gama de observaciones sobre el universo. La economía del modelo se manifiesta en el hecho de que sólo se requieren seis parámetros para explicar el universo. Con los datos del WMAP, acumulados durante nueve años consecutivos de operación, se logra dar un salto impresionante en la consolidación del modelo cosmológico debido a su alta precisión, permitiendo percibir diferencias de temperatura de una millonésima de grado kelvin. La cobertura de los datos del WMAP es suficiente para inferir los parámetros del modelo cosmológico con una precisión sin precedentes. La tabla presenta un listado de los seis parámetros junto con los valores derivados de las observaciones del WMAP.



Parámetro	Valor
Fracción de materia atómica	5%
Fracción de materia oscura	22%
Fracción de energía oscura	73%
Amplitud de las vibraciones acústicas	2.43×10^{-9}
Variación de las irregularidades con escala	0.96
Profundidad (opacidad) del plasma	0.088

Tabla 1.

Los parámetros que definen el modelo *big bang* del universo y los valores derivados del proyecto WMAP.

Los últimos tres parámetros describen las condiciones reinantes en el plasma primordial donde se originó la radiación de fondo. Los primeros tres parámetros están indicando la composición del universo: la materia atómica de la cual están hechas las estrellas, los planetas, las plantas y los seres humanos, constituye apenas un 5% de la materia y energía del universo, el resto es materia oscura y energía oscura. La existencia de materia oscura (22% del universo) se ha podido establecer por sus efectos gravitacionales (Torres 1994b): las velocidades excesivas de galaxias en cúmulos indican la presencia de materia oscura que provee la fuerza de gravedad para mantener al cúmulo unido; de manera similar, la velocidad excesiva de rotación de estrellas en galaxias espirales a distancias alejadas del centro de la galaxia necesita de materia oscura como fuente de la fuerza gravitacional centrípeta requerida; el efecto de lente gravitacional que amplifica el brillo de cuásares lejanos es producido por materia oscura en los cúmulos de galaxias que se encuentran en el camino de la luz entre el cuásar y el observador.

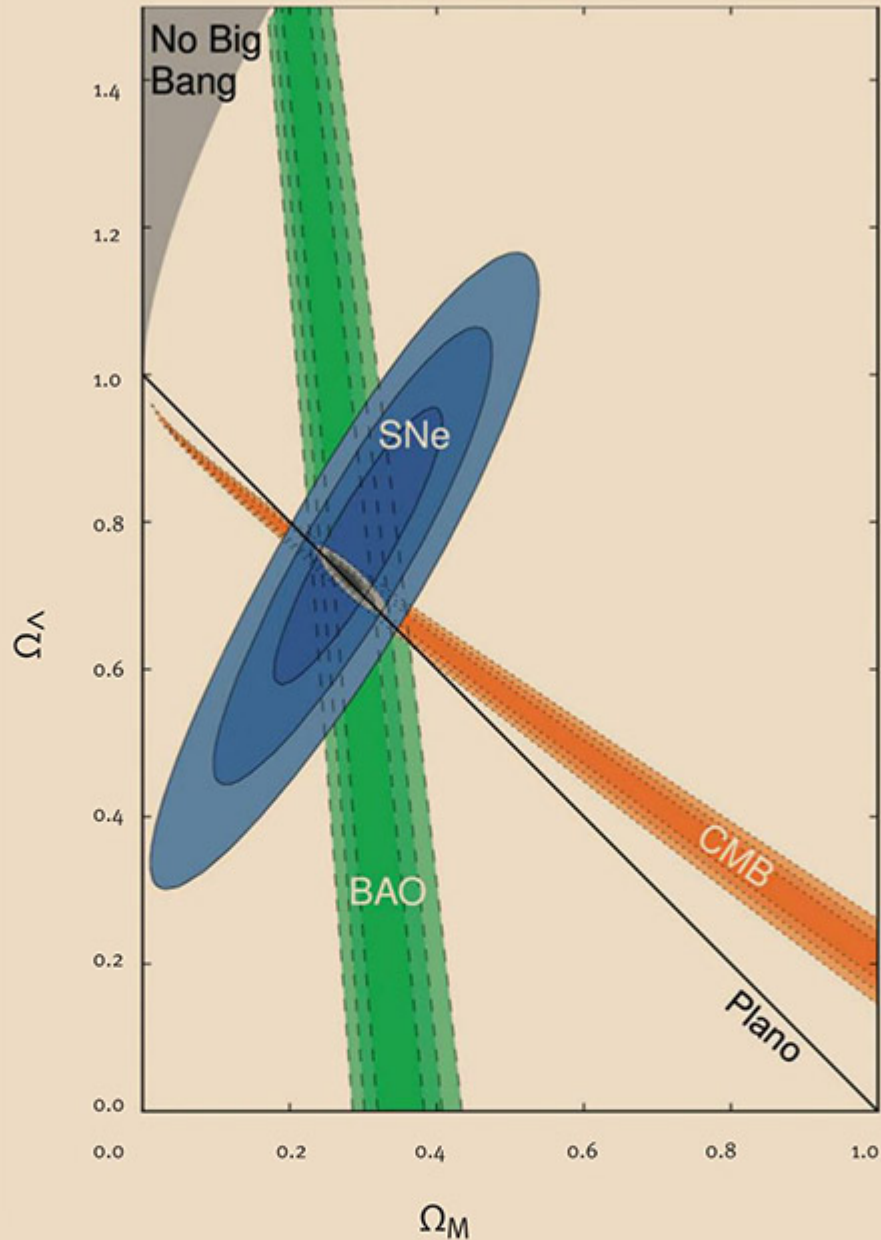
La energía oscura no goza de un sustento empírico tan sólido como el de la materia oscura, sin embargo es una componente del universo que últimamente ha cobrado singular relevancia ya que ésta sería el agente responsable de la aceleración en la expansión del espacio. La naturaleza de la energía oscura se desconoce en este momento, empero, mientras que las observaciones astronómicas avanzan, los teóricos han postulado la existencia de esta extraña forma de energía basados en el hecho de que las ecuaciones de la relatividad general de Einstein permiten introducir un término que actúa como una presión que causa la expansión acelerada del espacio. Este término, llamado "constante cosmológica", es famoso porque fue introducido por el mismo Einstein en su cosmología de 1927 para forzar una solución de sus ecuaciones que fuera consistente con la noción de que el universo fuera estático – lo cual era la base empírica por esos años. Como vemos, la constante cosmológica es un término que se puede usar para controlar el tipo de soluciones dinámicas del sistema y así obtener un universo estático o uno acelerado.

La maravillosa conexión que existe entre el mundo de las partículas nucleares y la estructura del universo a escalas de galaxias y cúmulos de galaxias le da una consistencia robusta al modelo del *big bang*. Un ejemplo de consistencia es que el número de familias de neutrinos (N_ν) derivado de los datos del WMAP ($N_\nu \rightarrow 2.7$) es consistente con las mediciones directas realizadas en experimentos con colisionadores de partículas ($N_\nu=3$). Otro ejemplo es la consistencia entre la escala preferencial de 480 millones de años luz en el tamaño de las agrupaciones de galaxias y el tamaño preferencial de 0,6 grados de las anisotropías en la radiación de fondo. La escala angular de 0,6 grados corresponde a regiones de sobre densidad en el plasma primordial que hoy habrán crecido a 480 millones de años-luz. Como si esto fuera poco, se ha podido verificar que las observaciones astronómicas provenientes de tres tipos de experimentos completamente distintos (observaciones de supernovas, mapeos extensos de galaxias y mediciones de la radiación de fondo) coinciden en los valores de los parámetros cosmológicos (Figura 2).

Figura 2.

Curvas de probabilidad para la combinación de parámetros Ω_Λ (densidad de energía oscura) y Ω_M (densidad de materia) obtenidos independientemente por tres experimentos: observaciones de supernovas lejanas (SNe), mapeos extensos 3D de galaxias (BAO) y mediciones de anisotropías en la radiación de fondo (CMB). Los tres métodos coinciden con valores $\Omega_M = 0.28$ y $\Omega_\Lambda = 0.72$.

(Proyecto Cosmología Supernova, Amanullah, et al., Ap.J., 2010).



El mecanismo inflacionario da inicio al *big bang*

El hecho de que el *big bang* tenga que apelar a entidades desconocidas para explicar el 95% del universo es visto como una seria falla del modelo. No podremos afirmar con certeza que el *big bang* es un modelo válido hasta el día que se confirme la detección experimental directa de la materia y la energía oscura. Además del problemita de las componentes oscuras del universo, el *big bang* sufre de otros problemas fundamentales: uno, la geometría plana del espacio es un estado altamente inestable y poco probable debido a que, como el universo está en expansión, cualquier desviación de planitud en épocas tempranas del universo, por minúscula que sea, será amplificada por la expansión; dos, en el universo joven no hubo tiempo para garantizar que todas las regiones del plasma adquirieran la misma

temperatura. Al rescate viene una extensión del *big bang*, llamada inflación o modelo inflacionario, propuesto en 1979 por el físico de partículas elementales Alan Guth, de la Universidad de Stanford (ahora en el Instituto Tecnológico de Massachusetts), y el físico ruso Alexei Starobinsky, del Instituto Landau de Física Teórica en Moscú. En este mecanismo inflacionario hipotético se produce una breve expansión exponencial súper acelerada al comienzo del *big bang* en la cual una región más pequeña que el núcleo de un átomo se expande, en tan solo una fracción infinitesimal de segundo, a un tamaño inimaginable en el cual nuestro universo observable queda como una burbujita en el océano. Aquí el lector podrá darse cuenta que los conceptos teóricos manejados por los cosmólogos no son intuitivos y que fácilmente escapan al sentido común. El paso del universo por un breve período de inflación hace que éste sea grande y caliente, esté lleno de materia y sea uniforme y de geometría plana, de modo que entregue las condiciones iniciales justo como se requieren para que ocurra el *big bang*. La propuesta inflacionaria, además de resolver los problemas mencionados, también propone un mecanismo que genera las partículas y las vibraciones acústicas. Lo mejor de todo es que las observaciones del COBE y del WMAP confirmaron aspectos importantes del modelo. El proyecto Planck de la Agencia Espacial Europea —una versión avanzada del satélite WMAP— también está en el espacio tomando datos que se espera puedan confirmar la validez del modelo inflacionario. El satélite Planck, lanzado al espacio el 14 de mayo del 2009 desde Guyana Francesa, contiene una plataforma conformada por 52 sensores de radiación electromagnética (bolómetros) enfriados a una temperatura de 0,1 grados kelvin para reducir el ruido electrónico en su interior y diseñados para hacer las mediciones más precisas que se han realizado de las anisotropías y la polarización de la radiación de fondo. El observatorio Planck persigue las pruebas que permitirán confirmar o rechazar la teoría de la inflación: la distribución estadística (gausiana) de las anisotropías de la radiación de fondo y los patrones característicos (“modos B”) en la polarización producidos por las ondas gravitacionales predichas por la inflación.

¿Cómo emerge una teoría científica?

El tema del origen del universo invariablemente despierta el interés del gran público. En innumerables presentaciones sobre el tema recibo con frecuencia la siguiente pregunta: ¿es cierto el *big bang*? La pregunta es lícita pero la respuesta no es fácil y no la podemos ignorar. Es más, dar respuesta a esta pregunta nos da la oportunidad de explorar el proceso mediante el cual surge una teoría científica, lo cual es de vital importancia en la sociedad contemporánea. Es importante que el público entienda el proceso científico porque, en la sociedad contemporánea construida sobre los cimientos de una cosmovisión científica, la democracia no funciona con ciudadanos y líderes que ignoren o no entiendan el significado del conocimiento científico. Para dar respuesta a esta pregunta caprichosa tenemos que examinar cómo surgió la idea del *big bang* y por qué terminó siendo aceptada por la comunidad científica. Por ser una ciencia relativamente reciente y aún en proceso de desarrollo, la cosmología ofrece una oportunidad única para entender el proceso científico.

Al comienzo, la teoría del *big bang* es rechazada por la comunidad científica debido, en gran parte, al rompimiento de la teoría cuando la variable tiempo se hace igual a cero (el origen) lo que impedía realizar cálculos relacionados con las condiciones iniciales del universo. Por otro lado, existía una teoría alternativa mucho más atractiva, el modelo estacionario creado por Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle, el cual era libre de esas indeseables singularidades matemáticas. Mientras que en la Unión

...Mientras que en la Unión Soviética y en China la teoría del *big bang* era vetada por considerarse contraria a los principios del materialismo dialéctico (el *big bang* carecía de un mecanismo que lo pusiera en marcha), los físicos de occidente la miraban con sospecha por la incómoda asociación con la idea de un comienzo del universo en el tiempo que abría las puertas para que los ideólogos contrabandearan la noción de un creador (la idea original del *big bang* fue propuesta por un teólogo, el jesuita George Lemaitre)...

Soviética y en China la teoría del *big bang* era vetada por considerarse contraria a los principios del materialismo dialéctico (el *big bang* carecía de un mecanismo que lo pusiera en marcha), los físicos de occidente la miraban con sospecha por la incómoda asociación con la idea de un comienzo del universo en el tiempo que abría las puertas para que los ideólogos contrabandearan la noción de un creador (la idea original del *big bang* fue propuesta por un teólogo, el jesuita George Lemaitre). A Einstein, por ejemplo, la idea le pareció abominable cuando Lemaitre se la presentó. Bondi, Gold y Hoyle se jactaban de haber creado una teoría que era falsable (en el sentido propuesto por el filósofo Karl Popper) y señalaron que el *big bang* no era una teoría buena porque no era empíricamente refutable puesto que cualquier observación del pasado del universo que no se ajustara al modelo se podría atribuir a efectos de “evolución galáctica”. Hoyle declaró que el *big bang* “es un proceso irracional que no se puede describir en términos científicos” (Hoyle 1950).

No existía interés por el *big bang* de lo contrario se esperaría que los cosmólogos hubieran perseguido agresivamente la detección de la radiación cósmica de fondo predicha en 1948 por Ralph Alpher y Robert Herman (trabajando con el físico nuclear ruso George Gamow). La existencia de una radiación

de fondo con características específicas constituye una predicción atrevida que reúne todos los atributos recomendados por Popper. Desde el momento en que se hizo la predicción era clarísimo para los teóricos que detectar esa radiación significaría el *requiescat in pace* inmediato para el modelo de Hoyle y al mismo tiempo un soporte significativo al *big bang*, pero los astrónomos no se interesaron por hacer la medición, a pesar de que existía la tecnología para detectarla. Alpher y Herman se retiraron de la cosmología y cuando el descubrimiento finalmente se realizó, 30 años más tarde, Penzias y Wilson no estaban empeñados en probar el *big bang*. Este experimento no fue planeado dentro del marco de una teoría, de hecho ¡la observación ocurrió accidentalmente! Igual se puede decir del descubrimiento de la expansión: Hubble era un astrónomo que se preocupaba por la precisión de sus observaciones más que por su interpretación. En sus publicaciones, la interpretación de las observaciones

ocupó un lugar marginal. Hubble no estaba enterado del *big bang* cuando descubrió la expansión y la única mención que aparece en su artículo con referencia a posibles interpretaciones teóricas es la alusión que hizo al “efecto de-Sitter”, que era un fenómeno fuera del *big bang*. Los estudios espectroscópicos realizados durante más de tres décadas antes de 1925 proveyeron el tercer pilar empírico del *big bang* — las abundancias relativas de los elementos ligeros en el universo —. Sin embargo, las observaciones astronómicas subyacentes fueron realizadas en total aislamiento de los desarrollos teóricos de los cosmólogos. Queda claro que, en el caso de la cosmología moderna, los datos que terminaron sustentando el modelo aceptado por la comunidad científica surgieran fuera del dominio de un paradigma celador.

La revisión del contexto social en el que surgió la cosmología moderna pone en evidencia que el *big bang* y conceptos soporte como materia oscura son el producto de una empresa humana. Egos inflados, rivalidades académicas, tendencias ideológicas, personalidades fuertes, expectativas del grupo, son factores sociales —todos ellos manifestados en la historia detrás del *big bang*— que pueden influenciar el desarrollo de una teoría. Lo cierto del caso es que el *big bang* se impuso a fuerza de la evidencia empírica a pesar de las preferencias de los practicantes, en contra de las ideas preponderantes en el medio académico y a pesar de los intentos de ideologías y de algunos influyentes teóricos (como Hoyle) por rechazarla. Mientras que el modelo del *big bang* con su escandalosa singularidad espantó a los cosmólogos, la comunidad científica quería una teoría con fundamentos matemáticos

...¿Por qué hoy no se enseña en clase de ciencia las teorías del calórico, el flogisto, el éter luminífero, los epiciclos tolemaicos, los “rayos-n” y tantos otros espejismos, todos ellos, a su manera, producto del proceso científico? La respuesta es que esas teorías fueron insuficientes para explicar datos nuevos, o porque otros científicos no pudieron reproducir los experimentos que les daban sustento...



sólidos que respetara las simetrías fundamentales. Gamow, Alpher y Herman, arquitectos del *big bang*, se lamentaron de haber sido víctimas del rechazo y la apatía por parte de los colegas físicos que no consideraban a la cosmología como un campo legítimo de investigación, y los astrónomos que no consideraban a los físicos nucleares como “miembros del club” (Alpher 1988). La teoría del *big bang* se constituyó en el modelo estándar de la cosmología simplemente porque explica las observaciones astronómicas, hace predicciones específicas que han sido comprobadas, y porque hasta el momento no han surgido datos que contradigan la teoría de manera contundente. La teoría de Hoyle fue rechazada porque las observaciones astronómicas la contradecían. Igual ha sucedido con innumerables ideas de los teóricos.

¿Por qué hoy no se enseña en clase de ciencia las teorías del calórico, el flogisto, el éter luminífero, los epiciclos tolemaicos, los “rayos-n” y tantos otros espejismos, todos ellos, a su manera, producto del proceso científico? La respuesta es que esas teorías fueron insuficientes para explicar datos nuevos, o porque otros científicos no pudieron reproducir los experimentos que les daban sustento. La ciencia incorpora de manera estructural un mecanismo agresivo de identificación y corrección de errores, lo cual genera la tendencia a producir conocimiento del mundo basado en realidades empíricas robustas, estables y confiables. Ese mecanismo auto-censurador se manifiesta en la pasión con la que los científicos se entregan despiadadamente a encontrar errores en las teorías de sus colegas; con el tiempo, ese mecanismo se encarga de desechar teorías que no se corresponden con las observaciones. Aquí está la razón por la cual la aproximación científica goza de ventajas epistemológicas. ¿Cuándo se ha visto a un astrólogo practicante empeñado en destruir los fundamentos conceptuales de su práctica? En contraste, como bien lo expresa Sábato, “al fin y al cabo, los primeros que en el siglo XX comenzaron a dudar de la ciencia fueron los matemáticos y los físicos, de modo que, cuando todo el mundo empezaba a tener ciega fe en el conocimiento científico, sus más avanzados pioneros empezaban a dudar de él” (Sábato, 1983). Esta manera de aproximarse a la naturaleza promueve una actitud de honestidad y respeto hacia los datos empíricos del mundo externo, lo cual es un mensaje pertinente a los ciudadanos de la sociedad contemporánea que en algunos casos exhiben la peligrosa tendencia a despreciar la evidencia científica cuando ésta no se acomoda a su cosmovisión. Consideren lo que está ocurriendo con el calentamiento global: los estudios muestran que la gente cree en el calentamiento global y en la conexión con causas humanas, no por la evidencia científica sino por el grado en que el concepto cuadra con el ideario y los valores de su grupo (Kahan 2010).

Mapas del universo

La cosmología del *big bang* no es una teoría completa, así como la mecánica clásica, con la que construimos casas, puentes y aviones, tampoco es una teoría completa. La tarea del cosmólogo es la de elaborar un mapa del universo que nos explique de qué está hecho, qué objetos lo conforman y cómo se originó. Un modelo del universo es una representación que organiza, de manera coherente y racional, las observaciones astronómicas. Sabemos que cualquier teoría tiene un carácter aproximativo, dinámico y provisional que en todo momento debe ser contrastada con los datos nuevos y más precisos que el experimentador logra negociar con la naturaleza. La tarea del experimentador es la de seducir a la naturaleza con el objetivo de extraer de ella la información necesaria para dibujarla. Gota a gota los secretos más recónditos del cosmos se revelan en las placas fotográficas, espectros y antenas de radio de los astrónomos. Lentamente emerge suficiente información para elaborar un modelo confiable del universo, o por lo menos, de una parte del universo. En el caso de mapas geográficos nos podemos equipar de la más sofisticada tecnología y emprender expediciones recorriendo las playas, los ríos y los bosques fronterizos, cuidando de no dejar pasar cualquier arruga del terreno y así verificar si el mapa reproduce fielmente nuestras observaciones. Conceptualmente podemos así llegar al mapa perfecto sugerido por Borges en uno de sus cuentos, en el cual los cartógrafos del imperio levantaron un mapa tan preciso que tenía el tamaño del imperio y coincidía puntualmente con él (Borges 1983). A diferencia

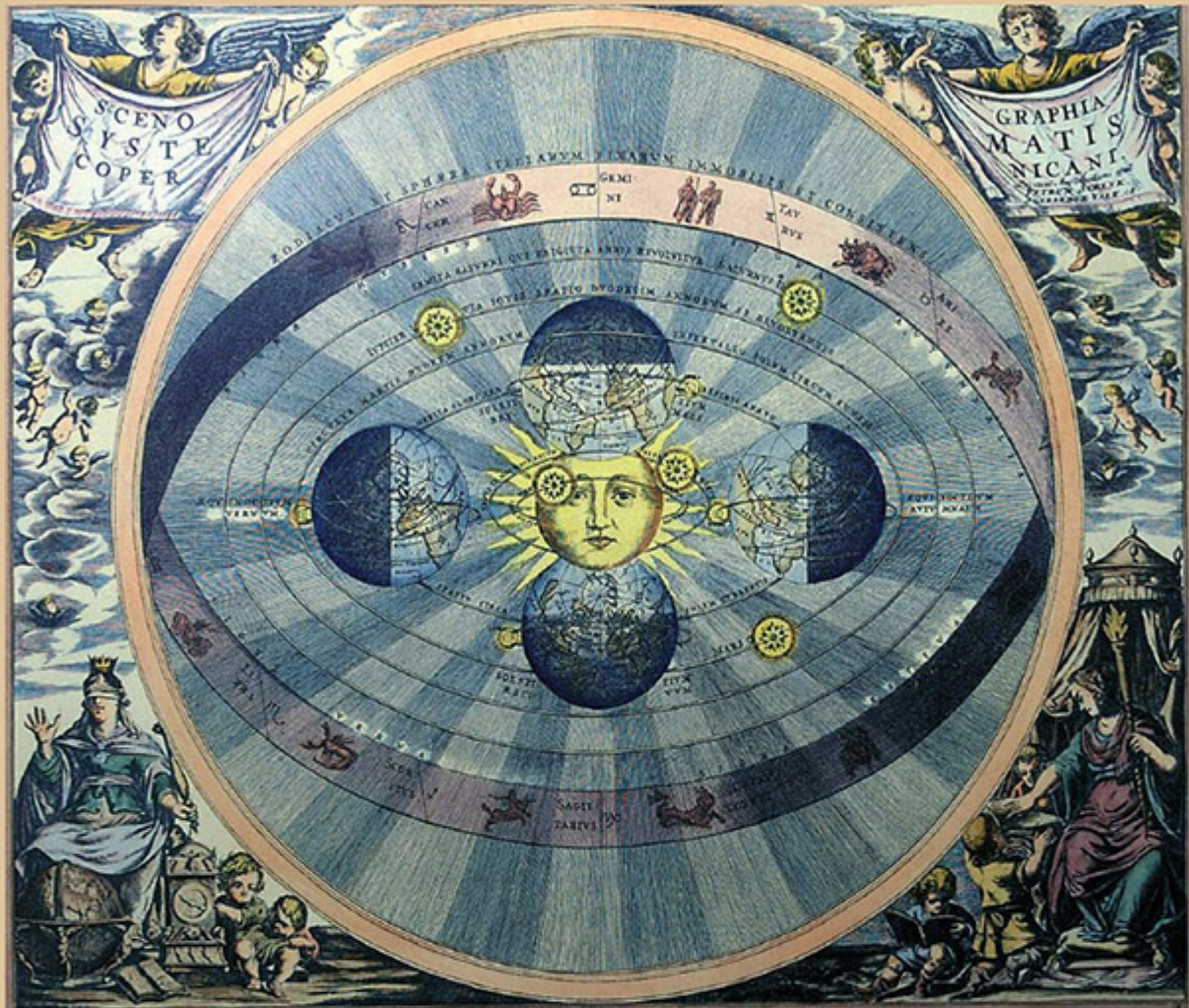
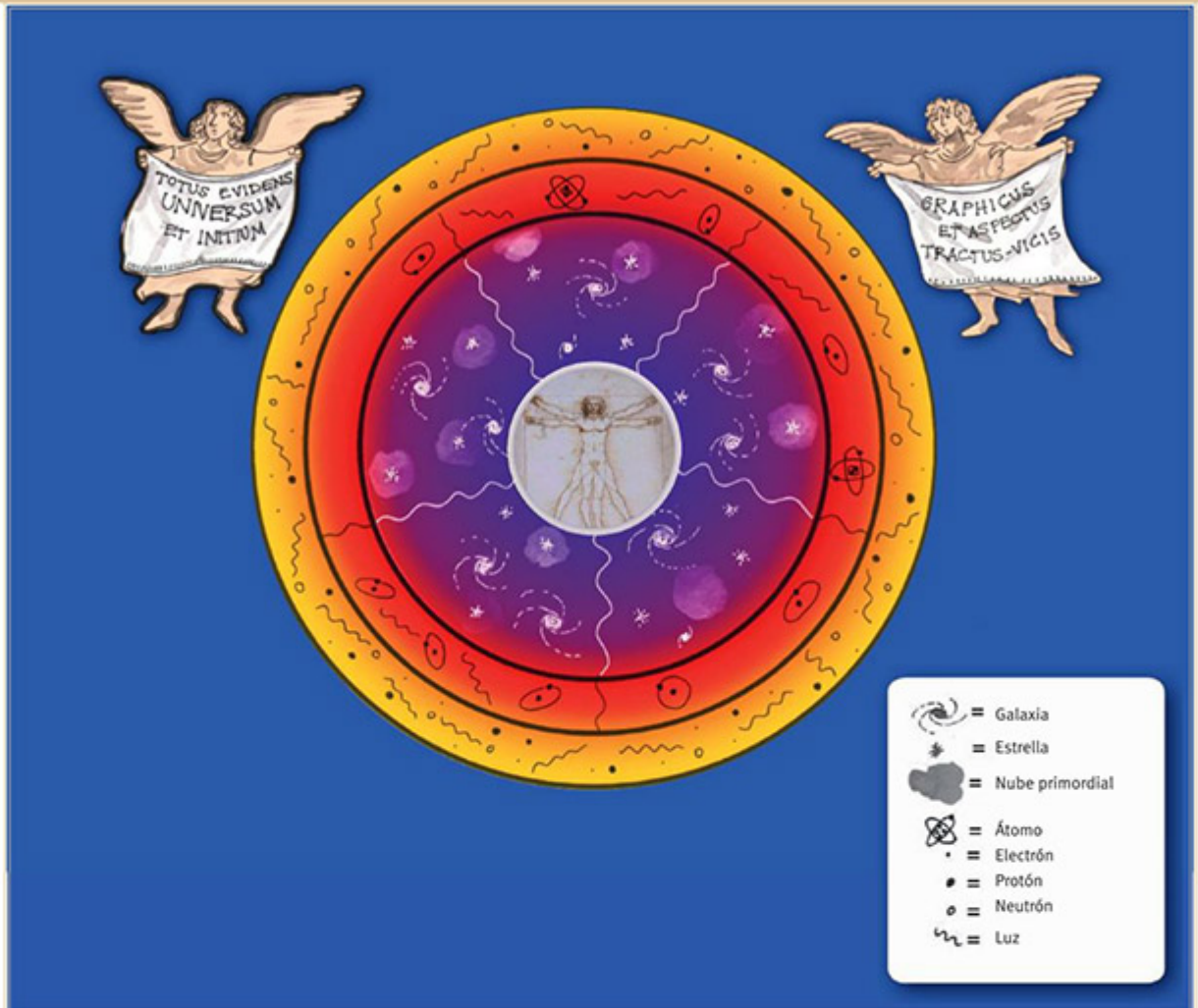


Figura 3.
Mapa de Andreas Cellarius (1660) ilustrando el modelo del mundo de acuerdo a Copérnico.

de los mapas geográficos, con los modelos del universo no podemos aspirar a constatar que el modelo llegue a coincidir con la realidad. Si un investigador declara que su modelo es real y verdadero ¿cómo sabemos que la afirmación es cierta? Si efectivamente podemos confirmar que el modelo coincide con la realidad quiere decir que ya conocíamos la realidad, entonces ¿para qué un modelo? En este sentido un modelo nunca es final, siempre hay lugar para refinarlo. El modelo podría coincidir con la precisión máxima alcanzable en una época dada, y no coincidir ulteriormente; la coincidencia no significa que se conoce “la realidad”.

Las teorías son resultado de un proceso de adaptación en el que las teorías nuevas tienen que competir con otras y en última instancia el criterio de sobrevivencia reside en la capacidad de la teoría en explicar las observaciones y estar de acuerdo con los datos. El físico Murray Gell-Mann – creador de la teoría de los quarks – describe el proceso científico como un proceso complejo adaptativo similar a como los organismos vivos y sus funciones compiten por sobrevivencia (Gell-Mann 1995). Stephen Hawking y Leonard Mlodinow explican la evolución de las teorías físicas hacia modelos cada vez más fieles a la realidad con el concepto de *realismo modelado* (Hawking 2010). El concepto se basa en la idea de que el cerebro interpreta los datos sensoriales elaborando un modelo del mundo. Los modelos del mundo que explican los datos con mayor precisión pueden considerarse como la realidad, sin embargo, puede darse el caso de que modelos diferentes sean igualmente exitosos en explicar los datos. En este caso no se puede decir que un modelo es más verdadero que el otro.



Es importante reconocer que las teorías físicas tienen un dominio de validez que nos permite diferenciar las partes del modelo que se han contrastado con datos empíricos de aquellas otras partes del modelo sujetas a la especulación. En ese sentido, la validez de un modelo depende de su aplicación. Si usamos la teoría dentro de su dominio de validez obtendremos predicciones y resultados satisfactorios. La Tierra no es plana, pero para un agrimensor un modelo de Tierra plana funciona perfectamente bien. La Tierra no es una esfera, pero el modelo esférico funciona bien para cálculos de su órbita en torno al Sol. Sin embargo, el cálculo de órbitas de satélites artificiales requiere un modelo más preciso de la Tierra donde se tiene en cuenta la forma elipsoidal del planeta. La mecánica clásica newtoniana no funciona para velocidades cercanas a la velocidad de la luz, pero es perfectamente válida para construir edificios y mandar satélites artificiales en órbita. Como vemos, la validez, utilidad y precisión de una teoría no se puede destilar en una afirmación categórica que diga que la teoría es falsa o verdadera. Como es de esperarse, el conocimiento que hemos adquirido sobre el universo, formulado en el modelo estándar de la cosmología, será aumentado a medida que surjan nuevas observaciones. No hay duda que el modelo seguramente sufrirá ajustes. Lo que importa es que hoy contamos con un modelo del universo basado en datos experimentales, no en especulación filosófica, profecías, influencias sobrenaturales, edictos de oráculos, inspiraciones de chamanes o verdad revelada.

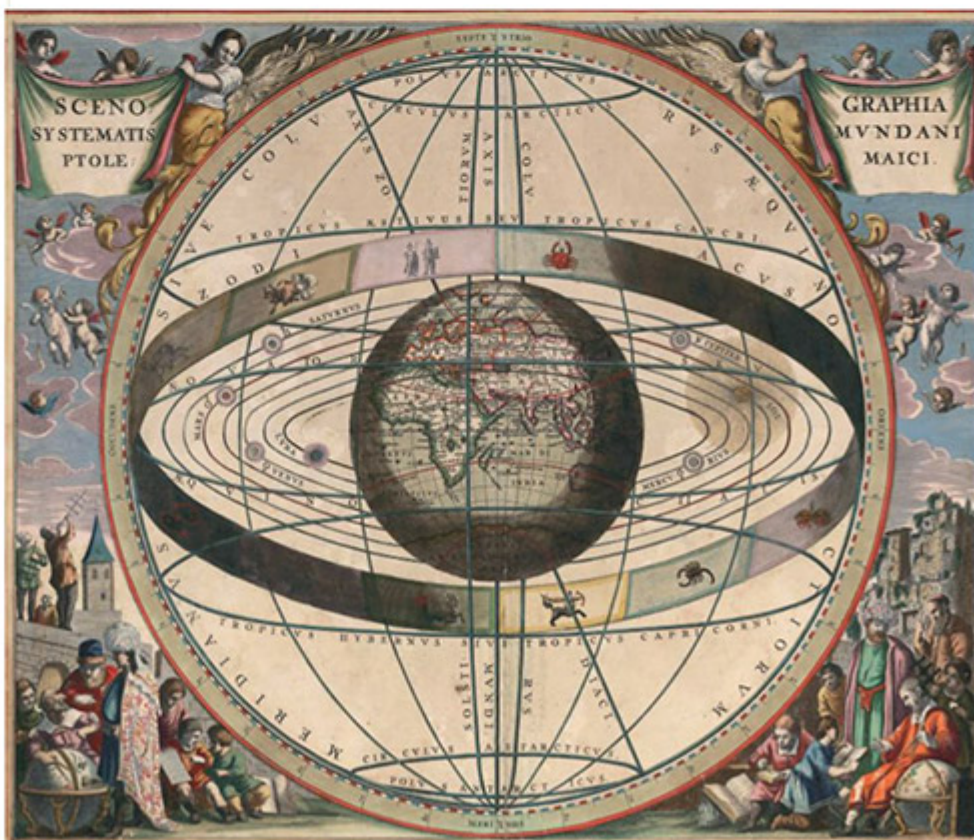
Figura 4.

Mapa moderno del universo. El universo visible para el ser humano es una esfera limitada por la distancia que la luz viaja desde el comienzo del tiempo. La luz proveniente de las regiones más profundas nos informa sobre las condiciones existentes justo después del *big bang* cuando aún no se habían formado estrellas, todo era una sopa de partículas elementales. Lo más sorprendente es que ¡el ser humano está localizado en el mero centro de ese universo visible! (Ilustración: Claudia María Gutiérrez).

Referencias

- Alpher, R.A., Herman R., (1988), "Reflections on early work on big bang cosmology", en *Physics Today*, August 1988: 24-34.
- Borges, J.L. (1983), "Del rigor en la ciencia", en *Narraciones* ed. M. R. Barnatán, Cátedra: Madrid, p. 129.
- Gell-Mann, M. (1995), *The quark and the jaguar: Adventures in the simple and the complex*, Henry Holt and Company: New York.
- Hawking, S., Mlodinow, L. (2010), *The grand design*, Bantam Books: New York.
- Hoyle, F. (1950), *The nature of the universe*, New York: Harper, p. 113.
- Kahan, D. (2010), "Fixing the communications failure", en *Nature*, 463: 296-297.
- Sábato, E. (1983), *Hombres y engranajes*, Alianza Editorial: Madrid, p. 42
- Torres, S. (1994), "El origen del universo", en *Innovación y Ciencia*, 6(2): 44-49.
- Torres, S. (1994b), "La materia oscura del universo", en *Innovación y Ciencia*, 3(3): 40-46.
- Torres, S. (2003), "Proyecto WMAP de la NASA confirma el Big Bang", en *Innovación y Ciencia*, 11(1): 42-48.
- Torres, S. (2005), "El cosmos ayer y hoy", en *Innovación y Ciencia*, 12(4): 22-29.
- Torres, S. (2006), "El Nobel de física, Colombia y el universo", en *Innovación y Ciencia*, 13(4): 20-27.

Mayor información sobre los temas tratados en este artículo se pueden encontrar en la página: www.astroverada.com y en el portal del libro *El big bang: aproximación al universo y a la sociedad*: www.astroverada.com/libro/



Fisicoquímica

El incontrolable desorden

AURORA ESTHER MOLINA BACCA

ESTUDIANTE DE NOVENO SEMESTRE DE
INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DE COLOMBIA, BOGOTÁ

aemolinab@unal.edu.co



D

urante este escrito se dará prelación al enigma de la vida que está estrechamente relacionado con los conceptos de *equilibrio* y *entropía*, términos que a simple vista no parecen tener más correspondencia que la contradicción que para nosotros representan.

A los seres humanos, desde el inicio de los tiempos, les ha preocupado *envejecer*, por lo que han dedicado grandes esfuerzos a tratar de descubrir el elixir capaz de detener ese proceso que realmente jamás se interrumpe. Se llegó a pensar en algún momento de la historia que los objetos inertes, carentes de esa esencia a la que llamamos vida, eran los únicos cuerpos en los que no se registraba el paso del tiempo (figura 1) y, al descubrirse lo contrario, se propuso que la *energía* era el ente unitario que no se hacía viejo, descubriéndose tiempo después que, como todo y todos, también envejece al logara registrar su proceso de envejecimiento

mediante el análisis del fenómeno de la *degradación*, el cual implica que la energía pasa de una energía de mayor calidad a una menor. Para aclarar el concepto de "calidad" de la energía, se dice que una forma de energía se transforma espontáneamente en otra y ésta a su vez en otra, de manera tal, que cada transformación es energía cada vez menos disponible para convertirse en trabajo. La forma de energía cuyo potencial para volverse trabajo es mayor es energía de mayor calidad que aquella que está menos disponible para el fin mencionado.

El trabajo es una forma de energía noble debido a que involucra *un movimiento organizado* de las moléculas que conforman un sistema. La energía térmica, por el contrario, es una energía de muy poca calidad porque, involucra *movimiento aleatorio* de las moléculas, es decir, que a medida que la energía se degrada el movimiento de las moléculas vinculado es cada vez más desorganizado, por lo que se dice que su potencial para realizar trabajo va disminuyendo con cada transformación.

Es importante resaltar que en este proceso de *transformación* se cumple un principio para el cual no existe excepción: *la conservación de la energía*, pues, aunque la energía final sea de menor calidad, su cantidad no variará.

También es necesario decir, en este punto, que las transformaciones secuenciales de energía conllevan, de forma intrínseca, la generación de *entropía*, propiedad entendida inicialmente como una forma de cuantificar el número de limitaciones que existen para desarrollar cualquier proceso, esto debido a que en cada transformación energética hay restricciones y a que además, el movimiento de las moléculas involucradas se va haciendo cada vez menos organizado.

En esta transformación, es importante destacar el siguiente hecho: la *energía noble, o de mejor calidad*, se transforma secuencialmente en energía de menor calidad hasta energía térmica, la cual también debe degradarse, proceso particular que da origen a uno de los principios bajo los cuales está constituida la Termodinámica, ya que su degradación se evidencia cuando dos cuerpos de diferente temperatura se ponen en contacto y el cuerpo más caliente cede parte de su energía térmica al más frío.



© Susana Carrié



Figura 1.

Envejecimiento de cuerpos inertes.

Es necesario mencionar que los procesos de degradación son irreversibles, es decir, no es posible transformar la energía térmica en energía noble espontáneamente, ni sustraer energía térmica de un cuerpo frío para cederla a uno de mayor temperatura o, al menos, no es posible hacerlo utilizando la misma cantidad de energía que se usó en el "camino de ida"; además, para este fin, debe partirse de otra forma de energía noble que se degrade en energía térmica, lo que en conjunto arroja la siguiente premisa, conocida como *segunda ley de la termodinámica*: "el calor no puede ser transformado espontáneamente en trabajo, sin usar energía adicional".

Sabiendo que la energía mecánica (energía noble) tiende a transformarse espontáneamente en energía calórica, se llega a pensar que en algún momento la energía de movimiento del planeta se degradará en energía térmica, la que, a su vez, cederá parte de sí misma al espacio, más frío, es decir, la energía mecánica sufre una primera degradación transformándose en calor, el cual se degrada al cambiar de posición pasando a un cuerpo más frío que el planeta, lo que lentamente privaría al mundo que conocemos de movimiento y calor; pero no es así, debido a que a la Tierra se le introduce energía constantemente, pues existe un motor que le da continuidad a la vida, *la energía del Sol* que, por supuesto, tampoco escapa al proceso de degradación. Continuamente, esta energía es tomada por las plantas, y junto con la energía proveniente del metabolismo, es transformada en energía química, es decir, las células de las plantas almacenan la energía en ciertas moléculas como el Adenosín Trifosfato (ATP, nucleótido fundamental en la obtención y almacenamiento de energía celular); con lo que poseen energía para realizar el trabajo químico; posteriormente, los animales consumen plantas, transformando la energía química de éstas que se absorbió durante el proceso de digestión, en energía de movimiento y en energía térmica, las que se transfieren al ambiente y a los animales carnívoros que se comen a los herbívoros, así, finalmente, parte de la energía de movimiento de los animales carnívoros se degrada en energía térmica, que también es arrojada al ambiente, y de allí al frío espacio.

Es importante decir que las especies con superior masa corporal y área superficial requieren más energía, para mantener su temperatura. Esta energía, luego de sufrir varias transformaciones, también es arrojada al ambiente sin afectar al organismo; proceso natural relacionado con los fenómenos que dieron origen a la Segunda Ley de la Termodinámica.

Dado que la energía proveniente del metabolismo se puede expresar cómodamente, por unidad de masa, se usa esta notación para facilitar que desde el punto de vista termodinámico se pueda hablar de *vida media*, y de la *Teoría de la tasa de vida*, siendo éste un modelo de consumo de energía, que sugiere que la vida media de un ser vivo es directamente proporcional a su masa corporal, elevada a una potencia de $1/3$ ((Kalyan, A., y Silva, C., 1998), siempre que el metabolismo específico durante la vida media o el gasto de energía específica (kJ/kg), se mantengan relativamente constantes. Es importante aclarar que el metabolismo específico se entiende como la cantidad de energía usada en la digestión de nutrientes por unidad de masa corporal, durante la existencia.

La vida, en general, presenta procesos irreversibles que irremediamente terminan con la generación de entropía debido, a que los procesos metabólicos finalizan con la transformación de la energía, en otras palabras, estos fenómenos son altamente irreversibles, con lo que la generación de la entropía se da espontáneamente, sin embargo, esta entropía generada no puede acumularse dentro de los organismos vivos, entonces se expulsa de éstos a través de la salida de masa, con lo que se mantiene un orden dentro del ser vivo compensado por el desorden que se genera fuera de él en el ambiente, y así, el ser viviente no sufre daños en sus sistemas.

La eliminación de esta entropía requiere trabajo, que proviene de la transformación de la energía química (uso del ATP) absorbida de los alimentos consumidos, lo que genera gradientes de potencial químico, los cuales se entienden como las diferencias entre los incrementos en la energía interna de una mezcla homogénea o de un cuerpo de manera tal que ni el volumen ni la entropía de esta solución se hayan modificado por estos cambios energéticos. Los gradientes entre los potenciales químicos al llegar al final de los años de vida de cualquier ser, irán disminuyendo, y cuando ya no hayan más, se alcanzará inevitablemente el equilibrio termodinámico: la muerte.

Se debe decir que se puede mantener el orden dentro de un sistema, si se acepta ocasionar desorden fuera de él, es decir, la entropía se genera y sale del cuerpo; esto ha sido motivo suficiente para que se sugiera la siguiente ecuación, que en términos generales trata de cuantificar la cantidad de entropía que se puede generar durante la vida media de una especie:

$$\sigma_m(t) = \int_0^t \dot{\sigma}_m(t) dt$$

Ecuación 1.

donde σ_m es la entropía generada, t es el tiempo de vida y $\dot{\sigma}_m$ es la tasa de generación de entropía. Esta relación ha llevado a la realización de innumerables estudios que, a través de la investigación del metabolismo y los niveles de actividad física del hombre, entre otros puntos, han arrojado los siguientes resultados: la entropía generada por kilogramo de masa corporal durante la vida media de un ser humano promedio, tiene un valor aproximado de 11.404 kJ/kg masa corporal-K, con una tasa de generación de entropía tres veces menor en la gente mayor que en los niños. Se debe resaltar que la entropía generada, junto con la teoría de la tasa de vida, predicen una vida media de 73.78 (1) años y de 81.61 años para hombres y mujeres norteamericanos, respectivamente, valores muy cercanos a los obtenidos estadísticamente (74.63 y 80.36 años)(Kalyan, A., y Silva, C., 1998: 100-123). Vale la pena mencionar que el modelo representado en la ecuación 1 considera la relación existente entre edad, estatura y masa corporal, así como los niveles de actividad física realizada, los constituyentes en los nutrientes ingeridos, y la eficiencia del metabolismo, la cual se puede ver afectada por distintas enfermedades y por la calidad de vida del individuo, entre otros factores; esta información fue proporcionada por el Consejo de Alimentación y Nutrición, y por el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de Estados Unidos, relacionando para cada sexo, la edad contra el consumo de energía, con lo cual se estimó la vida media promedio tanto para hombres como para mujeres en este país.

Entrando en detalle respecto a la forma de estimar la eficiencia del metabolismo, se debe calcular la velocidad de éste mediante la aplicación de varios modelos alométricos, es decir, modelos que consideran el comportamiento no simétrico que sufren las funciones de órganos y sistemas:

La eficiencia metabólica se halla a través de la velocidad de consumo de oxígeno molecular como cantidad de oxígeno/tiempo, o como energía usada/tiempo/unidad masa corporal (velocidad específica del metabolismo), puesto que el metabolismo consiste en la oxidación de glucosa, proteínas y grasas de los nutrientes que entran al cuerpo, para lo que se requiere oxígeno y energía.

Los modelos más usados son:

Modelo general (1):

$$\left(\frac{mL O_2}{h}\right) = a \times [masa\ corporal(g)]^{0.68}$$

Ecuación 2.

Con a entre 4 y 4.2.

Modelo de Hofman (1):

$$\left(\frac{mL O_2}{min}\right) = 0.064 \times [masa\ corporal(g)]^{0.734}$$

Ecuación 3.

Modelo de Schmith-Nielsen (1):

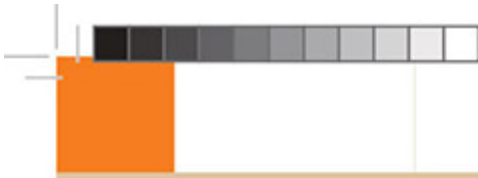
$$\left(\frac{W}{kg}\right) = 3.55 \times [masa\ corporal(kg)]^{-0.26}$$

Ecuación 4.



Figura 2.

Nivel saludable de actividad física.



Los tres modelos dan resultados similares al aplicarse a la teoría de la tasa de vida, sin embargo, para los resultados reportados se utilizó el modelo general.

Analizando los niveles de actividad física, así como lo sería el uso continuo y sin descanso de una máquina, resulta evidente que al aumentar el movimiento, la entropía generada aumenta, lo que sugiere que se debe hacer ejercicio siempre dentro de un *nivel saludable* (figura 2), para así disminuir la tasa de generación entrópica; ya que también el reposo en extremo acerca a los organismos rápidamente al equilibrio termodinámico.

A continuación, se tratarán los conceptos mencionados desde la perspectiva termodinámica; para ello, es indispensable definir un *sistema extremadamente simple*, consistente en una estructura conformada por un sólo constituyente o por muy pocos. Un ejemplo de gran interés es el de los isótopos estables y/o moléculas, los cuales poseen una característica muy importante: son *invariantes por inversión temporal*, es decir, si existiera la posibilidad de ver una película del comportamiento de estas partículas, y luego se corriera la cinta al revés, no se observaría ningún cambio, hecho que se evidencia únicamente para este sistema microscópico y para sistemas macroscópicos constituidos por un solo componente.

Al pasar a los sistemas complejos, la invarianza por inversión temporal no se cumple en el sistema como conjunto, dado que está conformado por un gran número de constituyentes, cada uno con un comportamiento propio. Así, resulta claro, que todo fenómeno tiene un comienzo y un final.

Los sistemas complejos tienden espontáneamente al caos, es decir, su envejecimiento aumenta, lo que sugiere que la entropía no es conservativa. Este proceso también es irreversible, el sistema tiende al desorden, pero por sí mismo no tenderá a recuperar el orden.

El orden no se recupera de forma espontánea debido a que por ser un único estado para el sistema observado, todos los demás son considerados estados de desorden, en otras palabras, *“los sistemas complejos evolucionan hacia su configuración más probable...el desorden que es inconmensurablemente más probable”* (Silvestrini, V., 1998: 50).

Se puede hablar ahora de *sistema termodinámico*, por el que se entiende uno que puede ser descrito a través de sus parámetros de estado, por ejemplo la presión y la temperatura; estos sistemas pueden ser aislados o no-aislados, cerrados o abiertos.

Consideremos un sistema aislado y cerrado, es decir, que no cede ni recibe energía o materia del ambiente; al pasar el tiempo suficiente, el sistema alcanza un estado de ajuste interno llamado *equilibrio*, que se da cuando cada parámetro de estado tiene el mismo valor en cada punto del sistema, y éste no cambia con el paso del tiempo. Una observación relevante hecha en este tipo de sistemas está relacionada con la entropía: sean dos recipientes rígidos comunicados por una válvula que está cerrada, en cada contenedor hay gas, el mismo para cada recipiente, uno se encuentra a una temperatura más elevada que el otro, esta situación representa el orden, ya que las moléculas de cada temperatura están separadas; al abrir la válvula, los gases se mezclan y el más caliente cede parte de su energía térmica al más frío, hasta alcanzar el *equilibrio térmico*, que representa al desorden, pues las moléculas de gas se han mezclado.



Consideremos ahora los sistemas cerrados no aislados, o sea aquellos que interactúan con el ambiente: se tiene un contenedor con moléculas de un gas a una temperatura determinada, su energía térmica pasa al ambiente (se minimiza la energía del sistema), enfriándose, con lo que se está alcanzando el *orden*, lo que sugiere que la entropía también fue cedida al ambiente, pues se alcanza el orden en un sistema siempre, que se vea compensado por el *desorden* generado en el ambiente que lo rodea.

En este momento, se debe reconocer que la entropía es un parámetro fascinante; es como lo diría Sir Winston Churchill "s"... *un acertijo envuelto en un misterio dentro de un enigma*" (Cambel, A., 1992: 127), afirmación que ayuda a entender por qué algunos de los personajes más importantes de la ciencia, la ingeniería y la tecnología, se hayan apasionado por ella, abriendo las puertas a un mar de interpretaciones, que permiten comprender desde distintos enfoques, los diferentes procesos termodinámicos que le dan continuidad a todo lo que conocemos.

La dificultad para un entendimiento inmediato de este concepto que cuantifica el número de configuraciones microscópicas que puede tomar un sistema, se presenta principalmente porque, a diferencia de otros parámetros de estado, éste posee perspectivas diversas, y porque no se tiene un contacto directo con él, como el que los termómetros y barómetros nos permiten tener casi a diario. No existe un "entropiómetro" que arroje fácilmente la medida directa de la entropía, cada vez que ésta se requiera; es decir, su valor se determina a través cálculos matemáticos.

A continuación, se definirán algunos de los enfoques bajo los cuales se ha estudiado la entropía y se mencionarán algunas de las personalidades que la han estudiado.

1. Entropía macroscópica o fenomenológica, cuyos representantes son Rudolf Clausius, conocido como el "Padrino" de la entropía, Ilya Prigogine, Isabelle Stengers y Joshia Willard Gibbs. Esta clase de entropía se sustenta en la entropía microscópica.

En 1865, Clausius publicó por primera vez su definición de entropía:

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right) \quad \text{Ecuación 5.}$$

donde Q es la energía térmica y T es la temperatura absoluta. Resulta evidente que se obtiene la diferencial exacta de la entropía, es decir, su integral es independiente del camino recorrido, demostrando que, sin lugar a dudas, la entropía es una propiedad termodinámica. Esta expresión suele relacionarse con frecuencia con los procesos reversibles, es decir, aquellos en los que el sistema está en equilibrio con el ambiente en cada etapa. Los procesos reversibles son de carácter ideal, por ejemplo, la corriente eléctrica a través de una resistencia cero, o la mezcla de dos muestras de la misma sustancia en el mismo estado, entre otros (Jaramillo, O., 2007).

Posteriormente, Clausius demostró que en procesos irreversibles la entropía aumenta, expresándolo así:

$$dS_{\text{universo}} \geq 0 \quad \text{Ecuación 6.}$$

donde la igualdad es válida para procesos reversibles (procesos ideales) y la desigualdad para los irreversibles.

Otro personaje de gran importancia dentro de la Termodinámica es Joshia Willard Gibbs, quien hizo un aporte fundamental a la entropía macroscópica e introdujo el concepto de la *energía libre* (de Gibbs), partiendo del enunciado de la segunda ley de la termodinámica, descrita a través de la siguiente relación:

$$\text{Energía disponible} = \text{Energía total suministrada} - \text{Energía no disponible}$$

Así, siguiendo el esquema anterior, la energía libre de Gibbs queda definida como:

$$G = H - TS$$

Ecuación 7.

donde G es la energía libre de Gibbs, H es la entalpía (energía de flujo), T es la temperatura absoluta y S es la entropía. Esto muestra una relación evidente entre la entropía y la energía libre de Gibbs en la que un incremento en la primera implica una disminución en la última.

2. **La entropía estadística**, se origina en la notación de las mediciones del desorden a través de las probabilidades. El "padre" de esta entropía es Ludwig Boltzmann, quien introdujo el concepto de *dirección del tiempo* en forma microscópica, ya que, conociendo esta dirección, se podría cuantificar la aleatoriedad o las probabilidades de ésta, con lo que se demostraría que la entropía es probabilística.

3. Finalmente, se tiene *la entropía dinámica*, que es el estudio de la dependencia del tiempo en la entropía. Un maestro en esta área es el astrónomo británico sir Arthur Eddington, quien en 1928 acuñó el concepto de *"flecha del tiempo"*, dado que la entropía incrementa con el paso del tiempo, hecho que ha permitido que el hombre diferencie entre el pasado y el presente.

En conclusión, sólo queda decir que la ironía es, por consiguiente, la dueña del universo y de la vida, a lo largo de la cual el hombre trata constantemente de hallar un orden o alcanzar el "equilibrio", cuando en realidad es el caos mismo el que le da sentido a su existencia, y declara por qué todo funciona como desde siempre lo hace.

Observación: Los ejemplos sobre los tipos de sistemas termodinámicos fueron modificados de los expuestos en el libro *"Qué es la entropía"*. (Cambel, A., 1992: 127-155.).

Agradecimientos

De una manera muy especial quiero darle las gracias al Ingeniero Marcelo Enrique Riveros Rojas, por su estímulo y motivación, por su colaboración y por su confianza en mi trabajo. También quiero agradecerle a mi familia por su apoyo constante e incondicional, y por ser mis más grandes maestros.

Referencias

Cambel, A. (1992), *Applied Chaos Theory, a Paradigm for Complexity, Chapter 8, The Different Personalities of Entropy*, George Washington University.

Jaramillo, O. (2007-05-03), "Ejemplos de procesos reversibles e irreversibles", [en línea], disponible en: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node83.html>, recuperado: 18 de junio de 2010.

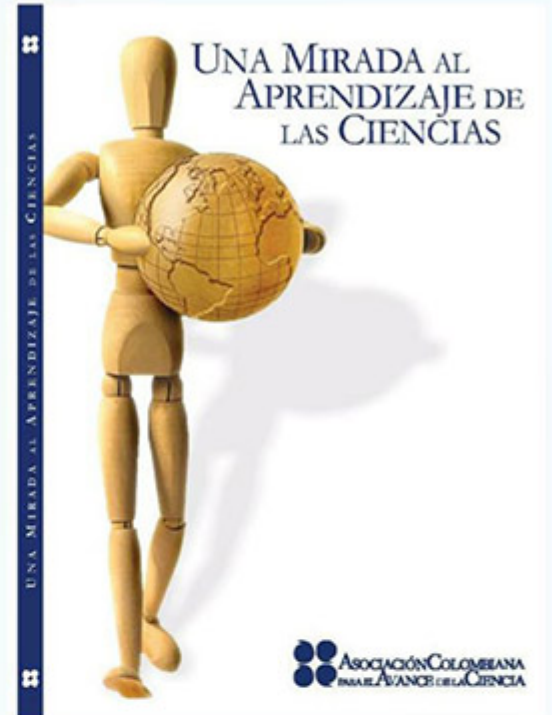
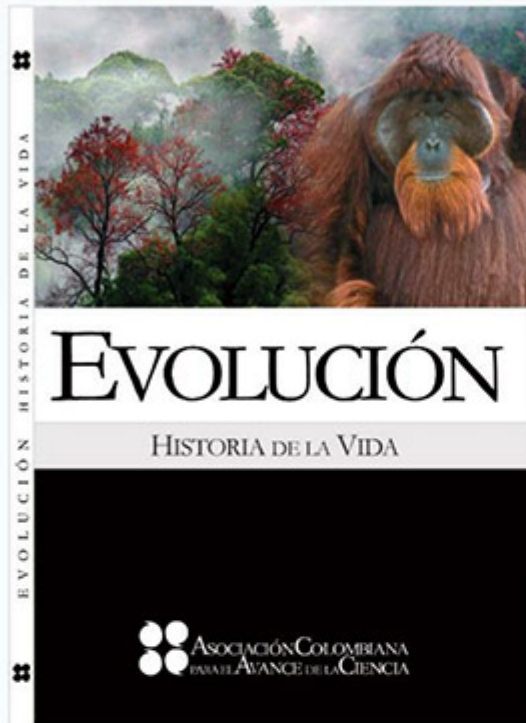
Kalyan, A., y Silva, C. (1998, junio 20), "Entropy Generation and Human Aging: Lifespan Entropy and Effect of Physical Activity Level", Department of Mechanical Engineering, Texas A&M University, College Station, *Entropy* 2008, 10, 100-123.

Silvestrini, V. (1998), *Qué es la Entropía*, Grupo Editorial Norma, colección milenio, primera edición.

Nos emociona
cuando lo que
llevamos
emociona

www.4-72.com.co

472
¡Es tu correo!



CULTURA CIENTÍFICA: FACTOR DE SUPERVIVENCIA NACIONAL - José Luis Villaveces
 LA EPISTEMOLOGÍA Y LA HISTORIA EN LA PEDAGOGÍA DE LAS CIENCIAS NATURALES - Germán Cubillos Alonso
 LA ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO - Juan Ignacio Pozo
 EL MUNDO NO ES COMO LO PINTAN - Beatriz Helena Robledo
 LA COMPRENSIÓN Y LA EXPLICACIÓN - V CONGRESO NACIONAL SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA - Dino De Jesús Segura Robayo
 HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA
 RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES EN LA ENSEÑANZA - Edwin Germán García
 EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO EXPERIENCIA INVESTIGATIVA - Hugo Cerda Gutiérrez
 LA ACAC EN EL DESARROLLO DE LA CONCIENCIA CIENTÍFICA COLOMBIANA - Teresa León Pereira

LA EVOLUCIÓN COMO PROCESO CREADOR - Francisco J. Ayala
 LA ADAPTACIÓN BIOLÓGICA. ALGUNAS TESIS DE COMPRENSIÓN - Germán Amat García y Orlando Vargas Ríos
 ESPECIE: ¿ES O SON? - Fernando Fernández, Julio Mario Hoyos y Daniel Rafael Miranda Esquivel
 LOS VIRUS DE ARN COMO MODELOS PARA EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN EXPERIMENTAL - Andrés Moya y José Manuel Cuevas
 FILOGENIA GENÓMICA EN MOSAICO EN BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO - Daniel Piñero Dalmau
 FILOGENIA, FORMA Y FUNCIÓN - Susana E. Freire y Liliana Katinas
 MORFOLOGÍA, MOLÉCULAS Y LA HISTORIA DE LA VIDA DE ORTODOXIAS Y HEREJÍAS - Jorge V. Crisci y Juan J. Morrone

Valor: 25.000 c/u
 20% de descuento
 para nuestros asociados

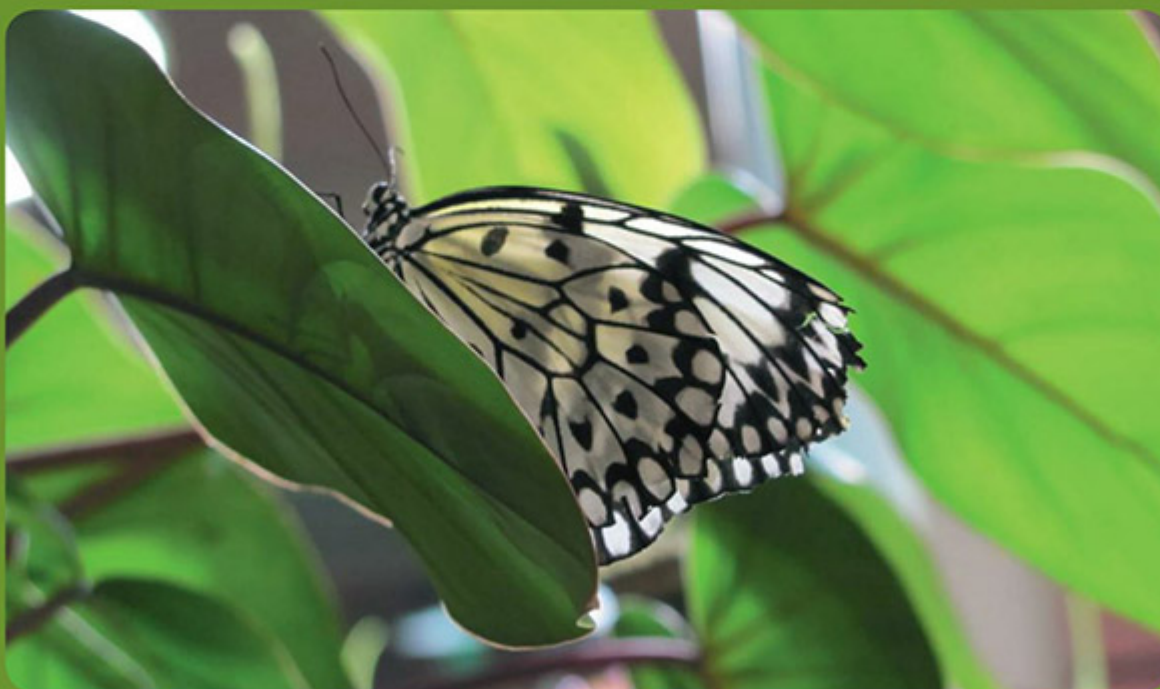
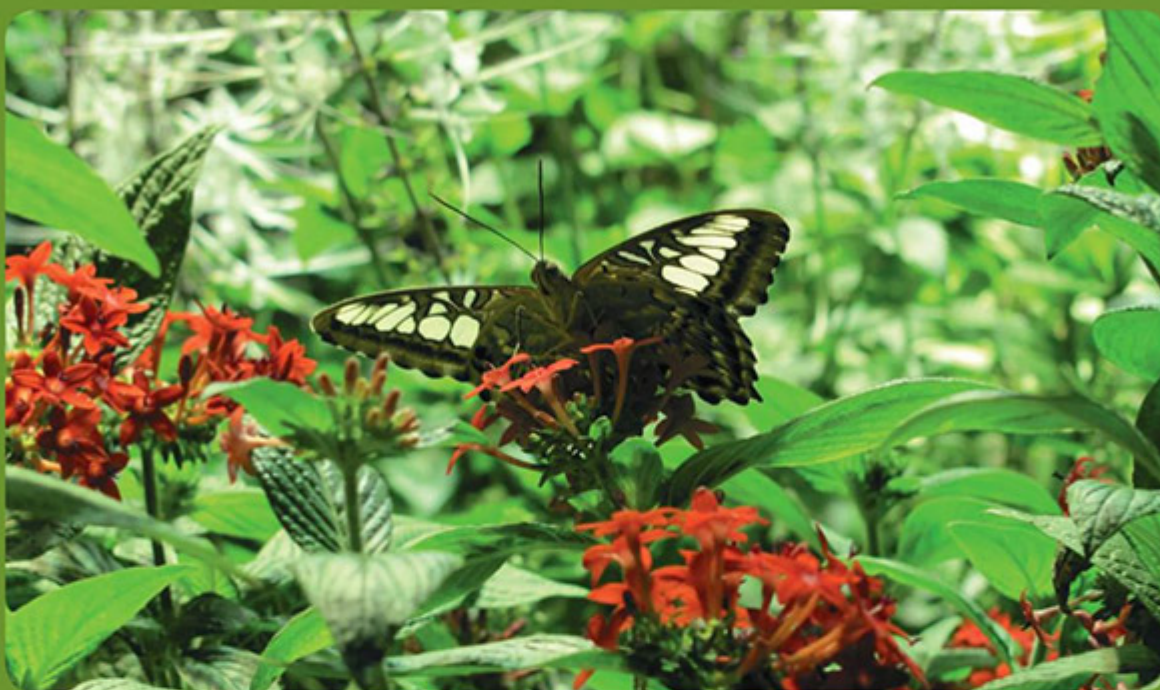
INFORMES

Tel: 315 0734

E-mail. innovacionyciencia@acac.org.co
divulgacion@acac.org.co

Ver para conocer, conocer para preservar





Mariposas y Flores. Jardín Botánico de Medellín Joaquín Antonio Uribe.
FOTOS: CARMEN HELENA CARVAJAL L.



Parque Natural Tayrona. Playa Cañaveral. Julio 2007

La naturaleza escogió un sitio donde mostrar todo su esplendor y belleza y decidió que el mejor lugar era un área de 15.000 hectáreas en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, la montaña nevada cerca al mar más alta del mundo, con playas de arena fina, profundos verdes y azules entremezclándose en el hermoso mar Caribe, olas en algunos sitios apacibles y rabiosas en otros y una vegetación exuberante. Colombia debe preservar a toda costa este parque natural para el disfrute de la humanidad y de los colombianos que por fortuna somos los que lo tenemos más cerca pero con la mayor responsabilidad.

FOTO: FABIO HERNANDO PÉREZ GÓMEZ



Evolución y neurobiología de las experiencias místico-religiosas

Neurobiología

JUAN FERNANDO DUQUE OSORIO MSc.

BIÓLOGO-ZOÓLOGO
MASTER EN CIENCIAS BÁSICAS MÉDICAS
DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

juanferduque@gmail.com



Resumen

La religión es una de las características humanas más conspicuas y comunes. Si tiene un sustrato biológico según aquí se esboza, ¿cómo evolucionó? ¿Por qué la religión promueve comportamientos tan extremos? Si por un lado demanda bondad, compasión y sentido de comunidad, por otro lado, ¿cuánta sangre no se ha derramado en nombre de ella? Se hace una aproximación parcial a lo que estas preguntas sugieren como respuestas para terminar con algunas conclusiones. Antes de leer este artículo se recomienda discreción por parte de los lectores con creencias religiosas muy arraigadas.

Todas las culturas, sin importar la época, han mostrado una tendencia a desarrollar una religión, o al menos a creer en un mundo sobrenatural (Alper, 2008; Dawkins, 2007), lo cual puede ser una característica humana universal de al menos 100,000 años de antigüedad (Joseph, 1996). En otras palabras, la gran mayoría de humanos muestran una tendencia a ser dualistas, es decir, a dividir la realidad en dos ámbitos distintos: el mundo sobrenatural y el mundo material (Rubia-Vila, 1996). Como dijo el creador de la sociobiología, Edward O Wilson en (2004): "La creencia religiosa es una de las constantes universales de la conducta humana ... desde los grupos de cazadores hasta las repúblicas socialistas".

Todas las culturas, sin importar la época, han mostrado una tendencia a desarrollar una religión, o al menos a creer en un mundo sobrenatural (Alper, 2008; Dawkins, 2007), lo cual puede ser una característica humana universal de al menos 100,000 años de antigüedad...

La religiosidad es un comportamiento tan transculturalmente constante que Jung (1953), el discípulo predilecto de Freud hasta el momento de su separación, inventó el término "inconsciente colectivo" para dar cuenta de los componentes comportamentales que heredamos, componentes que, según él, se formaron durante el desarrollo evolutivo de nuestra especie. Dentro del inconsciente colectivo, que así lo llama, la tendencia humana a creer en un mundo sobrenatural es, obviamente, la protagonista. Jung observó que las diferentes mitologías estaban constituidas por un conjunto similar de elementos por lo que concluyó que los humanos tenemos una "función religiosa natural".

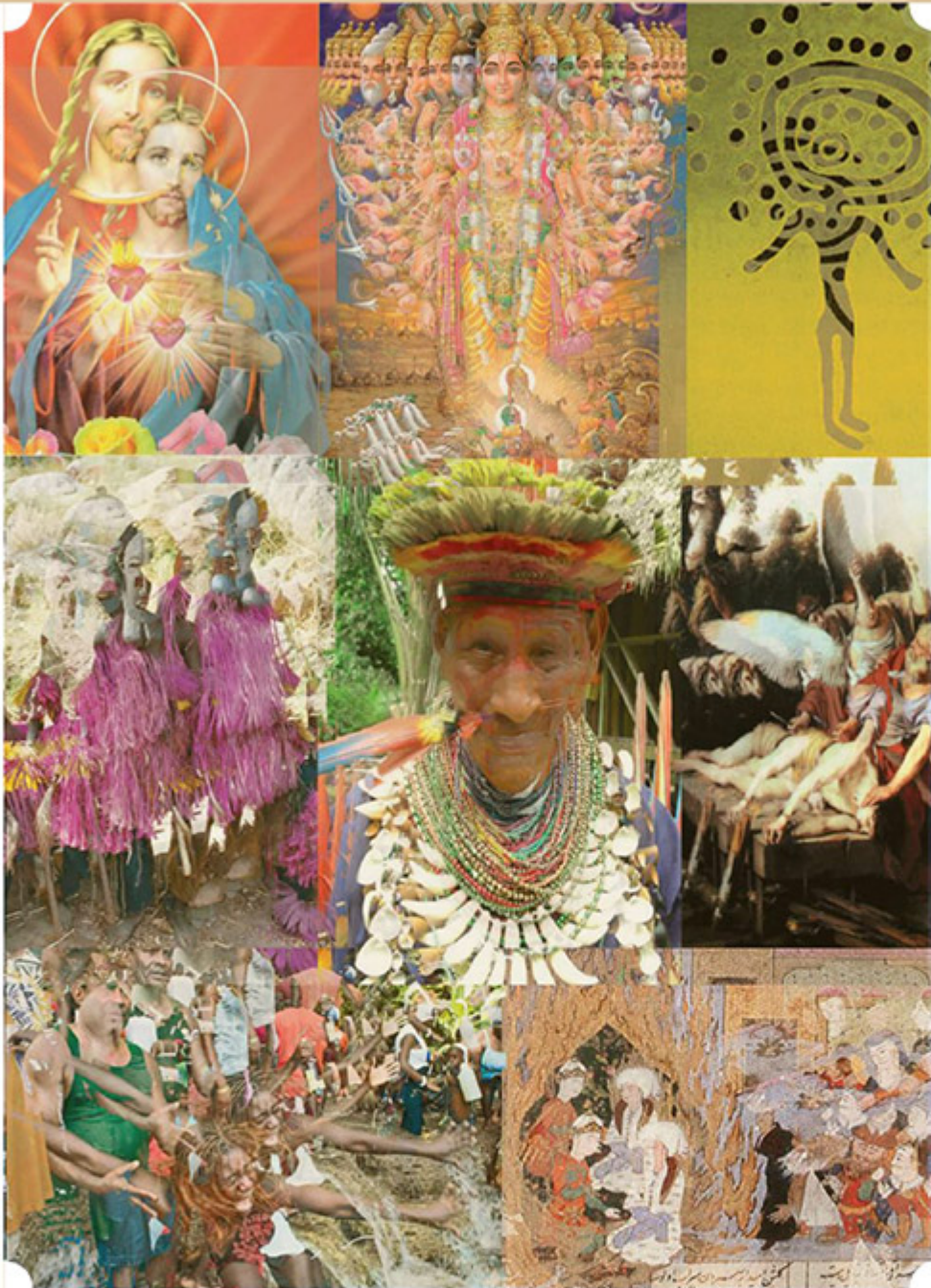
Para reforzar lo anterior, Wilson (2004) dijo: "Si el cerebro evolucionó por selección natural... las creencias religiosas deben haber surgido gracias al mismo mecanismo". Por lo tanto, deben existir genes que codifiquen el desarrollo de las redes neurales que permiten tal comportamiento (Alper, 2008). Todo esto ha llevado a que se desarrolle una nueva pero ya robusta rama de la biología llamada neuroteología por Huxley (1962), bioteología por Alper (2008), o neurociencia espiritual por Biello (2007).

Experiencias místicas

Se podría concluir que estos "genes espirituales" nos hacen proclives, bajo ciertas circunstancias, a tener experiencias trascendentales y que las mismas son parte integral de las religiones. Y es que en todas las culturas ha habido personas (llamados místicos) que, en circunstancias especiales, han tenido este tipo de experiencias (Rubia-Vila, 1996). Estas podrían clasificarse como experiencias religiosas, místicas, trascendentales, o incluso numinosas (del latín *numen*: divino o transcendente). Merkur (1993) clasifica las experiencias en: misticismo teísta (que podría relacionarse con las experiencias religiosas) que supone sentir la presencia personificada de un poder "superior" y misticismo panteísta (*pan* = todo; *teo* = dios) en el cual "el individuo siente que la totalidad del mundo es el poder más grande y que puede verse a sí mismo como parte de esa totalidad". Según Dawkins (2007) los panteís-



© Susana Carrié



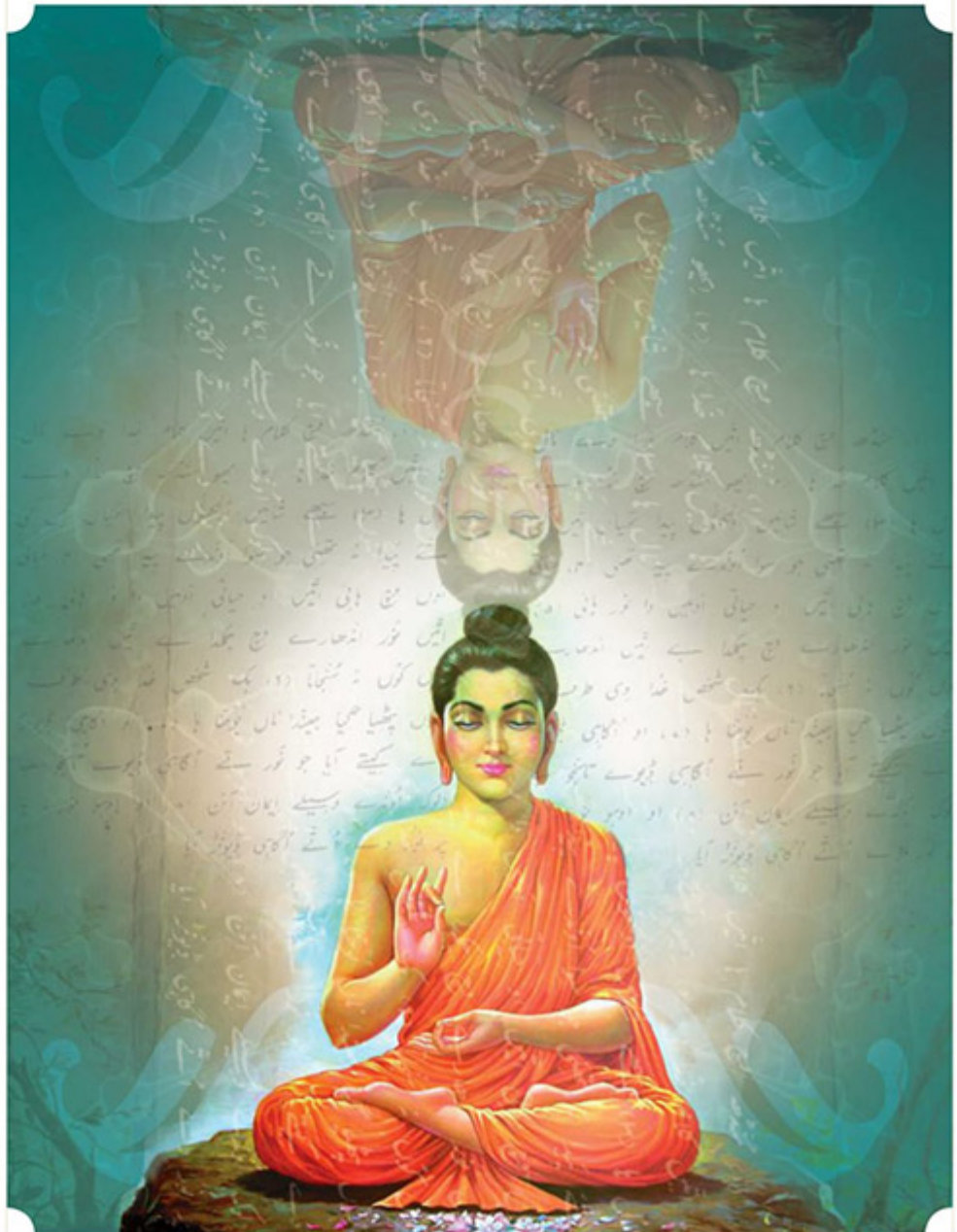
tas no creen en absoluto en un Dios sobrenatural, más bien utilizan la palabra dios como sinónimo no sobrenatural de la naturaleza. Y además agrega que el panteísmo es “ateísmo acicalado”. Teniendo en cuenta esto, aclara que científicos como Einstein o Stephen Hawking son panteístas y esta posición no se puede calificar como creencia en algo sobrenatural, como comúnmente se piensa. Según el mismo autor (Dawkins, 2007), estos malentendidos se dan porque estos científicos panteístas siguen usando la palabra dios para expresar su admiración por la naturaleza, y aprovecha para pedirles el favor de que dejen de utilizar esta palabra, a no ser que de verdad creen en un ser sobrenatural.

Además de las experiencias místico-panteístas, existen experiencias transcendentales que suponen un involucramiento más intenso y quizás patológico del sistema límbico (sistemas emocionales del cerebro). Dentro de los místicos, los casos más elocuentes son aquellos de los líderes religiosos,



que incluirían a: Abraham, Juana de Arco, Joseph Smith (fundador de la religión de los Mormones), Jesús, Mahoma, Moisés y San Pablo o Paulo de Tarso, todos los cuales son sospechosos de haber sufrido de epilepsia del lóbulo temporal derecho, lo cual, durante los ataques, conduce a una hiperactivación límbica anormal. Otro personaje famoso, sospechoso de sufrir epilepsia del lóbulo temporal fue el escritor existencialista Fiódor Dostoievsky (1821-1881). Con uno de sus personajes, este escritor reportó que, cuando tenía uno de sus ataques, veía como el cielo se abría ante sus ojos y podía ver ángeles y a Dios mismo (Alper, 2008; Joseph, 1996).

Los místicos relatan experiencias muy similares no importa el lugar o cultura (Alper, 2008; Rubia-Vila, 1996). Según Merkur (1993), los cinco síntomas de una experiencia mística son: "un sentido de unidad o totalidad", "un sentido de haber encontrado la realidad última", "un sentido de sacralidad" y "un sentido de inefabilidad (imposibilidad de expresar con palabras la experiencia)". Según Eliade *et al.* (1996), las experiencias místicas incluyen una coincidencia de los opuestos (*Coincidentia Opposito-*



© Susana Currié

rum). El místico pretende la unión con lo numinoso, lo cual se traduce en procedimientos rituales como actos mágicos, fórmulas, bendiciones, conjuros, consagraciones, sortilegios y prácticas chamánicas (Rubia-Vila, 1996). Estos procedimientos hacen parte de una u otra religión. A este estado místico-transcendental se le ha dado diferentes nombres: satori (budismo zen), samadhi (yoga), nirvana (sánscrito), luminosidad (libro tibetano de los muertos), despertar (budismo), eso (hinduismo), tao absoluto (taoísmo), espíritu divino (Plotino), estado gozoso de gravedad sobresaliente (San Pablo), llama viva (San Juan de la Cruz), éxtasis (Santa Teresa), y un largo etcétera.

Neurobiología de la experiencia religiosa

De todo lo anterior se puede concluir la existencia en el cerebro de regiones que son capaces de producir estas experiencias místicas y que estas regiones están normalmente inhibidas por lo cual su activación requiere de circunstancias especiales como eventos, técnicas, rituales o drogas (Rubia-Vila, 1996). Dado que las experiencias místicas se caracterizan, entre otras cosas, por “un sentido de unidad o totalidad” (Merkur, 1993), uno de los mecanismos por el cual las mismas se puedan dar es que la función del operador binario no impida estas experiencias (Rubia-Vila, 1996).

El operador binario está localizado en el lóbulo parietal del hemisferio dominante (que generalmente es el izquierdo) y se encarga de hacernos ver el mundo en opuestos: arriba-abajo, bueno-malo, etc. Se sabe

también que la atemporalidad es una de las características de las experiencias místicas, y que la temporalidad también está localizada en el hemisferio izquierdo, por lo cual se podría decir que una de las funciones del hemisferio izquierdo es la inhibición de las estructuras cerebrales que producen la sensación mística. Es muy probable que las estructuras que producen estas sensaciones místicas se encuentren en el hemisferio derecho (Rubia-Vila, 1996), pues, entre otros datos, Newberg

et al. (2002) hablan de la contraparte del operador binario: el operador holístico, el cual estaría localizado en la posición correspondiente del hemisferio derecho. Este último operador permitiría ver la realidad como un todo: la “coincidencia de los opuestos”, de la que hablan Eliade *et al.* (1996). Todo esto le daría sentido, según

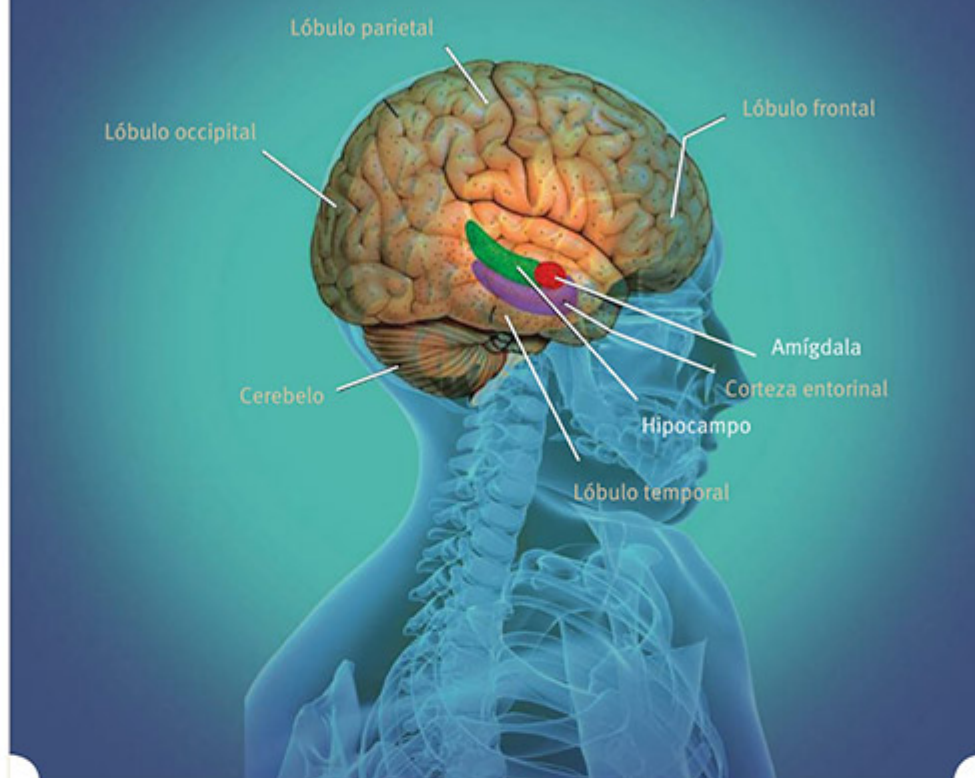
Rubia-Vila (1996), a un pasaje del Evangelio de Santo Tomás encontrado en 1945 en el alto Egipto. En este pasaje Jesús responde a sus discípulos la pregunta de si entrarían al reino de los cielos si son como niños, y la respuesta fue: “Cuando hagáis de dos uno, y cuando hagáis lo que está dentro como lo que está fuera y lo que está fuera como lo que está dentro, y lo que está arriba como lo que está abajo... entonces entraréis al reino”. En otras palabras, y a la luz de la bioteología y todo lo repasado aquí, es posible que la famosa frase: “El Reino de los Cielos está dentro de vosotros mismos”, haya que tomarla al pie de la letra, y no sea sorprendente que sea compartida con muchas otras tradiciones (Joseph, 1996).

Pero de lo repasado hasta ahora se puede ir concluyendo que uno de los eventos protagónicos en cuanto a la generación de experiencias religiosas es la epilepsia del lóbulo temporal derecho. Según *El Manual Completo de Psiquiatría*, uno de los síntomas de este tipo de epilepsias en su estado interictal (entre crisis) es la hiperreligiosidad (Alper, 2008). En estos casos, el paciente está convencido de la realidad y validez de sus experiencias religiosas. Alper (2008) habla de un paciente que decía: “realmente he tocado a Dios. Entró en mí. Sí, Dios existe, dije llorando. Ustedes que están sanos no pueden imaginarse la alegría que sentimos los epilépticos un segundo antes de sufrir un ataque”.

Parece claro entonces que habría que buscar las “estructuras místicas o religiosas”, al menos en parte, en el hemisferio derecho. La sensación mística es holística, inefable (indescribible con pala-

...Dado que las experiencias místicas se caracterizan, entre otras cosas, por “un sentido de unidad o totalidad” (Merkur, 1993), uno de los mecanismos por el cual las mismas se puedan dar es que la función del operador binario no impida estas experiencias...

Sistema Límbico



bras), todo lo cual apunta al hemisferio derecho, el cual no tiene la facultad de expresarse verbalmente. Los síntomas místicos que se ven después de algunas crisis epilépticas de lóbulo derecho no se ven en ninguna otra parte del cerebro (Rubia-Vila, 1996). El lóbulo temporal posee en su interior estructuras límbicas como el hipocampo y la amígdala, sin descontar que el polo frontal de este lóbulo es parte de la corteza asociativa límbica (Joseph, 1996). Dado que los síntomas místicos son provocados por epilepsia del lóbulo temporal derecho, y que el hemisferio derecho, de los dos, es el que está más influenciado límbicamente, hay que buscar las estructuras religiosas primarias en las regiones límbicas de lóbulo temporal derecho. Según Rubia-Vila (1996), el hipocampo podría estar jugando dos papeles claves en cuanto a trascendentalidad se refiere: podría ser la base del yo y además funcionar como comparador entre la realidad interna y externa. Cuando su funcionamiento se ve alterado por la diversidad de circunstancias ya mencionadas, estas dos funciones se ven perturbadas, lo cual podría llevarlo a promover, al menos en parte, experiencias místicas.

Joseph (1996) aclara que incluso personas "arcaicas" del paleolítico medio (130,000 a 33,000 a.C.) como los neandertales por ejemplo, enterraban de forma elaborada sus muertos para prepararlos a su viaje al más allá, lo cual implica creencias místicas o religiosas. Los estudios endocraneales de estas personas muestran que ya contaban con unos bien desarrollados lóbulo temporal inferior y sistema límbico. De hecho, un bien desarrollado sistema límbico podría ayudar a explicar por qué otras especies como los elefantes, los lobos y los chimpancés también muestran algunas veces comportamientos rituales con respecto a sus muertos o ritualísticamente le aúllan a la luna o realizan lo que se ha llamado "danza de la lluvia", respectivamente. Sin embargo, en contraste con otros mamíferos, la hiperactivación del lóbulo temporal derecho humano produce sentimientos de hiperreligiosidad, sabiduría cósmica, proyecciones astrales y alucinación de fantasmas, demonios, espíritus y creencia en posesiones angelicales o demoníacas.



El involucramiento del lobulillo temporal inferior en la generación de sensaciones místicas puede ser arqueológica y neuroanatómicamente rastreado. Sin importar el tiempo o la cultura, desde los aztecas y pasando por los nativos americanos, los romanos, los griegos, los africanos, el hombre de cromañón, los egipcios y hasta los cristianos modernos, la forma de cruz consistentemente aparece en contextos místicos. La explicación a esto podría ser el hecho de que el lobulillo temporal inferior y la amígdala contienen redes neuronales multimodales que responden a más de un tipo de estímulo a la vez: responden a formas (como la cruz) y también están involucradas en la generación de sensaciones místico-religiosas, al igual que otros aspectos emocionales. Una explicación similar se le puede dar a la atribución de significado místico a triángulos (pirámides) y círculos (Joseph, 1996).

Las estructuras protagónicas en cuanto al origen de los estados místicos son entonces la amígdala, el hipocampo y la estructura que los envuelve: el lóbulo temporal. Otra forma de experiencias relacionadas con las místicas son las cercanas a la muerte (ECMs). Según Joseph (1996), personas que han estado clínicamente muertas, pero que han "retornado a la vida", han reportado que después de haber "muerto" han abandonado sus cuerpos físicos para flotar (esto típicamente incluye una sensación de euforia), para después ser envueltos por un túnel oscuro con una luz radiante en su extremo opuesto. En algunos casos estos individuos pueden ver su pasado entero ante sus ojos, lo cual sin duda se debe a la activación de los centros de memoria ubicados en el hipocampo-amígdala.

Estas experiencias, además de ser reportadas por humanos contemporáneos, han sido registradas en textos funerarios y en el *Libro de los Muertos Egipto* de hace 6,000 años. Pero hay un caso especial entre aquellos relatados por Joseph (1996). Se trata de una persona que va manejando un automóvil a más de 150 Km/hora por una autopista en EUA cuando de repente se le atraviesa un ave de considerable tamaño, lo cual provoca que el conductor aprisione los frenos haciendo que el vehículo empiece a girar sin control. En este momento el protagonista de la historia empieza a "desdoblarse", empezando a tener más de una perspectiva a la vez: al menos una desde afuera del vehículo y otra desde adentro (como en un video-juego), todo lo cual le brindaría más información para posiblemente evitar producir o ser víctima de un accidente seguramente fatal. Dado que el hipocampo tiene neuronas de posición, esta estructura es capaz de formar un mapa cognitivo del ambiente del individuo y sus movimientos dentro del mismo. Es por esto que estas experiencias "de dejar el cuerpo" o de proyección astral, son posibles presumiblemente gracias al hipocampo, pues éste, en casos

de hiperactivación (como respuesta al miedo extremo), puede crear una alucinación visual espacial de modo que el individuo se siente como si fuera a la vez "el actor" y "el público" de lo que está pasando. Otra vez, como en las experiencias místicas, las sensaciones de proyección astral involucran no sólo al hipocampo sino también a la amígdala y al lóbulo temporal (Joseph, 1996). Dado que las dos primeras estructuras y el lobulillo temporal inferior reciben información visual, es posible que su hiperactivación explique porque las personas que pasan por estas experiencias reportan el sentir una luz intensa. De igual forma, la liberación masiva de opiáceos (encelafinas o endorfinas) debido al trauma físico cuasi-"mortal" explica la inmediata pérdida del miedo y los subsecuentes sentimientos de tranquilidad y felicidad (Joseph, 1996). Esta visión es inicialmente (en cuanto a causas próximas = fisiológicas) parecida a la de Alper (2008) en el sentido de que este último autor dice que la función de esta calma es evitar que con acciones apresuradas la víctima acelere su muerte, y que, como tal, estas ECMs tendrían un valor adaptativo evolutivo. La hiperactivación de la amígdala-hipocampo produce no sólo tener ante sí todo el pasado de la vida sino también sentirse ante la presencia de familiares ya desaparecidos, pues todo esto se explica por la función memorística de estas estructuras. Además, las experiencias místicas

...un bien desarrollado sistema límbico podría ayudar a explicar por qué otras especies como los elefantes, los lobos y los chimpancés también muestran algunas veces comportamientos rituales con respecto a sus muertos o ritualísticamente le aúllan a la luna o realizan lo que se ha llamado "danza de la lluvia", respectivamente...



tienen en común con las ECMs sentimientos de euforia, disociación del yo, seguridad, armonía eterna, gran felicidad y sensaciones de integridad-perfección-sabiduría-clarividencia. Dada la universalidad de los relatos hechos durante este tipo de experiencias (especialmente durante las ECMs) es posible que la amígdala-hipocampo sean las primeras estructuras afectadas por la muerte que se acerca, y a la vez ser las últimas estructuras cerebrales en morir (Joseph, 1996).

Dada la naturaleza límbica de las estructuras involucradas en la generación de sensaciones místicas, no es sorprendente que las mismas estructuras interactúen en otras esferas emocionales como la furia, el miedo y el sexo (Joseph, 1996). Por ende, tampoco es una sorpresa que las religiones estén impregnadas de furia (por ejemplo la furia de Yavé en el viejo testamento) y sexo (ya sea para promover su práctica o prohibirlo). Y entonces sería la naturaleza emocional de la religión la que probablemente explique por qué las mismas pueden producir sentimientos contradictorios como la bondad, la solidaridad y la comunalidad por un lado, y el sectarismo y extremismo por el otro. Estos últimos sentimientos explican en parte la agresividad de algunos grupos religiosos con respecto a otros, y explica la gran cantidad de sangre que se ha derramado durante nuestra historia en nombre de la religión.

...Otra forma de inducir estas experiencias sería por medio de drogas “enteógenas” (Dios generado desde adentro). Este tipo de sustancias abarcan compuestos simples como el óxido nítrico, el éter y el alcohol etílico, hasta muy complejas como la dietilamina del ácido lisérgico o LSD y el éxtasis...

La hiperactivación anormal de las estructuras límbicas vía ECMs o epilepsia del lóbulo temporal obviamente no es la única forma en que se dan las experiencias místicas. Rubia-Vila (1996) llama la atención sobre el hecho de que varios autores dan explicaciones alternativas, como el estrés excesivo, la anoxia (falta de oxígeno) y algunos tipos de anestesia. Otra forma

de inducir estas experiencias sería por medio de drogas “enteógenas” (Dios generado desde adentro). Este tipo de sustancias abarcan compuestos simples como el óxido nítrico, el éter y el alcohol etílico, hasta muy complejas como la dietilamina del ácido lisérgico o LSD y el éxtasis. Contienen drogas enteógenas hongos como *Amanita muscaria*, *Psilocybe mexicana*, *Pholiota spectabilis*; o plantas como el peyote mexicano (mescalina) o *Cannabis* (marihuana). El uso de estas drogas para el acceso a sensaciones místicas es peligroso, en la mayoría de los casos perjudicial para la salud y no está recomendado ni para menores de edad ni para primerizos. En todo caso es mejor tratar de acceder a estos estados por medio de técnicas pasivas, como la meditación por ejemplo. El contacto de los humanos con drogas enteógenas sería muy antiguo, pues según Rubia Vila (1996) el primer contacto de los homínidos con hongos alucinógenos podría haberse dado antes de la domesticación del ganado, es decir hace más de 1 millón de años en África, dado que hongos que contienen psicobilina crecen en los excrementos de dichos bóvidos. Las drogas enteógenas producirían una disminución descompensada y temporal de serotonina, con la consecuente pérdida de su poder inhibitorio produciendo por ende excitación incontrolada, especialmente de las estructuras límbicas del lóbulo temporal.

Evolución

Hay que empezar por aclarar aquí, como sucede con cualquier comportamiento, que la forma que toma cada religión, tanto a nivel colectivo como individual, es una interacción entre impulsos genéticos y culturales. Según Alper (2008), este proceso evolutivo pudo darse como respuesta a la conciencia de la muerte segura que surgió en cada individuo humano. Cuando esta conciencia tomó lugar, el aparato emocional-existencial se vio en aprietos y, de no darse la evolución del dispositivo espiritual, el animal humano habría vivido en un estado de continuo terror (riesgo de parálisis existencial) hasta poner en cuestión la supervivencia de nuestra especie. Una de las formas en que el dispositivo espiritual funciona es en la creencia en un “reino” sobrenatural, en la vida después de la muerte. Todo esto es reconocido también, con alguna reticencia, por Joseph (1996), quien apunta al hecho de que el siste-



© Susana Carrié



ma límbico está muy deseoso de mantener la vida del individuo de suerte que se generó un deseo de sobrevivir tan intenso que promovió la evolución de redes neuronales específicas que crean sueños y alucinaciones de almas y espíritus de amigos y familiares fallecidos como para producir la promesa de la salvación espiritual y la ilusión de la auto-preservación eterna aún después de la muerte física. Por lo tanto, lo más probable es que estas sensaciones místicas y ECMs no se deriven de la interacción con fuerzas divinas sino que surjan de la actividad nerviosa generada en el interior del mismo cerebro condicionado genéticamente (Alper, 2008). Así como cuando somos bebés o niños tenemos la tendencia a buscar protección en nuestros padres, cuando somos adultos lo hacemos en dios(es), siendo esta otra de las razones subsidiarias para la evolución del dispositivo espiritual (Freud & Menand, 2005). De todos modos Joseph (1996) se pregunta, desde una perspectiva algo creyente, cómo es que en el cerebro evolucionaron redes neuronales que siguen disparándose aún después de la muerte clínica,

...Otro aspecto negativo de la religión es que nos hace ser derrochadores. ¿Para qué preocuparnos por el planeta tierra si pasaremos el resto de eternidad en el "cielo"?...

produciendo de esta forma ECMs. Hay que reconocer que es una pregunta válida desde una perspectiva darwinista, pues una característica que funciona después de la muerte no tiene como llegar a ser "escogida" por la selección natural. Esto es algo que la bioteología debe resolver pronto. Una posibilidad es ver a las experiencias místicas y a las ECMs como subproductos de funciones del sistema límbico que en otras circunstancias serían normales. Otra posibilidad la brinda Dawkins (2007): la selección de grupo. Un ejemplo podría ser que si la tribu A pelea con mayor fervor religioso (estando sus combatientes seguros de que van a ir al "cielo-paraiso" si mueren) contra la tribu B, no tan religiosa, resultaría ganadora la tribu A, la cual a su vez engendraría más hijos, resultando este comportamiento religioso aumentado y/o fijado después de algunas generaciones. Pero lo que resulta un poco decepcionante es que Dawkins (2007) ve la religión como un subproducto de características tales como: la tendencia de los niños a creer en consejos emanados por adultos con autoridad sobre ellos, sean estos consejos de utilidad práctica inmediata o religiosos [deja entrever que estos últimos son como virus mentales o memes (unidades de información cultural) no factuales (no comprobables)]; el fallo de módulos cerebrales que normalmente funcionan en otras tareas; nuestra instintiva tendencia dualista, creacionista e intencionalista (atribución de intenciones a objetos inanimados); tendencia a enamorarnos, y otras. Es posible que toda esta lista de razones esbozada por Dawkins (2007), y aquellas explicadas por Alper (2008), hayan contribuido (lideradas por el miedo a la muerte) a la evolución de la espiritualidad/religión. Pero un comportamiento tan prominente y costoso como el religioso no puede ser tomado como un subproducto. La religión/espiritualidad debe tener su propio valor adaptativo evolutivo.

Conclusiones

Una de las fórmulas para maximizar nuestra felicidad es el autoconocimiento (Alper, 2008). Y, como podrá apreciarse, éste es también uno de los principales objetivos de este artículo: conocernos mejor. Como cualquier impulso biológico, la religión/espiritualidad no se puede erradicar por completo, pero si lo conocemos mejor podemos controlarlo y tornar sus aspectos negativos en positivos. Una persona religiosa podrá preguntarse a que aspectos negativos se está haciendo alusión. Y aquí hay que hacer una aclaración: obviamente la mayoría de creyentes son personas buenas y decentes. Sin embargo, la respuesta a la pregunta anterior es que el fanatismo religioso nos ha llevado a todas las guerras de religión de las cuales está plagada la historia humana. En otras palabras, así como es necesario que controlemos todos nuestros instintos, la religiosidad, como parte de ellos, también debe ser controlada. Otro aspecto negativo de la religión es que nos hace ser derrochadores. ¿Para qué preocuparnos por el planeta tierra si pasaremos el resto de eternidad en el "cielo"? Alper (2008) propone que, dado que vivimos en un mundo globalizado, para minimizar las guerras entre religiones tal vez sea conveniente, en el futuro cercano, que el mundo adopte un conjunto unificado de principios religiosos en forma de una ideología humanizante basada en principios como la igualdad, la tolerancia, la compasión y el perdón, maximizando así nuestro potencial para la felicidad minimizando el que conlleva infringir sufrimiento. Incluso dentro de la ONU debería existir un órgano que regule la religiosidad humana a nivel mundial.

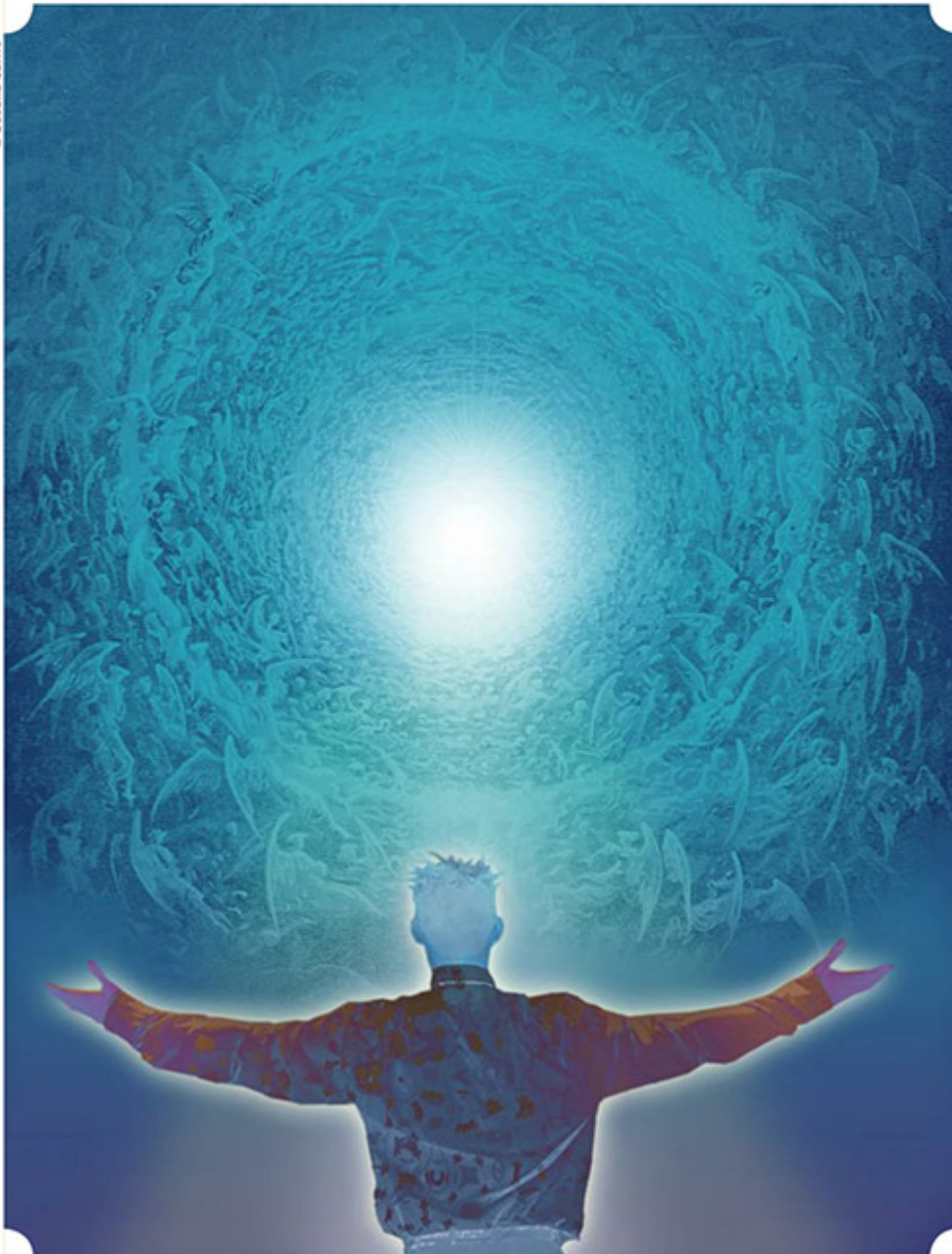
Bibliografía

- Alper, M. (2008), *Dios Está en el Cerebro*, Bogotá-Colombia, Grupo Editorial Norma.
Biello, D. (2007, octubre 3), Searching for God in the Brain, *Scientific American Mind*.
Dawkins, R. (2007), *El Espejismo de Dios*, Madrid-España, Editorial Espasa Calpe S.A.



- Eliade, M.; Sheed, R.; Holt, J. (1996), *Patterns in Comparative Religion*, University of Nebraska Press.
- Freud, S.; Menand, L. (2005), *Civilization and its Discontents*, New York (NY)-USA, WW Norton & Company
- Huxley, A. (1962), *Island: A Novel*, New York (NY)-USA, Harper-Cornell University.
- Joseph, R. (1996), *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Clinical Neuroscience*, Baltimore (MD)-Media (PA)-USA, Williams & Wilkins.
- Jung, C.G. (1953), *Collected works*, Volumen 9, Parte 1, Universidad de Michigan, Pantheon Books.
- Merkur, D. (1993), *Gnosis: An Esoteric Tradition of Mystical Visions*, Albany (NY)-USA, State University Press.
- Newberg, A.; D'Aquili, E.; Rause, V. (2002), *Why God Won't Go Away: Brain Science and the Biology of Belief*, New York-USA, Ballantine Books.
- Rubia-Vila, F.J. (1996), Neurobiología de la Numinosidad, *Anales de la Real Academia Nacional de Medicina-España* 113(2):513-531.
- Wilson, E.O. (2004), *On Human Nature*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.

© Susana Carriló



Divulgación de la ciencia

Ciencia y teatro ¿que qué?

GERMÁN CUBILLOS ALONSO

EDITOR INNOVACIÓN Y CIENCIA
ACTOR Y DIRECTOR GRUPO DE TEATRO ESCENA LIBRE

gercubillos@hotmail.com



Cuando le comuniqué a uno de mis colegas químicos, hace unos años, que iba a hacer una charla sobre ciencia y teatro, su primer comentario fue “¿Que qué?” Naturalmente no lo culpo por su extrañeza pues, en un primer momento, estas dos actividades parecen no solamente muy diferentes sino prácticamente antagónicas. Basta con traer a la memoria lo que seguramente muchos de nosotros hemos visto alguna vez durante un evento tan cotidiano como la transmisión de un partido de fútbol por televisión. Dos jugadores chocan fuertemente y uno de ellos permanece en el suelo retorciéndose de dolor después de dar dos o tres aparatosas volteretas. Es probable que el locutor diga en ese momento que ese jugador sí que sabe hacer teatro, que es un gran actor, que lo deberían contratar para el Festival Iberoamericano de Teatro y hasta llegue a usar otras frases similares con las cuales querrá decir que no es cierto que el jugador esté muy golpeado o lesionado sino que está “haciendo teatro”, es decir, intentando engañar al juez y al público en general. Pero si finalmente el jugador tuvo que ser reemplazado pues efectivamente sí se lesionó, el mismo locutor podrá informar posteriormente que “después de realizarle radiografías y una resonancia nuclear magnética, el diagnóstico fue esguince de tobillo”, por ejemplo. Esa información será para él y para el público cierta, verdadera, pues las técnicas utilizadas para la realización de los exámenes están basadas en la ciencia, por lo tanto los resultados deben ser verdaderos. Es decir, en la comunicación diaria, cualquier afirmación proveniente de la ciencia es verdadera y cualquier evento relacionado con el teatro es mentira, invención, juego, ficción.

Por esta razón, para nuestro interés en este ensayo vamos a establecer unas definiciones generales de ciencia y teatro que nos permitan saber de qué estamos hablando.

Ciencia

Podemos entender por este término el *proceso por el cual se obtiene conocimiento racional sobre la realidad con un cierto nivel de corroboración, mediante diversos métodos y técnicas replicables y contrastables*. Ubicamos el nacimiento de esta ciencia en los siglos XVII y XVIII a partir de los trabajos de Galileo, Kepler, Boyle, Linneo, Bufón, Newton y Lavoisier entre otros. Pero, puesto que esta definición nos remite casi exclusivamente a las denominadas ciencias naturales, para ganar en generalidad podemos también definir “ciencia” como *la búsqueda racional de explicaciones y predicciones sobre el mundo con base en la experiencia*. Esta definición ya incluye las ciencias sociales y humanas cuyo proceso de constitución se puede ubicar en el siglo XVIII cuando se dan los primeros intentos sistemáticos de estudiar el comportamiento humano y se sientan las bases de la Antropología, la Sociología y la Filología, entre otras.



Imagen 1.

Terapia de psicodrama.

Teatro

Por su parte, el teatro es una de las artes escénicas en la que, mediante personajes, unos actores representan historias reales o ficticias frente a un público. Para la representación los actores utilizan una variada combinación de elementos tales como: parlamentos, gestos, movimientos, vestuario, maquillaje, utilería, escenografía, música y elementos sonoros. También se entiende por Teatro el conjunto de textos literarios producidos a través de los siglos con el objetivo de ser representados en un escenario en tanto tienen la estructura y las indicaciones básicas para su puesta en escena.

A partir de estas definiciones académicas ya podemos establecer la relatividad de los conceptos sobre Ciencia y Teatro que habitan la vida cotidiana. Los saberes de la ciencia no son verdades absolutas sino solamente verdades hipotéticas que pueden perder su estatus de verdades cuando sean refutadas dentro del mismo trabajo de los científicos. Por ejemplo, durante dos siglos, a partir de la Física de Newton se creyó que el espacio y el tiempo eran absolutos, sin embargo, la nueva *Teoría de la Relatividad* refutó esta creencia. En el siglo XIX, con base en los enunciados de la *Teoría Atómica* de Dalton, se creyó que los átomos eran indivisibles, no obstante, a finales de ese siglo, los átomos se les comenzaron a desintegrar entre las manos a los físicos y químicos y surgió la nueva hipótesis de un átomo constituido por partes, unas positivas, otras negativas y otras neutras: protones, electrones y neutrones.

En el ámbito de la vida, hasta el siglo XIX se creía en la *generación espontánea*, es decir en la aparición de la vida animal o vegetal a partir de materia inerte. Esta creencia, que provenía de la aparición de moscas, gusanos y microorganismos en aguas estancadas, en el barro, sobre la basura o en un caldo de cultivo sin que, aparentemente, hubieran sido producidos a partir de otro ser vivo, solo comenzó a ser refutada con los trabajos de Pasteur a mediados de ese siglo en los cuales demostró en forma concluyente que toda ser vivo proviene de otro ser vivo.

La ciencia que hoy tenemos es distinta a la del siglo XIX y seguramente la del siglo XXI será distinta de la que hoy tenemos porque la ciencia no está constituida por verdades eternas como las de las religiones; sus saberes son provisionales.



En cuanto al teatro, la definición nos remite a la existencia en su seno de historias tanto reales como ficticias, por lo que teatro no es sinónimo de mentira sino sólo de una forma escénica de contar historias y esta idea va a ser muy importante para llegar a concebir el teatro como *máquina cultural para contar la ciencia*.

Teatro y Ciencias Humanas y Sociales

Inicialmente vamos a referirnos a la relación entre el Teatro con la Psicología y la Sociología en lo que se llamó, en la primera mitad del siglo XX, psicodrama y sociodrama.

Psicodrama

El psicodrama es una técnica psicoterapéutica grupal creada hacia 1925 por el médico rumano Jacobo Levy Moreno, quien utilizó el teatro para explorar en la acción la experiencia interior y exterior de los individuos.

El teatro terapéutico es un escenario construido de tal manera que las personas puedan vivir y proyectar en una situación experimental sus propios problemas y su vida real sin las trabas que ponen las pautas rígidas de la existencia cotidiana o las ataduras y las resistencias de la vida común.

El sujeto, en el teatro terapéutico, se ve colocado a una cierta distancia de su vida y de su medio diario, situación que muy raramente está en condiciones de lograr en las circunstancias cotidianas. El teatro es un escenario objetivo en el cual el sujeto puede representar sus problemas y dificultades relativamente libre de las ansiedades y las presiones del mundo exterior. (Moreno, J.L., 1965: 98-99)

Moreno propuso así una nueva manera de realizar diagnóstico y tratamiento frente a lo que se acostumbraba desde 1890 en las técnicas psicoanalíticas. Se apartó de la costumbre de tomar al individuo

Imagen 2.

Sociodrama.



aislado, en solitario, en un sillón, para privilegiar el tratamiento en grupos y pasó de los métodos eminentemente verbales, a los métodos en que los pacientes deben entrar en acción en un escenario.

La dramatización en el escenario, donde el paciente-protagonista, dirigido por el psicoterapeuta y ayudado por los *yo auxiliares*¹, da vida a los personajes, desarrolla los conflictos y expresa las emociones hasta llegar idealmente al momento de la *catarsis*².

Puesto que se trata de una terapia de grupo, el otro elemento fundamental es el público, que en este caso corresponde al grupo de psicoterapia que participa explícitamente, al terminar la representación, con sus opiniones sobre el protagonista, la historia representada y su relación con lo representado, integrándose a un análisis completo de la representación dramática.

En ese proceso el protagonista ha entregado su intimidad al público en el escenario y ahora el público entrega su intimidad al protagonista y a todo el grupo desde sus asientos, a través de sus comentarios en una comunicación que es parte fundamental de la terapia.

Sociodrama

El sociodrama es un método de estudio y de análisis colectivo de temas concretos, de situaciones de la vida real de un grupo mediante su dramatización sobre un escenario. En este método, algunos integrantes del grupo voluntarios o sugeridos por el animador, mediante personajes, representarán ante todo el grupo las situaciones concretas de su vida, buscando propuestas de solución a los problemas, respuestas a preguntas fundamentales o nuevas visiones sobre los temas.

En el Sociodrama el verdadero protagonista es el grupo. Se define como un método de acción profunda, que maneja las relaciones intergrupales y las ideologías colectivas de un determinado grupo social. Busca que personas aisladas en sus conflictos observen que no están solas, que pueden compartir con otros que también tienen problemas iguales o semejantes. El encuentro y la interacción funden la experiencia individual y la transforman en colectiva. (Castillo, B., 2007: 5)

A partir de estas características del sociodrama se ven claramente sus enormes posibilidades educativas en la solución de conflictos, en la atención a grupos sociales marginados o de refugiados, desplazados, sobrevivientes de desastres, etc.

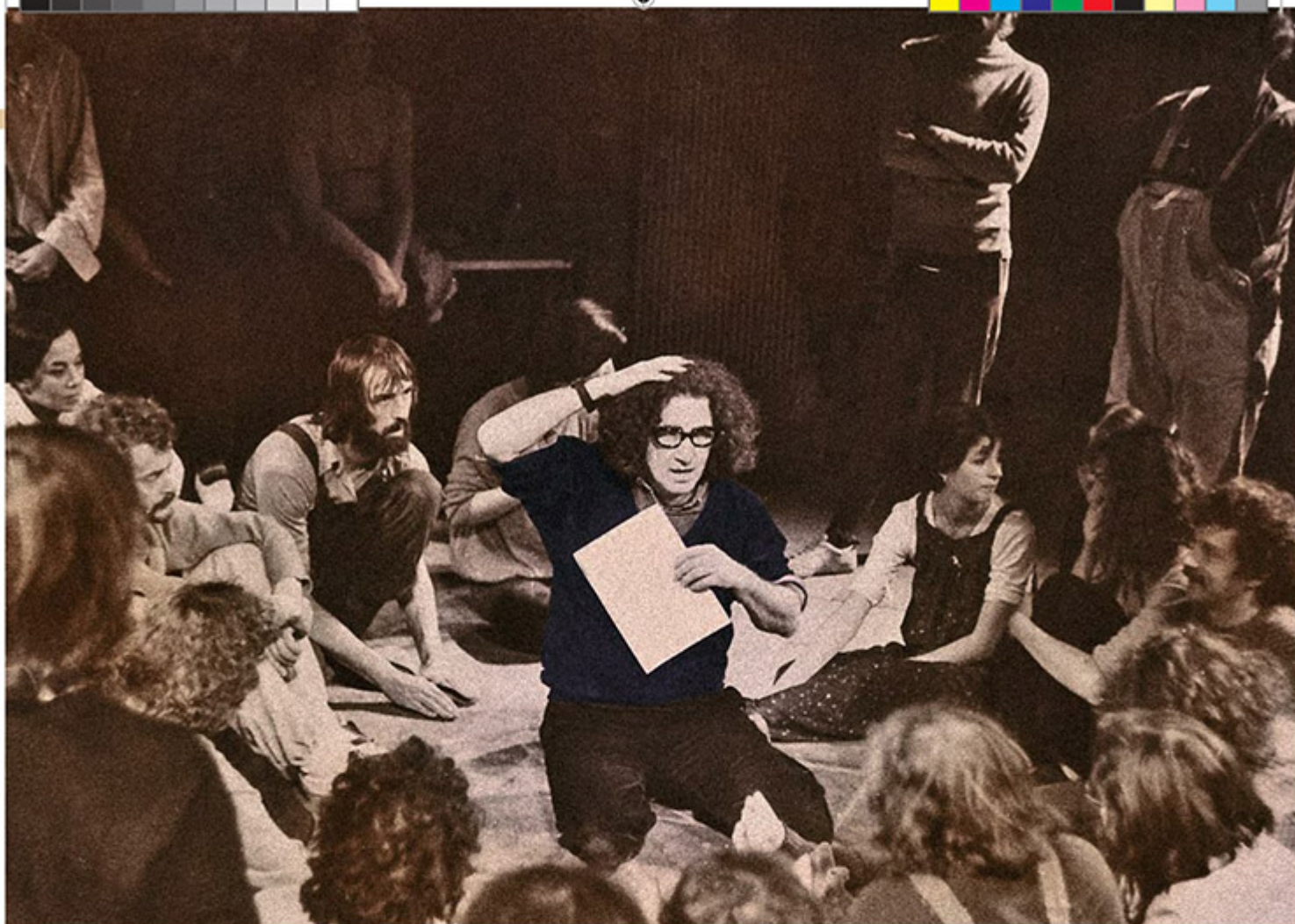
Pero si bien el teatro fue integrado a las Ciencias Humanas y Sociales en las anteriores dos formas de actividad terapéutica y de comprensión de la realidad individual y social, el Teatro también ganó algo en este contacto. La forma más elaborada de teatro que tiene muchas cercanías teóricas y prácticas con el psicodrama y el sociodrama es el "Teatro del Oprimido" de Augusto Boal.

Augusto Boal y el "Teatro del Oprimido"

Augusto Boal (Río de Janeiro, Brasil, 16 de marzo de 1931 - 2 de mayo de 2009), dramaturgo y director de teatro, fue reconocido en América Latina y Europa por su propuesta teórica y práctica del "Teatro del oprimido". Aunque inicialmente viajó a los Estados Unidos a estudiar Ingeniería Química, finalmente estudió Teatro y allí inició su larga carrera teatral escribiendo y poniendo en escena obras con el grupo denominado "Writer's Group". Regresó a Brasil, dirigió el Teatro Arena de Sao Paulo y, debido a su actividad teatral, tuvo que salir del país exiliado en 1971. Fue nominado para el Premio Nobel de la Paz 2008.

Boal expone así su propuesta del Teatro del oprimido:

1. Los *yo auxiliares* son integrantes del equipo psicoterapéutico, con conocimientos de Psicología y entrenados en psicodrama.
2. Según Aristóteles, la tragedia describe en forma dramática, no narrativa, incidentes que suscitan piedad y temor; de este modo se consigue la *catarsis* (purificación) de estas pasiones. (Ferrater Mora, 1999: 501) Para el psicoanálisis consiste en la liberación de las ideas y recuerdos que perturban el equilibrio nervioso. (Martínez, L., Martínez, H., 1997: 62)



El teatro del oprimido tiene dos principios fundamentales: en primer lugar, *transformar al espectador- ser pasivo, receptivo, depositario- en protagonista de una acción dramática, sujeto creador, transformador*; en segundo lugar, *tratar de no contentarse con reflexionar sobre el pasado, sino preparar el futuro*. Terminemos con el teatro que no hace sino interpretar la realidad: ¡hay que transformarla! (Boal, A., 1980: 15)

Imagen 3.

Augusto Boal con sus alumnos hacia 1979.

En el proceso de configuración de su teoría recurre al concepto de Poética, inicialmente tomada de Aristóteles, justamente porque aquella poética se transforma para él en lo que hay que trascender. Posteriormente, retoma la poética brechtiana como etapa anterior a la Poética del oprimido. Para Boal:

Aristóteles propone una poética en la que el espectador delega poderes en el personaje para que éste actúe y piense en su lugar; Brecht propone una poética en la que el espectador delega poderes en el personaje para que actúe en su lugar, pero se reserva el derecho de pensar por sí mismo, muchas veces en oposición al personaje. En el primer caso se produce una "catarsis"; en el segundo una "concientización". Lo que propone la *Poética del oprimido* es la acción misma: el espectador no delega poderes en el personaje ni para que piense ni para que actúe en su lugar; al contrario, él mismo asume su papel protagónico, cambia la acción dramática, ensaya soluciones, debate proyectos de cambio -en resumen, se entrena para la acción real-. (Boal, A., 1980: 17)

A partir de esta concepción, la práctica de un teatro orientado por la "Poética del oprimido" siempre involucraba al público, solicitaba la proposición de nuevas maneras de construir una escena, de terminar la obra, de representar los personajes. Esa práctica, en Colombia, estableció la costumbre del foro



Imagen 4.

Escena de la obra *Galileo Galilei* de Bertolt Brecht en el Teatro Nacional de Noruega. 2009.

después de la obra, etapa que se podía alargar en demasía y propiciar fuertes discusiones de ideas diametralmente opuestas. De alguna manera, el involucramiento del público recuerda los fundamentos del sociodrama y como él, también produce un mejor conocimiento de la realidad y una búsqueda de soluciones a situaciones problemáticas.

Ciencias Naturales y Teatro

Pasando ahora a las Ciencias Naturales, tenemos que distinguir las dos maneras como estas ciencias se han relacionado con el teatro y, en general, con la literatura, el cine y la televisión. La primera, tal vez la más conocida, es la que se ha llamado *Ciencia ficción* y la segunda, denominada como género en la década de los ochenta del siglo pasado, llamada *Ciencia en ficción*. Esta corriente es especialmente interesante para uno de los objetivos de este ensayo, cual es, la incitación a utilizar el teatro como una herramienta para la divulgación y la enseñanza de las Ciencias Naturales.

La *Ciencia ficción* es un género literario que utiliza lenguajes y principios científicos alterados, modificados o inventados, en el cual las historias narradas tienen que ver con mundos futuros y paralelos, sucesos científicos que aún no han tenido lugar, viajes interestelares y a través del tiempo, civilizaciones desconocidas habitantes de galaxias lejanas y todo lo imaginable alrededor de estos temas. Ese género no es el que nos interesa destacar. Aquí nos interesa particularmente la *Ciencia en ficción*. El personaje que inventó este nombre para la relación entre Ciencia y Literatura y por extensión, entre Ciencia y Teatro fue Karl Djerassi, profesor de Química en la Universidad de Stanford, California, reconocido en los medios científicos por haber sintetizado el primer anticonceptivo oral popularmente conocido como *la píldora*, quien además es novelista y dramaturgo, especialmente de *ciencia en ficción*.

Djerassi describe así este género de literatura en un artículo titulado *Contemporary "Science-in-theatre": a rare genre* (si es que se puede llamar género):



¿"Ciencia en teatro" es un género especial o la frase misma es una contradicción de términos? Para explicar su uso en el título de este artículo, empezaré con mi definición de "Ciencia en ficción": una forma literaria que he estado analizando desde fines de los ochentas y que me trajo finalmente a "Ciencia en teatro." Habiendo publicado cuatro novelas de "Ciencia en ficción" me siento confiado para ofrecer una definición. Para mí, la característica más importante de "Ciencia en ficción" (en contraste con la ciencia ficción) es que todo la ciencia que hay en ella y el comportamiento descrito de los científicos es impecablemente precisa o por lo menos plausible.

¿Por qué debe ser importante eso? ...En lugar de empezar con el preámbulo agresivo, "Déjeme decirle algo sobre mi ciencia", prefiero empezar con algo más seductor "Déjenme contarles una historia" y luego incluyo ciencia verdadera y un relato verdadero de la vida de los científicos. Y si tal relato se presenta en el escenario en lugar de sobre una hoja impresa, estamos frente a "Ciencia en teatro." (Djerassi, C., 2001)

Los fragmentos que reproducimos a continuación pueden corresponder claramente a ejemplos de ciencia en ficción teatro.

Fragmentos de Galileo Galilei de Bertolt Brecht (1939)

Esta es una obra en la que se presenta en forma teatral la vida de Galileo, sus trabajos científicos y sus contradicciones con la iglesia por defender la hipótesis de Copérnico, quien había propuesto en 1543 que era el sol y no la tierra el centro del universo conocido, y que los planetas, incluida la tierra, giraban alrededor de él.

La siguiente escena ocurre en Venecia en el año 1610. Es más de media noche. A pesar del frío, Galileo Galilei y su amigo Sagredo, cubiertos por sendas mantas, observan la luna a través de un telescopio.

GALILEI: ¿Cómo te explicas esos puntos luminosos?

SAGREDO: no puede ser...

GALILEI: Sí señor, son montañas.

SAGREDO: ¿En una estrella?

GALILEI: Montañas enormes. El sol naciente dora sus cimas, mientras que en las pendientes aún reina la noche. Lo que tú ves es la luz bajando desde las cimas más elevadas a los valles.

SAGREDO: Pero eso contradice toda la astronomía de dos mil años.

GALILEI: Así es. Lo que tú ves, jamás lo había visto hombre alguno, excepto yo mismo. Tú eres el segundo.

SAGREDO: Pero la luna no puede ser una tierra con montañas y valles, así como la tierra no puede ser una estrella.

GALILEI: La luna puede ser una tierra con montañas y valles, y la tierra puede ser una estrella. Un cuerpo celestial común entre miles de ellos.


(...)

GALILEI: Sagredo, yo me pregunto, desde anteayer me pregunto. Allá está Júpiter. Cerca de él hay cuatro estrellas más pequeñas, que sólo se pueden ver con el telescopio. Las vi el lunes, pero no presté particular atención a su posición. Ayer las volví a ver, habría podido jurar que las cuatro habían cambiado su posición. Ahora están en otra posición. Yo vi cuatro. Mira tú.

SAGREDO: Yo veo tres.

GALILEI: ¿Dónde está la cuarta? Ahí están las notas. Tenemos que calcular que movimientos han podido realizar.

(Brecht, B., 1974: 82-87)



El descubrimiento de las lunas de Júpiter y de que en realidad giraban alrededor del planeta permitía refutar la idea de que no existía en el universo, aparte de la tierra, otro centro alrededor del cual giraran cuerpos celestes. Era una observación que permitía por lo menos desconfiar de la teoría ptolemaica y un dato que respaldaba la teoría copernicana.

Teatro Colombiano de la Ciencia

Historiadores y filósofos de la ciencia han coincidido en llamar al siglo XX “el siglo de la Ciencia”. No obstante, ese nombre proviene de que las revoluciones científicas ocurridas en esos cien años como las de la Física, la Química, la Bioquímica, la Biología Molecular y los nuevos materiales entre los que se destacan los semiconductores y superconductores contribuyeron a cambiar radicalmente la fisonomía del planeta y la expectativa de vida de la especie humana como no había ocurrido en siglos pasados. Es decir, el nombre no corresponde a que en general la población interprete su mundo de la experiencia científicamente, ni que, a la hora de tomar decisiones, lo haga con arreglo a un análisis científico, ni que evalúe el discurso de su político favorito con arreglo a evidencias científicas, ni que en ese siglo hubiese aumentado notoriamente la tendencia de la juventud a estudiar ciencias. Todo ocurrió exactamente al contrario; predominaron los fanatismos, los fundamentalismos, las guerras fratricidas, y la juventud se alejó despavorida de la Ciencia.

Esto significa que la Ciencia no se ha integrado al ciudadano común, que la ciencia no hace parte de nuestra interpretación, predicción y goce del mundo cotidiano en que vivimos. Para lograr la integración de la ciencia a la vida cotidiana de los ciudadanos debemos buscar todos los caminos disponibles y uno de ellos es el teatro.

En este momento existe el Teatro Europeo de la Ciencia, constituido por tres grupos: Pandemonia Science Theatre Holland de Holanda, Spectrum Drama and Theatre Projects del Reino Unido y Stokholms Stadsteater Klara Soppeteater de Suecia, que están construyendo una red de teatro para presentarse en museos de ciencia, universidades, colegios, institutos, parques, calles y organismos culturales de todo tipo, con el objetivo explícito de divulgar la ciencia. En su página de Internet dicen:

Estamos viviendo en Europa una mutación tecnológica permanente y, si queremos tomar decisiones con fundamento sobre nuestra manera de vivir y nuestra carrera profesional, tenemos que comprender esta revolución permanente y sus repercusiones. El teatro de la ciencia quiere que comprendamos lo que es la ciencia, la fuente de esa revolución.

(Teatro Europeo de la Ciencia, 2008)

Nosotros aquí en Colombia también necesitamos construir una cultura científica en todos los niveles de la sociedad; por lo tanto, vale la pena pensar en un proyecto de utilización del teatro en la enseñanza y divulgación de la ciencia. Es positivo para la cultura copiar buenas ideas y la idea del Teatro Europeo de la Ciencia es una muy buena idea. Si consideramos, además, que el teatro colombiano fue tan versátil y creativo en los años setentas, ochentas y noventas y que actualmente se encuentra en la encrucijada de ceder a la banalidad del humor chato y vulgar o desaparecer por falta de recursos y auxilios del estado, la idea del Teatro Colombiano de la Ciencia aporta una nueva dimensión a las posibilidades del teatro colombiano.

Referencias

Boal, A. (1980), *Teatro del oprimido 2. Ejercicios para actores y no actores*, Nueva Imagen, México, D.F.

Brecht, B. (1974), *Vida de Galileo Galilei*, Arte y Literatura, La Habana, Cuba.

Djerassi, C. (2001), "Contemporary "Science-in-theatre": a rare genre", [en línea], disponible en: <http://www.djerassi.com/sciencetheatre.html>, (traducción de Cubillos G.), recuperado: diciembre de 2008.

Ferrater Mora, J. (1999), *Diccionario de filosofía*, Ariel Filosofía, Barcelona, España.

Martínez, L., Martínez, H. (1997), *Diccionario de filosofía*, Panamericana, Bogotá, Colombia.

Moreno, J.L., (1965), *Psicomúsica y sociodrama*, Hormé, Buenos Aires, Argentina.

Teatro Europeo de la Ciencia (2008), [en línea], disponible en: <http://cordis.europa.eu/tdsp/es/ets/index.htm>, recuperado: febrero de 2008.

Algunas obras de teatro de divulgación de la ciencia

Además de la obra de Brecht que hemos mencionado en el texto, encontramos otras obras de teatro que son muy buenos ejemplos de divulgación de la ciencia o de *ciencia en teatro*:

Ahlfon, B. y Bargum, J. (1985), *¿Hay tigres en el Congo?* Traducida del alemán al español por Vietnam Pereira en 1996 de una copia sin datos editoriales y adaptada por Germán Cubillos para su puesta en escena en 2008. Actualmente publicada en español por *Libros del innombrable*, Zaragoza.

Bléfari, R. (2003), *Somos nuestro cerebro*, Eudeba, Buenos Aires, Argentina.

_____(2005), *Somos nuestros genes*, Eudeba, Buenos Aires, Argentina.

Dürrenmatt, F. (1995), *Los físicos*, Tusquets, Barcelona, España.

Djerassi, K., y Hoffman, R. () *Oxígeno*, Fondo de Cultura Económica, México.

Frayn, M. (1998), *Copenhague*, [en línea], disponible en: <http://www.temakel.com/teatrocopenhague.htm>, recuperado: 10 de diciembre de 2008.

Lücker, R., y Reisner, S. (1998), *El agua está en la olla* (versión del grupo Escena Libre, con base en una traducción del Instituto Goethe, de Bogotá).

Imagen 5.

Montaje interdisciplinario *Sidereus Nucleus* de Galileo Galilei montaje del colectivo Delfos, grupo de danza contemporánea en coproducción de México y Francia en el Festival Internacional de Música y Escena. Ciudad de México, 2009.



Sitios web



elcastellano.org

<http://elcastellano.org/ns/nosotros.html>

Esta es una página de la mayor importancia para estudiantes, profesores y público en general. Se trata de una página creada por la Asociación Cultural Antonio de Nebrija, de España, asociación no gubernamental dedicada desde 1996 a la promoción del idioma español en la red. Allí se encuentran artículos, diccionarios, historia de la lengua, noticias del idioma, libros, cursos, servicios de consultas y todo lo que se pueda necesitar sobre el español.



Informe de la Unesco sobre la ciencia 2010

<http://unesdoc.unesco.org/>

Resumen)

Parece fundamental para el desarrollo de la ciencia en Colombia que todos los integrantes de las comunidades académicas y científicas revisen este resumen ya que en él se describe de manera detallada el estado de la ciencia en las distintas regiones del mundo. Esta revisión debería permitir asumir una nueva actitud frente a la investigación y su papel en el futuro del país.

“El resumen se ha extraído del primer capítulo del *Informe sobre la Ciencia de la UNESCO, 2010*.”

CPAN, proyecto Consolider-Ingenio 2010 <http://lhcdiario.wordpress.com/>

El Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN, proyecto Consolider-Ingenio 2010) convocó en el 2010 el primer concurso de divulgación científica de esa institución, con el objetivo de "estimular la producción de material divulgativo de calidad en las áreas de trabajo del CPAN. Las categorías incluían la modalidad de artículo, página web o blog, material audiovisual y experimento". Es interesante consultar el blog ganador que se presenta en la página de la revista Investigación y Ciencia de la siguiente manera: "El premio al mejor blog fue otorgado por unanimidad a *La Hora Cero*, de Carlos Escobar Ibáñez, investigador del Instituto de Física Corpuscular (IFIC, instituto mixto del CSIC y la Universidad de Valencia). Del blog, dedicado a comentar los experimentos del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN, el jurado destacó su calidad y el valor añadido que supone que un investigador en activo del área de física de partículas lleve a cabo una tarea divulgadora sobre el tema".



PlotPhysics Viewer (Collider Plots)



Este es otro a contar los valores de una respuesta binomial que he desarrollado recientemente. Se trata de una aplicación web que muestra, analiza y explica automáticamente todos los resultados producidos por los experimentos del LHC y de Tevatron. Muchos científicos incorporan esta aplicación inmediatamente al curso para explicar el día a día de lo que se pasa en su experimento, como para saber qué hace la "comprobación".

En la imagen que acompaña esta entrada se pueden ver una serie de barras blancas en un histograma en blanco, los datos experimentales y algunos datos de física teórica que han sido calculados con el programa. Este programa también es posible utilizar los resultados de LHC, CERN y analizar los datos por otros años, más, más, más, más y una cantidad de opciones más, ya que de la imagen se puede ver que en julio de 2010 se publicaron muchos resultados (más de 3000 gráficos). Eso es todo y que todo lo científico científico del LHC, desde preparación para presentar sus resultados en la conferencia CERN, hasta de los más importantes en física de altas energías. En fin, se puede encontrar más información y un libro general llamado "Análisis de Física".

Leer el resto de esta entrada

Programa PlotPhysics Viewer
 Curso en Física | Comentarios »



Presentado en el I Concurso de Divulgación Científica del Comité de Ciencia del Área de Física de Partículas, Astrofísica y Nuclear, Consolider-Ingenio 2010.

Nombre:

Buscar en este sitio:

Subscripciones por correo electrónico:

Enviar la dirección de correo electrónico para suscribirse a este blog y recibir notificaciones de nuevos mensajes por correo.

¿Quieres recibirlo?

Nombre de la página:

Fecha de creación de la página:

2012 hasta ATLAS

Avísame de:

BeamTests de CERN

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

Curso CMS Calorímetros

pagosonline.net
 El pago seguro en Internet

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

Contáctanos ya en:
www.pagosonline.net



PBX: (+1)7 563 126



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

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 \$50.000 • Precio número regular \$12.000 • Precio edición especial \$15.000 • Suscripción gratuita para asociados

DÍA			MES			AÑO					
NOMBRE						SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO					
DIRECCIÓN						4 EJEMPLARES					
DIRECCIÓN						A PARTIR DEL NÚMERO					
TELÉFONO			FAX		CELULAR		CC. O NIT.				
CIUDAD			CORREO ELECTRÓNICO								
PROFESIÓN			ESPECIALIDAD								
FORMA DE PAGO			EFECTIVO <input type="checkbox"/>			TARJETA DE CRÉDITO N°			ACEPTO RENOVACIÓN AUTOMÁTICA SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
DINERS <input type="checkbox"/>			VISA <input type="checkbox"/>			MASTER CARD <input type="checkbox"/>			AMERICAN EXPRESS <input type="checkbox"/>		
VENCE			CUOTAS			NÚMEROS DE SEGURIDAD					
CHEQUE <input type="checkbox"/>			CHEQUE N°			BANCO					

Consignación a nombre de «Asociación Colombiana para el avance de la Ciencia» en:
Banco de Occidente, cuenta de ahorros N° 26880746-8 • Banco Agrario, cuenta de ahorros
N° 0230-002930-5 • Banco Popular, cuenta corriente N° 160-203196.
Envíe su comprobante de pago junto con este cupón al fax: **2216950** y **2219953** o por correo a la
sede de ACAC en Bogotá: Calle 44 N° 45- 67 Unidad Camilo Torres • Bloque C • Módulo 3
innovacionciencia@acac.org.co
Bogotá, Colombia • Más \$5.000, costo de envío fuera de Bogotá

FIRMA