Innovación y Ciencia

ASTRONOMÍA

Edición Especial
Ciencia, Educación y Divulgación

Asociación Colombiana
KONRAD

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

OFERTA ACADÉMICA
DIPLOMADOS 2016

ACAC ofrece un diseño académico, cuyo objetivo es brindar herramientas para fortalecer el desarrollo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación en cualquier área del conocimiento, **a través de los siguientes diplomados:**

- Formulación de proyectos de investigación
- Escritura de artículos científicos y tecnológicos
- Gestión de proyectos de investigación en CTeI
- Propiedad intelectual para investigadores
- Legislación de ciencia y tecnología
- Comunicación de las ciencias
- Pruebas científicas en procesos judiciales
- Gestión y ejecución de recursos de regalías para CTeI
- Formación e investigación
- Georreferenciación aplicada a la investigación
- Biotecnología para profesores de ciencias de educación básica y media
- Agricultura limpia
- Gestión de la innovación

INFORMES

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acac@acac.org.c

Página web: www.acac.org.co

Revista Innovación y Ciencia
Volumen XXIII Nº Monográfico - 2 016

Publicación de:
Asociación Colombiana para
el Avance de la Ciencia - ACAC

Junta directiva ACAC
Eduardo Posada Flórez - Presidente
Elena Evguenievna Stachenko
Ángela Stella Camacho de Galán
Moisés Wasserman Lerner
Helena Groot de Restrepo
María Mercedes Zambrano Eder
Horacio Torres Sánchez
Marcelo Riveros Rojas
Academia Colombiana de Ciencias Exactas
Físicas y Naturales - ACCEFYN
Instituto Humbolt de Colombia
Pontificia Universidad Javeriana
Centro Interactivo Maloka

Presidente
Eduardo Posada Flórez
Directora Ejecutiva
María Piedad Villaveces Niño

Subdirector Innovación y Comunicaciones
Francisco Andrés González Estay
Editora
María Fernanda Gutiérrez
Asistente Editorial
Pablo Sánchez Novoa
Diseño y diagramación
Jennifer Lizeth Díaz Piñeros
Corrección de estilo
Nelson David Mayorga Perdomo
Fotografía
Autores y Bancos de Imágenes
Indexada
LATINDEX (Incluida en el Sistema Regional de Información en línea para las Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal)

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

Carátula
El Observatorio Astronómico de la Tatacoa,

Fotografía: Javier Fernando Rúa

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 de la Editora. La publicación no es responsable legdal del contenido de la publicidad de cada edición.
Los conceptos expresados en los artículos no reflejan necesariamente la opinión de la Editora o la del Comité Editorial.

Resolución Ministerio de Gobierno Nº 5447 del 9 de octubre de 1992
ISSN 0121-5140

ACAC – Carrera 16 Nº 31 A-36
Bogotá D.C., Colombia
Teléfonos: 4320370
Email: innovacionyciencia@acac.org.co

ASTEROIDES, METEOROS Y METEORITOS. DE MENSAJEROS DEL APOCALIPSIS A POSIBLES ARCAS DE NOÉ MICROBIANAS 10

Jorge Zuluaga

ASTRONOMÍA PARA EL DESARROLLO 18

Germán Chaparro

ASTRONOMÍA Y SOCIEDAD 26

Germán Puerta Restrepo

DIVULGACIÓN DE LA ASTRONOMÍA DE COLOMBIA PARA NIÑOS Y NIÑAS: UN VIAJE UNAWE POR COLOMBIA 32

Ángela Pérez

ENERGÍA Y PSEUDOCIENCIA 38

David Andrés Galeano González

LA HIBERNACIÓN O ANIMACIÓN SUSPENDIDA EN LOS VIAJES ESPACIALES 46

Hernando Ramírez

Índice

Innovación y Ciencia Volumen XXIII Nº Monográfico - 2016

LEVANTAMIENTO ARQUEASTRONÓMICO DEL CONJUNTO DE MONOLITOS DE LAS TRES VIEJAS, EN SESQUILÉ 54

Juan David Morales

METEOROS, BÓLIDOS Y METEORITOS EN COLOMBIA 66

Freddy Moreno Cárdenas

PRUEBAS DE LA RELATIVIDAD GENERAL: MÁS DE CIEN AÑOS DE EXPERIMENTOS Y TEORÍAS 74

Alejandro Cárdenas - Avendaño

TODOS TENEMOS DERECHO A EXPLORAR EL COSMOS. SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE UN TELESCOPIO REFLECTOR CASERO 82

Carlos A. Benavides Gallego

UN ASUNTO CANDENTE: EL MISTERIOSO COMPORTAMIENTO DE NUESTRO SOL 92

Santiago Vargas

Editorial

Después de 24 años de tener una revista impresa, la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia – ACAC ha resuelto entrar al mundo digital, buscando aprovechar las ventajas tecnológicas, ofreciendo a nuevos lectores y asociados una nueva manera de leer la ciencia.

Este momento de cambio se une a la publicación de este número monográfico elaborado en conjunto con la Fundación Universitaria Korad Lorenz, quien de manera decidida propuso dedicar un espacio de su tiempo para mostrarnos la astronomía.

Para lograrlo se convocó a expertos en el tema, maestros de la universidad y asociados de ACAC que junto al decano de la facultad de matemáticas e ingeniería, escribieron los artículos que los lectores encontrarán en este número lleno de astros y conocimiento.

No puedo pasar el agradecer al decano de la facultad de matemáticas e ingeniería, Dr. Carlos Diez Fonnegra y al maestro Alejandro Cárdenas que permitieron armar esta revista que simboliza para la ACAC un nuevo comienzo histórico de su versión digital y para la Fundación Universitaria Konrad Lorenz una demostración de calidad y excelente capacidad docente.

Esperamos que les guste tanto como a nosotros.

María Fernanda Gutiérrez
Editora

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

ACAC es una comunidad de personas, conformada por científicos, profesionales y estudiantes de todas las disciplinas interesadas y comprometidas con la ciencia como instrumento de transformación de Colombia.

ASÓCIATE

Nuevas categorías de afiliación 2016

C

TÍTULAR: PERSONA NATURAL
Persona natural con título universitario, que realice actividades de CTeI, o quien no tenga título universitario, haya realizado una labor meritoria en el campo de CTeI. **$114.000**

D

TÍTULAR: CÓNYUGE
Personas naturales que tengan vínculo conyugal.
*El costo es por la pareja.
$ 170.000

B

ADHERENTE: PERSONA NATURAL
Persona natural que demuestre afinidad con la misión de ACAC, así no posea título universitario.
$ 74.600

E

TÍTULAR: PERSONA JURÍDICA
Entidad que realice actividades científicas, tecnológicas o de innovación. **$484.000**

A

ESTUDIANTE: PREGRADO
Estudiantes con carné vigente. **$55.000**

F

ADHERENTE: PERSONA JURÍDICA
Que demuestre afinidad con la misión de ACAC, así no realice actividades de CTeI. **$313.200**

Instituciones de educación básica y media. **$242.000**

Más información en:
www.acac.org.co/acac/asociate/ - asociados@acac.org.co
PBX: +57 (1) 432 0370

FORMATO DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS PARA LA REVISTA

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La revista INNOVACIÓN Y CIENCIA es una revista de divulgación científica, que tiene como propósito contribuir con una mejor apropiación social de la ciencia, compartiendo con sus lectores temas de ciencia, tecnología e innovación. Este es el principal motivo por el cual la redacción de los artículos, así como el tipo de idioma usado en su escritura, debe ser sencillo, apto para todo tipo de público. En caso de estar interesado en publicar artículos con resultados de una investigación, lo podrá hacer teniendo en cuenta que no se exige el formato propio de las revistas de difusión de la ciencia.

PASOS A SEGUIR SI DESEA ENVIAR UN ARTÍCULO:

1. Escriba el artículo en formato Word, letra Arial, tamaño de letra 12, separación entre renglones 1,5 y con una máxima extensión del documento de seis páginas.

2. Respecto al autor o los autores, debe colocar su título universitario, su actividad, el lugar donde trabaja y su correo electrónico.

3. El artículo debe incluir un resumen de máximo ocho renglones, separado del documento, donde se explique brevemente el contenido del mismo y se motive a su lectura. Al finalizar el documento, debe incluir unas conclusiones, las cuales no deben estar separadas del documento.

4. Todos los artículos deben contener la bibliografía respectiva, la cual debe estar al final del artículo, pero citada numéricamente en los párrafos que corresponda. Recuerde que no citar es considerado plagio.

5. El formato que se utiliza para el manejo de la bibliografía es Vancouver. Más adelante encontrará ejemplos de este formato.

6. Si el documento tiene una o dos frases que usted desee resaltar, por favor resáltelas en el texto. La revista se encargará de colocarlas en recuadros con color. Incluya en el documento gráficas, figuras, fotos o tablas, la cuales faciliten su lectura y lo hagan más ameno. Tenga en cuenta que las fotos y figuras deben tener el nombre completo del autor y, en caso de que el autor del artículo no sea el autor de las fotografías o figuras, se debe enviar una carta de autorización del dueño en la que permita su publicación. Las fotos, figuras o gráficas, deben venir con su leyenda explicativa y no forman parte de las seis páginas del escrito, aunque vengan incluidas en él.

FIGURAS:

Las figuras que acompañan el texto deberán contener su explicación. Inicie con la palabra Figura y coloque el número que le corresponde. Este debe ser el mismo que se encuentre en el texto. Luego describa en una frase el contenido de la figura. Coloque al final el autor de la figura o la fuente de donde la obtuvo. No extraiga figuras de páginas de Internet que no cuentan con permisos de uso.

FOTOS:

Las fotos que acompañan los documentos, al igual que las figuras, deberán estar citadas, nombradas e incluir a quien pertenecen. Las fotografías que se publiquen en la revista deben tener una resolución de 300 ppp, un tamaño mínimo de 1200X1200 píxeles y deben ser enviadas en formato jpg.

Innovación y Ciencia

GRÁFICAS:

Las gráficas que acompañan los documentos deberán estar citadas e incluir, además, el programa con el cual fueron elaboradas.

PUBLICACIÓN:

Envíe el artículo por internet al correo electrónico: innovacionyciencia@acac.org.co. Los artículos podrán ser enviados todo el año. Ellos serán revisados por el Editor, quien verificará la forma en la cual se encuentra escrito y si cumple con las normas para su publicación. Una vez realizada esta primera lectura será enviado al Comité Editorial, quien se encargará de dar su opinión respecto a la publicación. La revista tiene cuatro ediciones al año, de tal manera que su documento, en caso de ser publicado, iría en el número en que exista el espacio suficiente para su publicación.

REFERENCIAS:

Las citas bibliográficas dependerán de la fuente de la cual usted haya tomado la información a citar. Estas deben ser colocadas en el texto con el número correspondiente entre paréntesis. Ej. (1)

- En caso de citar un artículo, utilice el formato Vancouver. A continuación un ejemplo:

  Gutierrez M, Matiz A, Ulloa J, Alvarado M. Astrovirus (HAstV) como agente causal de diarrea en niños Colombianos: Siete años de estudio. Nova: publicación científica. 2005;3(3):1-20

- En caso de ser un documento de Internet

  Garcia L. La vida en Marte. Una visión simplista. Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Paso. Disponible en: http://www.universidaddelpaso.edu.fg. Consultado Abril 2006

- En caso de ser un libro

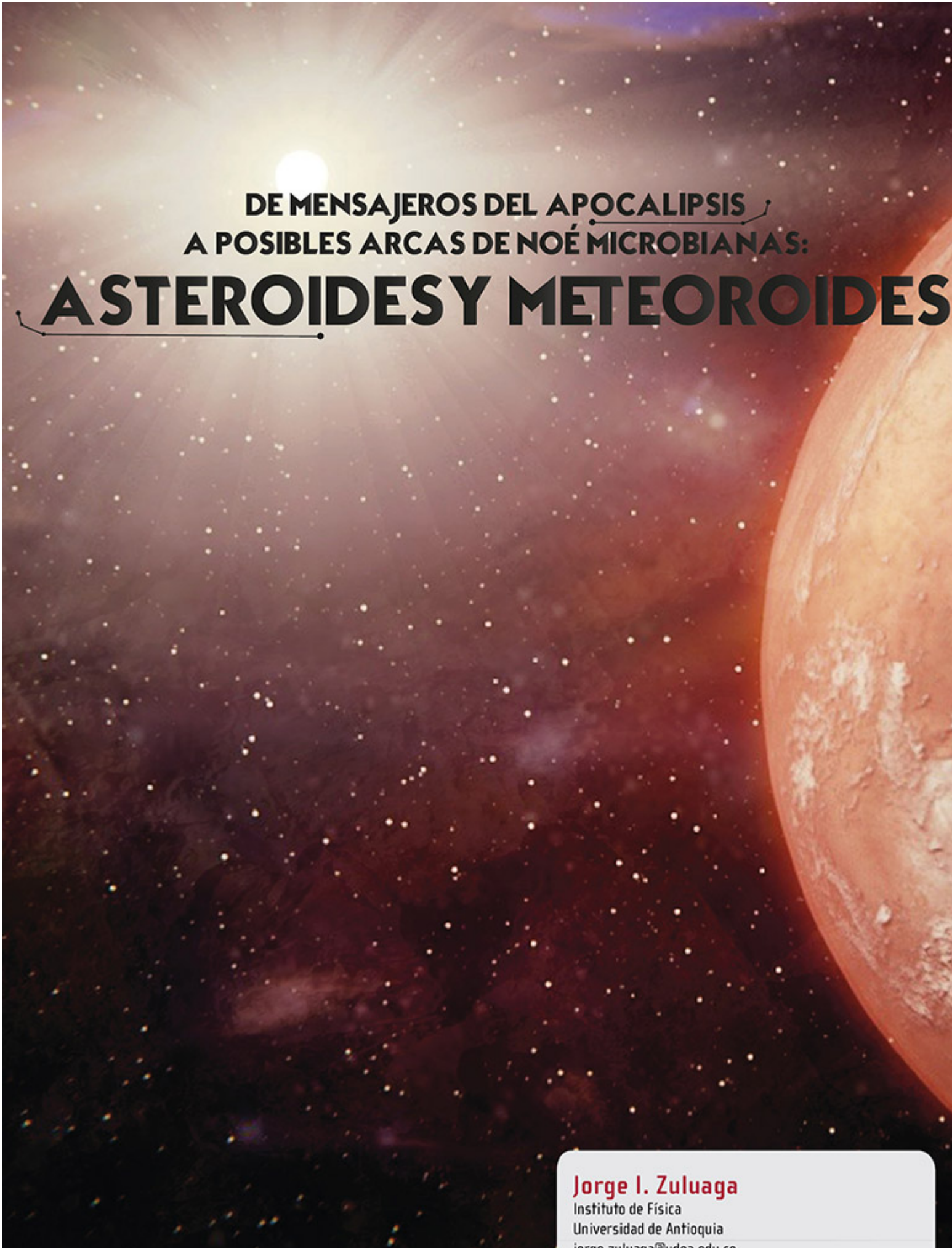
  Castaño M., Cultivos Celulares. En: Urcuqui, S., Ossa, J. Principios de Virología. Fondo editorial Biogenesis, Cuarta edición, Cap. III 29-46 (2008)

- En caso de requerir mayor información, puede remitirse a:

  Patiño G. Citas y referencias bibliográficas. Pontificia Universidad Javeriana. Segunda edición (2005)

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC.
Carrera 16 No. 31 A 36, Bogotá, D.C., Colombia
Teléfonos: (1) 315 5900
Correo electrónico: acac@acac.org.co
www.acac.org.co



DE MENSAJEROS DEL APOCALIPSIS A POSIBLES ARCAS DE NOÉ MICROBIANAS: ASTEROIDES Y METEOROIDES

Jorge I. Zuluaga
Instituto de Física
Universidad de Antioquia
jorge.zuluaga@udea.edu.co

Resumen

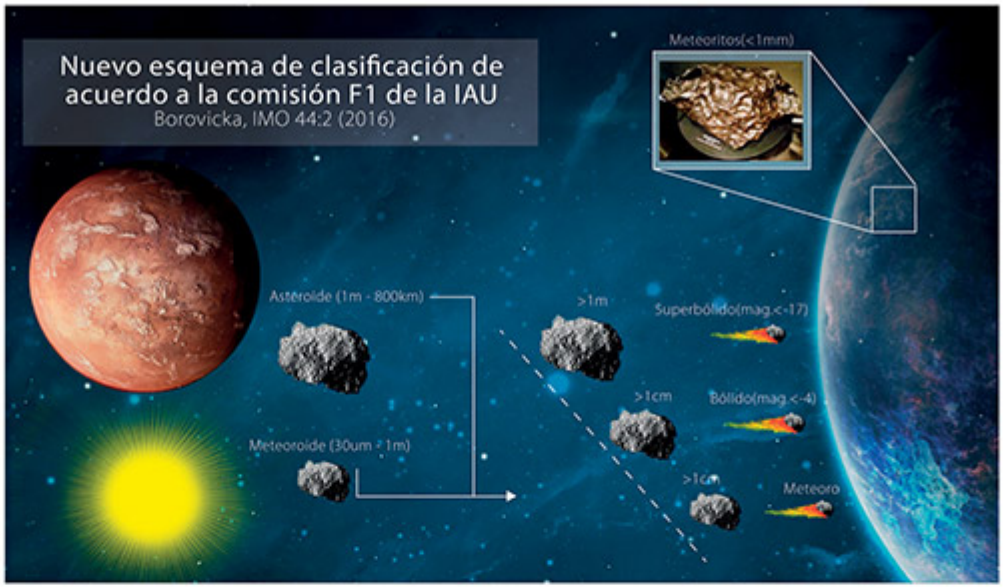
Dos referencias bíblicas para el título de un artículo científico parecen demasiado, pero reflejan fielmente, de un lado, la relación que parece existir en nuestra cultura con los asteroides y sus familiares, los meteoroides, los meteoros y los meteoritos y del otro, una conexión intrigante que podría existir entre estos cuerpos y el origen de la vida en la Tierra. Les ofrezco en estas páginas una revisión de estos dos interesantes aspectos de la investigación sobre las que llamaré informalmente las rocas espaciales. Revisaremos primero algunos conceptos fundamentales que son útiles para los que se sumergen por primera vez en estas aguas, pero también algunos tópicos de actualidad dirigidos especialmente a los expertos que pueden leer este artículo por curiosidad. Espero que sirva para sanar las heridas de la relación que, como humanidad, tenemos con los asteroides o, tal vez, y todo depende de su sensibilidad, termine agravándolas.

Ser o no ser

Entre el 6 y el 10 de junio de 2016 se realizó en el European and Space Research and Technology Centre (ESTEC), de la Agencia Espacial Europea (ESA) en Noordwijk, Holanda, el congreso trianual Meteoroids 2016. En él se reunieron un centenar de algunos de los mejores expertos mundiales en el tema de las rocas (meteoroides) que se precipitan constantemente sobre la atmósfera de la Tierra procedentes del espacio interplanetario. Uno de los objetivos de Meteoroids 2016 era reunir a los miembros de la comisión F1 de la Unión Astronómica Internacional, IAU (comisión a la que tengo el honor de pertenecer), para aprobar, entre otras cosas, la nueva nomenclatura que se usará en lo sucesivo para referirse a todo lo que tiene que ver con las rocas y el polvo espacial. En ella (1) hay términos definidos de forma muy precisa, como pasa con los nombres en muchas disciplinas de la ciencia, y otros que dependen del contexto en el que se usen.

A partir de 2016, un asteroide se define como cualquier cuerpo sólido que orbite el Sol, que tenga un diámetro de entre un metro y el tamaño de un planeta enano (menor de 800 km, para ser más precisos) y que no esté perdiendo masa en la forma de gas, polvo u otros cuerpos más pequeños (Figura 1). A los cuerpos de tamaños similares a los asteroides que pierden masa se los llama cometas. Pero, ¿qué pasa con las rocas más pequeñas de un metro? A diferencia de otras categorías (por ejemplo, la muy discutida

Figura 1
Nuevo sistema de clasificación de asteroides, meteoroides, meteoros y meteoritos aprobado por la división F1 de la Unión Astronómica Internacional.



de planeta), el diámetro mínimo para llamar a una roca espacial asteroide es arbitrario, tal y como lo decidió la comisión F1 de la IAU. Arbitrario más no caprichoso. Está inspirado en el que es el asteroide más pequeño descubierto a la fecha y que ostenta el romántico nombre de 2008 TS26 (ver recuadro).

Los nombres de los asteroides

Después de que un asteroide es descubierto se le asigna una denominación provisional formada por el año del descubrimiento, una letra que denota la quincena del año (siendo A la primera quincena de enero y Z la segunda quincena de diciembre) y otra letra que denota la posición en la que fue descubierto (siendo A el primero en descubrirse en esa quincena, B el segundo, etc.); cuando se acaban las letras, se agrega un número indicando un nuevo ciclo. Así, por ejemplo, en una determinada quincena, después del asteroide Z sigue el A1, el B1, etc.

Por ejemplo, el asteroide 2008 TS26 fue descubierto en la primera quincena de octubre (T) del año 2008 y corresponde al objeto número 668 descubierto en esa quincena (18(S)+26x25). Si la existencia del asteroide es indiscutible, el descubridor le puede dar un nombre propio enviando para ello una solicitud al Centro de planetas menores de la NASA y a la IAU, donde es evaluada por un comité de 16 personas que determinan la validez del nombre. Así fue justamente como el asteroide 2003 FZ128 recibió en 2014 el nombre 347940 Jorgezuluaga, el primer asteroide con el nombre de un científico colombiano (autor del presente artículo).

El nombre correcto a partir de 2016 para rocas que orbitan el Sol y que tienen un diámetro menor a un metro es el de meteoroide. Este nombre, sin embargo, no es nuevo, venía usándose desde varias décadas, pero la frontera que separaba a los meteoroides de los asteroides era bastante vaga.

Hay un detalle sin embargo un poco truculento. El nombre meteoroide proviene de la asociación que hacemos de estos cuerpos con los meteoros. De acuerdo a las nuevas definiciones de la IAU, un meteoro es el fenómeno luminoso (y todos los fenómenos físicos asociados con él, como sonidos, ondas de choque, ionización atmosférica) que se produce cuando un meteoroide entra a la atmósfera. Estos fenómenos son llamados popularmente "estrellas fugaces". Si el meteoro es realmente luminoso (técnicamente, si tiene una "magnitud aparente" menor a -4 o equivalentemente si es más brillante que Venus en su mejor momento), decimos que se produjo un bólido. Finalmente, si el bólido es aproximadamente 50 veces más brillante que la luna llena o hasta más, decimos que es un superbólido. (Figura 2)

Entonces, un meteoroide es algo que produce un meteoro, un bólido o un superbólido, ¿correcto? El problema es que cualquier objeto de un metro o más (que llamaríamos según la definición anterior, asteroide) y que impacte la atmósfera de la Tierra,sería también capaz de producir un bólido o superbólido. A este objeto la nueva definición de la IAU lo sitúa en la categoría de meteoroide. Si ya se enredó no es que le haya caído un meteoroide en la cabeza, es que el asunto es truculento.

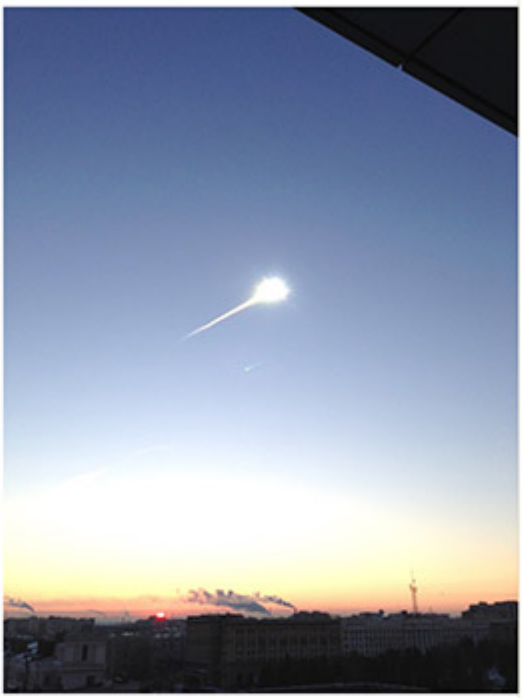


Figura 2
Superbólido observado al amanecer del 15 de febrero de 2013 en la región de Chelyabinsk, en Rusia. La explosión fue más brillante que el Sol y algunas personas incluso reportaron quemaduras por exposición a la luz del bólido. La foto fue enviada personalmente al autor en 2013 por un testigo en la ciudad de Chelyabinsk que la registró con la cámara de un teléfono celular.
Foto: Evgeny Andreev

Déjeme explicárselo con una historia (el diagrama de la Figura 1 también puede ser de mucha ayuda). A principios del año 2013 una roca de 19 metros de diámetro orbitaba el Sol (un asteroide según la definición anterior). El asteroide, que era desconocido por el hombre en ese momento, vagaba por el Sistema Solar en una órbita ovalada que cruzaba la trayectoria de la Tierra cada dos años y cuatro meses. (2, 3) El 15 febrero de 2013 el asteroide tuvo la mala suerte de pasar por el mismo punto del espacio por el que se encontraba la Tierra y fue "atropellado" por ella; como resultado, en la región de Chelyabinsk, en Rusia, fueron testigos de un gran superbólido. (Figura 2)

En el preciso instante en el que el asteroide protagonista de nuestra historia entró a la atmósfera, pasó de ser un asteroide a un meteoroide sin importar el tamaño que tenía originalmente. Así es como hoy nos referimos al meteoroide de Chelyabinsk y no al asteroide 2013 CB (su designación provisional si hubiera sido, por ejemplo, el primer asteroide descubierto en la segunda quincena de febrero de ese año). Ese mismo día, una roca de 30 metros de diámetro pasó cerca de la Tierra en una coincidencia histórica con el impacto en Chelyabinsk. Como la roca no impactó la atmósfera y tiene más de un metro, hoy se lo llama el asteroide 2012 DA14.

¿Dónde me deja ahora a los meteoritos? No podemos dejar de definir el que es posiblemente el término más famoso (y mal utilizado también) en esta área de la astronomía. La mayoría usamos la palabra meteorito para referirnos a cualquier roca extraterrestre: "el meteorito que cayó en Chelyabinsk", "el meteorito que extinguió a los dinosaurios", "¿dónde venden meteoritos?", "la NASA planea visitar un meteorito". Valga la oportunidad para mencionar que casi todos los usos de la palabra meteorito en los ejemplos anteriores están equivocados.

Según la comisión F1 de la IAU, un meteorito es un cuerpo sólido mayor de un milímetro que se encuentre en la superficie de un planeta con atmósfera y que haya sobrevivido a la fase de meteoro o bólido. No hay meteoritos orbitando el Sol y ninguno de ellos extinguió a los dinosaurios. Los únicos meteoritos que existen están exhibidos en museos o colecciones privadas y son los restos de meteoroides. Con esta definición podemos finalmente describir la vida de una roca espacial así (Figura 1): un asteroide (o meteoroide si es menor a un metro) choca contra la atmósfera de la Tierra. En caso de ser un asteroide se convierte automáticamente por definición en un meteoroide, que produce un fenómeno luminoso que llamamos meteoro, bólido o superbólido. Si tiene suerte, todo el meteoroide o partes de él terminan cayendo a la tierra en la forma de uno o muchos meteoritos.

El meteoroide del apocalipsis

Es imposible hablar de asteroides o meteoroides sin mencionar el riesgo que corre nuestro agobiado y sobrepoblado planeta que, al ser golpeado por uno de estos cuerpos, se produzca un desastre natural. ¿Qué es lo último que sabemos sobre este catastrófico tema? Décadas de observación e investigación cuidadosa de los asteroides allá afuera y de los impactos de meteoroides que hemos observado en los últimos 20 años desde la Tierra y el espacio (incluyendo naturalmente el de Chelyabinsk) han permitido recientemente actualizar lo que sabíamos acerca de la frecuencia con la que se producen estos impactos.

La conclusión es clara: nuestro planeta es golpeado con más frecuencia de lo que creíamos. Algunos de esos impactos pueden infringir daños desde moderados hasta muy graves a nuestra frágil civilización. Se estima que al menos 100 impactos de meteoroides de aproximadamente un metro de diámetro y con la capacidad de liberar en la atmósfera energías cercanas a las de una pequeña bomba atómica (cerca de 10 kilotones) se producen cada año en todo el planeta. (Figura 3) Por suerte, la superficie de la Tierra está cubierta casi en su totalidad por océanos y desiertos de arena y hielo bastante despoblados (¡aunque no por mucho tiempo!); de lo contrario, la historia sería muy distinta.

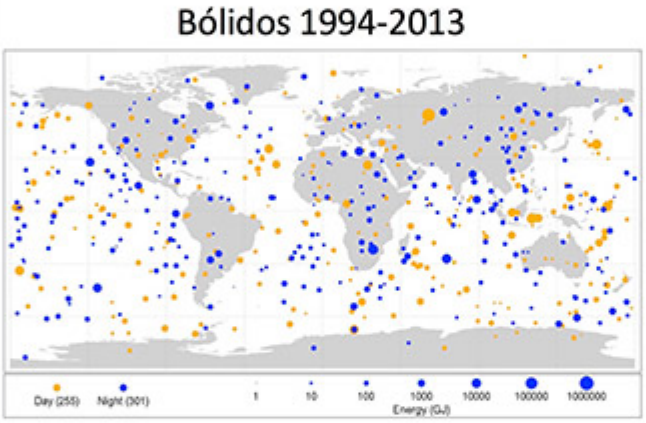


Figura 3
Bólidos observados desde el espacio entre los años 1994 y 2013. Los puntos amarillos corresponden a eventos que se produjeron durante el día; los azules, aquellos que se observaron en la noche. El tamaño es proporcional a la energía del evento (medida aquí en gigajulios, donde 1 kiloton equivale aproximadamente a 4.000 gigajulios). Adaptado de: Brown et al. (2013).

Más preocupante todavía es el hecho de que impactos mayores, producidos por meteoroides, con algunas decenas de metros y energías comparables a las más grandes bombas nucleares (varios megatones), se pueden producir hasta 10 veces más frecuentemente de lo que pensábamos hace 10 años. (4) (Figura 4) Se calcula que, en promedio, podría haber un impacto de un megatón cada 12 años (5) (el de Chelyabinsk fue de 0,4 Mtones y produjo miles de heridos y millones en pérdidas materiales). ¿Debemos preocuparnos? ¡Por supuesto! Si bien no estamos hablando de impactos capaces de producir un desastre natural de escala global, como aquel que se cree dio el puntillazo final para la extinción de casi tres cuartas partes de la flora y la fauna a finales del Cretácico, incluyendo los dinosaurios, pequeños impactos podrían hacer un daño no despreciable.

Con una civilización que se reproduce exponencialmente, que ocupa una superficie cada vez mayor y que depende de tecnologías relativamente frágiles en términos astronómicos (satélites, cables submarinos, barcos, puentes y edificios), debemos al menos estar alertas. Nuestra civilización planetaria ya no solo debe preocuparse por predecir el clima, la trayectoria de huracanes y tornados o por registrar terremotos y tsunamis, es tiempo también de que empiece a mirar sistemáticamente el cielo en busca de estas amenazas.

¿Están todos los lugares de la Tierra igual de expuestos al impacto de un meteoroide? Usando una técnica desarrollada por nuestro grupo de investigación (el Solar Earth and Planetary Physics Group de la Universidad de Antioquia) y que fue aplicada para investigar el impacto del meteoroide de Chelyabinsk en 2013, estamos poniendo a prueba la hipótesis de que en cada momento no toda la Tierra está igual de expuesta a los impactos. La idea fue inspirada en el hecho de que los dos más grandes eventos de impacto de los que hemos sido testigos en los últimos 100 años se produjeron a menos de 3.000 km de distancia uno del otro. ¿Una casualidad? ¡Estamos trabajando en ello! Por ahora hemos

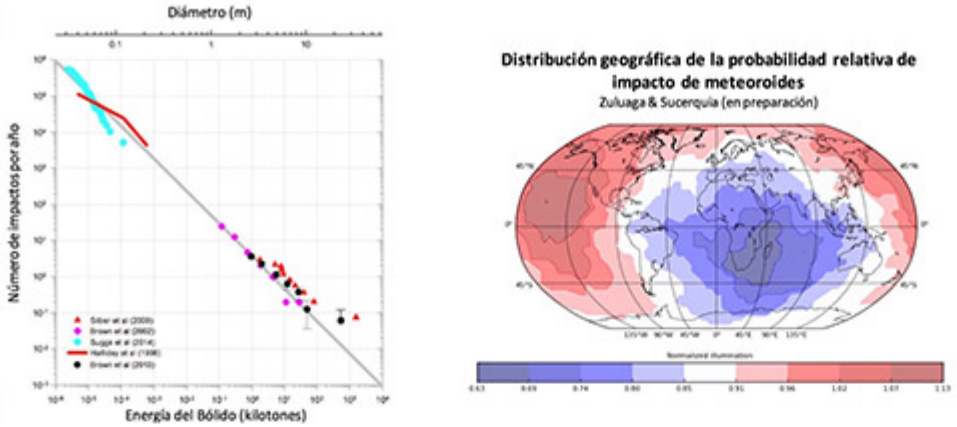


Figura 4
Primer panel: Frecuencia acumulada de impactos en función de la energía (tamaño) del meteoroide, actualizada con los datos más recientes de las redes de monitoreo de meteoros y el impacto en Chelyabinsk. Adaptado de: Boslough et al. (2015). **Segundo panel:** Distribución geográfica de la probabilidad de impacto de meteoroides el 15 de febrero de 2013 a las 3:20, tiempo Universal (hora del impacto en Chelyabinks). Las regiones rojas corresponden a lugares del planeta con mayor probabilidad de impacto; las blancas, con probabilidad intermedia. La probabilidad fue calculada con un novedoso método desarrollado en la Universidad de Antioquia y que fue presentado en Meteoroids 2016. Fuente: Zuluaga & Sucerquia (en preparación).

encontrado que si se asume que la distribución de velocidades de impacto es la misma, independiente de la dirección del cielo de la que provenga el meteoroide, en cada momento un hemisferio de la Tierra (Figura 4) podría tener dos veces más probabilidad de ser impactado que el hemisferio contrario. ¡No querrás estar en el hemisferio incorrecto! Los resultados son todavía preliminares pero han demostrado la validez del método que ideamos para poner a prueba esta idea.

Como lo demuestra este esfuerzo, Colombia no debe estar al margen de los esfuerzos de toda la humanidad para estudiar los asteroides que vagan en las vecindades de la Tierra (llamados NEAs, de Near Earth Asteroids, por sus siglas en inglés). Nuestro país debería también ocuparse de estudiar las decenas de meteoroides de tamaño moderado que ingresan cada año tan solo sobre la atmósfera de nuestro país. Estamos en un lugar privilegiado de la Tierra, tenemos altas montañas y acceso a los dos hemisferios celestes. En ese sentido y desde hace ya 6 años, la Universidad de Antioquia viene gestionando con la gobernación del Huila la creación de un observatorio profesional en el desierto de la Tatacoa (no es el sitio más alto, pero sí el que ofrece las mejores condiciones de accesibilidad). Este observatorio tendría, entre otros objetivos científicos, hacer seguimiento de NEAs y, por qué no, descubrir nuevos cuerpos potencialmente peligrosos.

Así mismo, con un área de casi el 1% del área continental de la Tierra, Colombia debe trabajar en la instalación de una red nacional de monitoreo de meteoros como las que existen ya en España, Francia, Estados Unidos, Canadá o Australia. (6) Actualmente, en la Universidad de Antioquia hemos iniciado conversaciones con los gestores de la red francesa para la instalación de un mínimo de 10 cámaras de cielo completo en todo el territorio nacional que se conviertan en la base de una red que se extienda por todo el país. Una red como esta permitiría estudiar desde eventos pequeños hasta los grandes bólidos que se han observado en años recientes y que no pasaron de ser más que curiosidades en redes sociales. (Figura 5)

¿Y dónde me deja el apocalipsis? Si bien no estamos exentos de ser impactados por cuerpos de varios kilómetros de diámetro, capaces de infringir daños globales e incluso acelerar la extinción de miles de especies (incluyéndonos), también es cierto que casi la totalidad de objetos de estos tamaños han sido catalogados y estudiados ya. A la fecha se conoce la ubicación y trayectoria del 90% de los asteroides más grandes que 1 km que pueden aproximarse peligrosamente a la Tierra. Ninguno de ellos va a chocar con nuestro planeta en las próximas décadas, si bien un par podrían aproximarse a distancias menores que las de la Luna en el mismo lapso.

Figura 5
Fotografía del bólido observado a plena luz del día en el departamento de Santander, Colombia, el 5 de septiembre de 2010. Este que fue uno de los eventos de impacto más importantes observados en tiempos recientes en Colombia que no paso de ser una curiosidad en redes sociales. De allí la necesidad de instalar una red de observación en el país.

¿Podemos entonces descansar y dedicarnos a otros asuntos más urgentes? ¡Para nada! Como ya expliqué, no hace falta el impacto de un objeto grande para producir, por ejemplo, la caída de las principales bolsas de valores en el mundo (en caso, por ejemplo, de que se produzca en una ciudad importante) o cause miles y hasta millones de fatalidades.

El lado amable

No parece haber entonces un apocalipsis asteroidal en ciernes. Pueden haber impactos pequeños cuyo efecto se pueda minimizar con preparación e información.

Pero hay un lado positivo del impacto de meteoroides, un aspecto que podría ofrecer inesperadas ventajas para la vida de la Tierra o en otros lugares en el Sistema Solar. Experimentos y trabajos teóricos han determinado que esporas bacterianas o fragmentos químicos relativamente complejos, podrían sobrevivir al impacto de un cuerpo relativamente grande contra nuestro planeta. Ese material orgánico o biológico podría quedar atrapado en fragmentos de roca que saldrían despedidos desde el lugar del impacto. Un fragmento, convertido ahora en un meteoroide, después de vagar miles o millones de años, podría terminar ingresando en la atmósfera de Marte o cayendo libremente en la superficie de las lunas de Júpiter y Saturno. Con su carga química o biológica a bordo, el meteoroide terrestre actuaría como una especie de "arca de Noe microbiana" o una improvisada nave espacial mineral, llevando la vida a lugares en los que posiblemente no habría surgido espontáneamente.

Es interesante anotar que en las nuevas definiciones introducidas por la comisión F1 de la IAU, si no hay meteoro en la caída de un meteoroide o asteroide, que es el caso de lunas o planetas sin atmósfera (p.e., las lunas Europa de Júpiter o Endéladus de Saturno) el fragmento no recibe el nombre de meteorito y conservaría la denominación de meteoroide o asteroide (dependiendo del tamaño).

Si esto le parece muy traído de los cabellos o propio solo de la ciencia ficción, tome nota de este cálculo realizado por astrónomos de la Universidad de Pensilvania. (7) Se calcula que de la incontable cantidad de fragmentos de roca que proyectó al espacio interplanetario el impacto en Yucatán de hace 65 millones de años, unos pocos se habrían convertido en naves interplanetarias improvisadas que habrían llovido en la superficie tan solo de la luna Europa. Frente a una realidad como esta, los esfuerzos ingentes que realizan las agencias espaciales para evitar que naves robóticas choquen contra esas lunas heladas, llevando a bordo polizones biológicos que pueden contaminar estos prístinos ambientes, parece un verdadero chiste. Impactos naturales podrían haber llevado "contaminantes" biológicos a lo largo de los últimos 4.000 millones de años desde la Tierra a casi todos los lugares del sistema solar.

Este es el caso, por ejemplo, de la sonda Juno que se parqueó en órbita alrededor de Júpiter el 4 de julio de 2016. La sonda orbitará el planeta por más de 20 meses al cabo de los cuales los diseñadores de la misión deberán lanzarla sobre las nubes del planeta antes de que sus instrumentos fallen completamente y termine precipitándose accidentalmente sobre Europa u otra de las lunas heladas de Júpiter, contaminándola.

La posibilidad más interesante, sin embargo, se daría al contrario. La vida de la Tierra podría haber evolucionado a partir del insumo inicial que meteoroides conteniendo una carga química e incluso una carga biológica extraterrestre provenientes de otros rincones del sistema solar primitivo, o incluso de otros sistemas estelares, habrían traído a nuestro planeta deshabitado. En ese sentido todos seríamos de alguna manera descendientes de organismos extraterrestres.

Este es el caso, por ejemplo de la sonda, Juno que se parqueó en órbita alrededor de Júpiter el 4 de julio de 2016. La sonda orbitará el planeta por más de 20 meses al cabo de los cuales los diseñadores de la misión deberán lanzarla sobre las nubes del planeta antes de que sus instrumentos fallen completamente y termine precipitándose accidentalmente sobre Europa u otra de las lunas heladas de Júpiter, contaminándola.

Este es el caso, por ejemplo, de la sonda Juno que se parqueó en órbita alrededor de Júpiter el 4 de julio de 2016. La sonda orbitará el planeta por más de 20 meses al cabo de los cuales los diseñadores de la misión deberán lanzarla sobre las nubes del planeta antes de que sus instrumentos fallen completamente y termine precipitándose accidentalmente sobre Europa u otra de las lunas heladas de Júpiter, contaminándola.

REFERENCIAS

(1). Borovicka, J. About the definition of meteoroid, asteroid, and related terms, the Journal of the IMO 44:2 (2016).

(2). Zuluaga, Jorge I., Ignacio Ferrin, and Stefan Geens. "The orbit of the Chelyabinsk event impactor as reconstructed from amateur and public footage." *arXiv preprint arXiv:1303.1796* (2013).

(3). Zuluaga, Jorge I., and Ignacio Ferrin. "A preliminary reconstruction of the orbit of the Chelyabinsk Meteoroid." *arXiv preprint arXiv:1302.5377* (2013).

(4). Brown, P. G., Assink, J. D., Astiz, L., Blaauw, R., Boslough, M. B., Borovi ka, J., ... & Cooke, W. D. (2013). A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors. *Nature*, 503(7475), 238-241.

(5). Boslough, Mark, Peter Brown, and Alan Harris. "Updated population and risk assessment for airbursts from near-Earth objects (NEOs)." 2015 IEEE *Aerospace Conference*. IEEE, 2015.

(6). Watson, T. (2016). France launches massive meteor-spotting network. Nature,534, 304-305.

(7). Worth, R. J., Sigurdsson, S., & House, C. H. (2013). Seeding life on the moons of the outer planets via lithopanspermia. *Astrobiology*, 13(12), 1155-1165.

CIBERGRAFÍA

(1). JPL. JPL Small-Body Database Browser: (2008 TS26). http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi. Consultado el primero de Julio de 2016.

(2). IAU. Sitio web de la Comisión F1 de la Unión Astronómica Internacional. (2016), https://www.iau.org/science/scientific_bodies/commissions/F1. Consultado el primero de Julio de 2016.

(3). Wikipedia. Provisional designation in astronomy (2016).

(4). https://en.wikipedia.org/wiki/Provisional_designation_in_astronomy. Consultado el primero de Julio de 2016.

ASTRONOMÍA PARA EL DESARROLLO

Germán Chaparro Molano
Profesor titular, Universidad ECCI
gchaparrom@ecci.edu.co
Twitter: @germanchou

Resumen

La astronomía es una de las ciencias más conocidas por el público gracias a su enorme impacto visual; sin embargo, a pesar de su huella significativa en el desarrollo de la humanidad, en los últimos años la Unión Astronómica Internacional ha fomentado el re-pensar las prácticas de investigación, educación y divulgación de manera que tengan la mayor acogida posible en la sociedad, siendo la Oficina de Astronomía para el Desarrollo una de las iniciativas más importantes para alcanzar este objetivo. En el presente artículo explico las motivaciones detrás de esta tendencia mundial y hablo del rol de la creciente comunidad astronómica colombiana y su meta de convertir a la astronomía en un motor para el desarrollo.

Puede sonar extraño y hasta complaciente pensar que la astronomía, que para muchos es el estudio de lo lejano, pueda ir de la mano con el desarrollo. Esta palabra nos hace pensar en cosas que a veces parecen estar fuera del alcance de la economía de nuestro país: cobertura universal en servicios públicos, infraestructura, educación para todos, en fin. ¿Cómo puede la astronomía echarse a cuestas algo tan ambicioso como lo es "el desarrollo"?

El instrumento que la Unión Astronómica Internacional (IAU, por sus siglas en inglés) diseñó para impactar el desarrollo a través de la ciencia es la Oficina de Astronomía para el Desarrollo (OAD), ubicada en Sudáfrica y apoyada por oficinas regionales alrededor del mundo, una de las cuales funciona en los países de la Región Andina (Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela). La OAD nació por iniciativa de George Miley, un profesor de la Universidad de Leiden, quien durante su vicepresidencia de la IAU formuló un plan 2010-2020 para estimular el impacto de la astronomía en el desarrollo global a través de dimensiones como la tecnología, la educación, la economía, el arte, la cultura, etc. Este año, el director de la OAD, el Dr. Kevin Govender, recibió junto con la IAU la medalla de Edimburgo por su enorme impacto en la ciencia y la sociedad. (1) (Foto 1)

Foto 1
Silvia Torres-Peimbert, presidenta de la Unión Astronómica Internacional, el alcalde de Edimburgo y Kevin Govender, director de la Oficina de Astronomía para el Desarrollo, en la ceremonia de entraga de la Medalla de Edimburgo en marzo de este año. https://www.iau.org/public/images/detail/edinburgh_medal_posing/

El plan estratégico para el funcionamiento de la OAD se basa en tres ejes que se deben apoyar mutuamente: investigación y educación en universidades, educación en escuelas/colegios y comunicación de la astronomía con el público. El trabajo en cada uno de ellos, conocidos como task forces (fuerzas de trabajo), es justificado a través de una profunda reflexión al interior de la comunidad astronómica profesional. A continuación se plasma parte de esta reflexión para que entusiastas de la ciencia conozcan el rol que la astronomía está tomando en la Región Andina y en el mundo, invitando de paso a colegas científicos en nuestro país a replicarla en sus respectivos campos.

El plan estratégico para el funcionamiento de la OAD se basa en tres ejes que se deben apoyar mutuamente: investigación y educación en universidades, educación en escuelas/colegios y comunicación de la astronomía con el público.

La ciencia en la sociedad

A medida que los presupuestos para el desarrollo de la ciencia en todo el mundo han tendido a la baja gracias a las múltiples recesiones que los países han sufrido en los últimos 30 a 40 años, científicos de todo el mundo han empezado a tratar de medir cada vez mejor el impacto de la ciencia sobre el mundo. Desde luego, la mayoría de científicos, especialmente aquellos que se encuentran alejados de las llamadas "ciencias aplicadas", andan por la vida diciendo que la labor científica se hace por "amor al arte"; gracias a eso y a que los salarios de los investigadores son de magnitud más baja que los de cualquier CEO, se han convencido a ellos mismos de que "no lo hacen por el dinero". Pero, ¿es esa razón suficiente para pedir a contribuyentes y gobiernos que financien colosales telescopios o tremebundos colisionadores de partículas? ¿Deben las sociedades financiar la ciencia (y a los científicos) simplemente por razones estéticas? Si al país no le sobra la plata, ¿para qué invertirla en ciencia?

Comunicación de la ciencia

Como científicos, el primer paso para responder esta pregunta con seguridad es sacar la cabeza de la tierra y darnos cuenta del impacto directo e indirecto de la ciencia en la sociedad. Afortunadamente, ver la influencia indirecta no requiere mucho trabajo adicional, los ejemplos abundan especialmente en astronomía: las cámaras digitales modernas, los GPS, los detectores de rayos X en los aeropuertos, el Wi-Fi, software para imágenes médicas, protocolos para trabajo en cuartos limpios (2) e instrumentos para encontrar personas sepultadas por derrumbes (3) han surgido a partir de requerimientos hechos por científicos para lograr nuevos descubrimientos.

Esta no es una historia nueva. Luego de que Galileo usara el telescopio para observar los cielos en el siglo XVII, el gremio de fabricantes de lentes en Europa sintió la compulsión de desarrollar piezas con cada vez mejor resolución y menor aberración, mejorando las vidas de millones de personas con dificultades visuales. La ciencia claramente ha sido uno de los grandes motores de la innovación en el mundo; sin este empuje mutuo entre ciencia e ingeniería, el desarrollo tecnológico de la humanidad sería mucho más lento.

Sin embargo, se observa que muchas personas (sean o no entusiastas de la astronomía) no conocen su rol en el desarrollo de las aplicaciones mencionadas. Esto evidencia que, como científicos, estamos fallando en comunicar el impacto de la ciencia al público. Si se quiere que la sociedad vea el rol de la ciencia en el desarrollo tecnológico, es necesario que los científicos también seamos comunicadores de la ciencia.

La transversalidad de la investigación científica

El segundo paso para responder la pregunta "¿y la ciencia para qué?" requiere más trabajo que el paso anterior: es necesario ampliar el impacto directo de la labor científica. Para esto se tiene que cambiar la narrativa del científico solitario y antisocial que busca respuestas a preguntas arcanas encerrado en su torre de marfil. En realidad, la ciencia es una labor absolutamente social que, además, es transversal a una gran cantidad de áreas del conocimiento.

La mayoría de grandes proyectos científicos en la actualidad funcionan siguiendo esta filosofía. Iniciativas como el gran colisionador de hadrones, el arreglo milimétrico/submilimétrico de Atacama, el telescopio extremadamente grande del Observatorio Europeo Austral, etc. requieren tanto desarrollo tecnológico y tanta labor práctica que sólo una minoría entre los que trabajan en ellos tienen labores estrictamente académicas. De eso me di cuenta durante mi doctorado en la Universidad de Groningen. En ese entonces se estaba llevando a cabo la primera fase del proyecto LOFAR, un arreglo de radio-antenas de bajo costo que cubre gran parte de la superficie de los Países Bajos, diseñadas para medir ecos de la llamada "Época de Reionización" del universo, cuando comenzaron a brillar las primeras estrellas unos 400 millones de años después del Big Bang. Por cada astrónomo profesional trabajando en el proyecto había 10 estudiantes de doctorado, de los cuales casi todos tenían formación en Ciencias de la Computación, Ingeniería de Telecomunicaciones e Ingeniería Electrónica; adicionalmente, el grueso de personas que trabajan allí en áreas menos académicas son en su mayoría ingenieros y científicos de datos.

En LOFAR, cada estación de antenas fue construida con una pequeña estación meteorológica. Sin usar mucho más ancho de banda, los datos de astronomía son transmitidos junto con los meteorológicos a un enorme centro de cómputo que queda al otro lado del lago artificial del Kapteyn Astronomical

Institute en Groningen. De esta manera se creó una red de estaciones meteorológicas junto al arreglo radio-astronómico que, sin un costo adicional excesivo, permite la medición en tiempo real de variables meteorológicas, cuestión de suma importancia para un país con una agro-industria importante como los Países Bajos. (4) (Foto 2)

Foto 2
Izquierda: Una de las 20.000 antenas del arreglo LOFAR.
Derecha: El edificio Zernike, que alberga el supercomputador que analiza los datos del arreglo LOFAR. https://en.wikipedia.org/wiki/LOFAR

La lección es que se deben enfocar los proyectos científicos de manera que requieran la mayor diversidad de disciplinas posibles. Al tener participación de varias áreas del conocimiento, el impacto directo generado por grandes iniciativas de investigación se hará evidente en creación de empleos, desarrollo tecnológico y educación superior.

Ciencia y educación

Hay un tercer paso importante que se debe dar para responder con contundencia: "Sí, nuestra sociedad necesita ciencia". Se da al reconocer que nuestra labor investigativa debe estar acompañada de un sentido de responsabilidad social. ¿Cómo devolver a la sociedad el apoyo que le pido para poder investigar? Es en escenarios como colegios y escuelas donde se puede lograr, en palabras de mi colega Jaime Forero, una transformación de la realidad. Como científicos, es importante que nos involucremos en proyectos que tengan un impacto en la manera como nuestros niños se están educando a través del alfabetismo científico, especialmente aprovechando el atractivo natural que ciencias como la astronomía tienen ante el público.

Astronomía para el desarrollo en la Región Andina

Uno de los pilares de la OAD es la creación de capacidades en distintas regiones del mundo. Por esta razón, el año pasado se creó la Oficina Regional Andina de la OAD, encabezada por el profesor Jaime Forero (Uniandes, Colombia) y apoyado por los coordinadores de las distintas fuerzas de trabajo: Germán Chaparro (Universidad ECCI, Colombia) en Investigación y Educación en universidades; Ángela Pérez (Parque Explora, Colombia), en Educación en escuelas; y Farid Char (U. de Antofagasta, Chile), en Divulgación de astronomía para el público. La participación de Chile es como país acompañante, teniendo en cuenta que cuentan con la estructura astronómica más avanzada del mundo.

Hasta el momento se han desarrollado dos líneas de investigación en la Oficina Regional Andina de la OAD que abarcan colaboraciones internacionales. La línea de Astropartículas es coordinada en nuestro país por el profesor Luis Núñez y participan la Universidad Industrial de Santander (UIS), la Universidad

de Nariño y la Escuela Politécnica Nacional (Ecuador);se maneja dentro del proyecto internacional Pierre Auger Observatory. La otra línea de investigación es en Radioastronomía, coordinada por el profesor Oscar Restrepo. Participan la Universidad ECCI, la Universidad Tecnológica de Pereira, la Universidad de Chile y el Instituto Geofísico del Perú. En cuanto a educación profesional en astronomía en nuestro país, el profesor Jorge Zuluaga, de la Universidad de Antioquia, ha sido el gestor del único programa de pregrado y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, ofrece el único programa de maestría. La Universidad de los Andes y la Universidad Industrial de Santander también ofrecen postgrados en Física con énfasis en Astronomía. La Oficina Andina organiza cada dos años un encuentro llamado "Workshop de Astronomía en los Andes", en el que participantes de los tres ejes comparten sus experiencias y definen planes de trabajo conjunto para los siguientes dos años. El próximo será en el 2017, en el Perú.

Cada año (de julio a septiembre), la OAD hace una convocatoria abierta (5) en la que se financian proyectos relacionados con investigación, educación y divulgación de la astronomía que muestren un impacto en alguna de las 17 metas de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas. (6) (Foto 3)

Foto 3
El proyecto de educación en colegios Galileo Mobile (7) ha sido financiado por la OAD. En Colombia, fue co-financiado por la Secretaría de Educación de Bogotá, IDARTES, la U. Sergio Arboleda y el Parque Explora. (Fuente: G. Chaparro)

Los grandes avances de la humanidad ocurren cuando nos aventurarnos hacia lo desconocido, cuando se quiere hacer lo que nadie más ha hecho, no cuando repetimos lo viejo y nos estancamos. La idea de Astronomía para el desarrollo es lograr un impacto global dentro de nuestra labor científica para que nuestra sociedad sea cada vez más científica, más crítica, y más educada. La idea no es que todos los niños sean científicos cuando crezcan sino que, al experimentar la ciencia, desarrollen habilidades en pensamiento crítico, abstracción, lógica. Cuando crezcan, serán ciudadanos conscientes, informados, que verán en sí mismos la capacidad de transformar su realidad.

REFERENCIAS

(1). Prestigious Edinburgh Medal awarded for 'Astronomy for Development', Comunicado de Prensa en http://www.universiteitleiden.nl/en/news/2016/03/prestigious-edinburgh-medal-awarded-for-'astronomy-for-development'

(2). Rosenberg, M. et al. Astronomy in Everyday Life, CAPjournal, Enero 2014, 14:30-35 http://www.capjournal.org/issues/14/14_30.pdf

(3). Landau, E. FINDER Search and Rescue Technology Helped Save Lives in Nepal, NASA's Jet Propulsion Laboratory. Disponible en https://www.nasa.gov/jpl/finder-search-and-rescue-technology-helped-save-lives-in-nepal

(4). Fighting Phytophtora using micro-climate, LOFAR. Comunicado de prensa. Disponible en http://www.lofar.org/agriculture/fighting-phytophtora-using-micro-climate/fighting-phytophtora-using-micro-climate

(5). Office of Astronomy for Development. Disponible en http://www.astro4dev.org/aboutiauoad/cfp/

(6). United Nations Sustainable Development Goals. Disponible en http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/

(7). Galileo Mobile. Disponible en http://www.galileo-mobile.org

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

OFERTA ACADÉMICA
DIPLOMADOS 2016

ACAC ofrece un diseño académico, cuyo objetivo es brindar herramientas para fortalecer el desarrollo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación en cualquier área del conocimiento, **a través de los siguientes diplomados:**

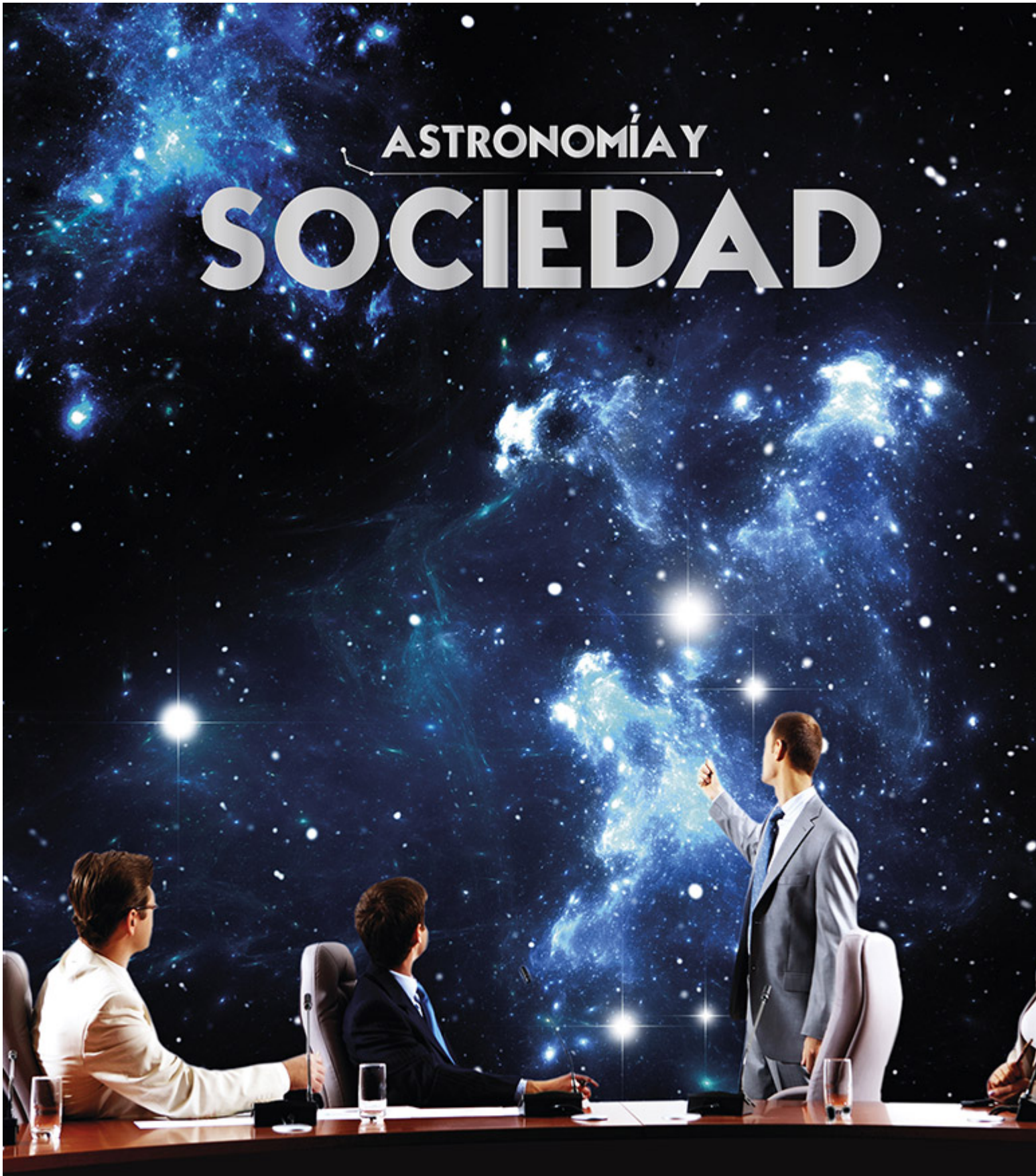
- Formulación de proyectos de investigación
- Escritura de artículos científicos y tecnológicos
- Gestión de proyectos de investigación en CTeI
- Propiedad intelectual para investigadores
- Legislación de ciencia y tecnología
- Comunicación de las ciencias
- Pruebas científicas en procesos judiciales
- Gestión y ejecución de recursos de regalías para CTeI
- Formación e investigación
- Georreferenciación aplicada a la investigación
- Biotecnología para profesores de ciencias de educación básica y media
- Agricultura limpia
- Gestión de la innovación

INFORMES

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acac@acac.org.co

Página web: www.acac.org.co

ASTRONOMÍA Y SOCIEDAD



Germán Puerta Restrepo
Divulgador científico, coordinador de contenidos del Planetario Distrital de Bogotá
gpuerta@astropuerta.com.co

Resumen

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

Francisco José de Caldas y Tenorio, 1808

La astronomía es esencial en la sociedad como se prueba por sus beneficios tangibles e intangibles. Sin embargo, su aspecto más importante, más allá de su rentabilidad medible, es su capacidad para introducir a los niños y jóvenes a la ciencia. Sin embargo, en Colombia el desarrollo de la infraestructura para la divulgación científica es muy limitada y se requiere del Estado de una política pública que incluya en forma decisiva procesos que promuevan el desarrollo de los proyectos destinados a la apropiación social de la ciencia.

Vivimos en una maravillosa era de descubrimientos: el hombre en la Luna, las misiones que exploran los planetas del Sistema Solar, los grandes telescopios y radiotelescopios, varios de ellos en el espacio, los exoplanetas. Los astrónomos siempre han pensado que la importancia de su trabajo es evidente para la sociedad, pero en estos tiempos de austeridad conseguir dinero para proyectos que a simple vista no parecen tan rentables implica resaltar con fuerza los beneficios tangibles e intangibles de la investigación y la divulgación científica (1).

La astronomía es una parte importante de la sociedad, como lo sabemos por su influencia en el desarrollo del mundo que habitamos. A lo largo de la historia la observación del cielo sirvió para idear una de las creaciones intelectuales más antiguas: los calendarios. Así, la decisión de plantar, el pronóstico de las estaciones y la estrecha relación entre eventos celestes y terrestres, le otorgaron a los observadores del cielo un estatus especial. Los viajes y la navegación también fueron posibles con la ayuda de las estrellas. Y la contemplación del vasto universo nos llevó a preguntarnos de dónde venimos y qué es todo eso que está ahí afuera (2).

En el proceso de tratar de comprender nuestro lugar en el cosmos, la astronomía ha sido la piedra angular del progreso tecnológico, el cálculo matemático, el avance del racionalismo y el desarrollo del método científico. Ahora sabemos que los elementos básicos que encontramos en las estrellas y las nebulosas son los mismos de los cuales están hechos nuestros cuerpos. Y además podemos afirmar que hay más estrellas y planetas allá arriba que los granos de arena de todas las playas del mundo, lo que nos permite sospechar que hay alguien más en alguna parte.

Interrogarnos sobre estos asuntos es parte fundamental de lo que define al ser humano. Este es el beneficio intangible. En la búsqueda de respuestas, el desarrollo tecnológico derivado de la astronomía ha sido responsable de moldear buena parte de lo que hoy disfrutamos como sociedad moderna: computadores personales, satélites de comunicación, GPS, telefonía celular, paneles solares, scanners y mil cosas más muy tangibles y rentables (3). La era del Espacio que nos trajo los satélites de comunicaciones y del clima, y de los cuales dependemos cada día más, habría sido imposible sin el conocimiento fundamental de la gravedad y de las órbitas descubierto por los astrónomos (4).

Sin embargo, tal vez el aspecto más importante de la astronomía, más allá de su rentabilidad económica medible, es su naturaleza inspiracional que la convierte en el vehículo perfecto para introducir a los niños y jóvenes a la ciencia. Es un hecho probado que la enseñanza de la astronomía es de gran valor y que los estudiantes que participan en actividades de educación relacionadas con ella en una escuela primaria o secundaria son más propensos a seguir carreras en ciencia y tecnología, lo que alimentará los futuros descubrimientos científicos. Muchos de los líderes científicos actuales reconocen que lo son porque en su niñez vieron el cielo o fueron a un planetario (5), y pronto aprendieron que la astronomía comprende un rango muy amplio de las ciencias físicas, incluyendo matemáticas, física, química, geología, biología, ingeniería y sistemas. Muchos científicos profesionales en estos y en otros campos se interesaron inicialmente en su profesión a través de la astronomía.

La astronomía ha sido la piedra angular del progreso tecnológico, el cálculo matemático, el avance del racionalismo y el desarrollo del método científico.

Además, como la ciencia que provee el conocimiento de nuestro lugar y el de nuestro planeta en el Universo, la astronomía es una parte esencial de la cultura general. Una persona ignorante de las bases generales del saber astronómico está tan retrasada culturalmente como si nunca hubiera aprendido nada de historia, literatura, música o arte. (4)

La astronomía en Colombia

Sorprende entonces que estos conceptos tan evidentes parecieran haber estado ausentes en Colombia en el diseño de los recientes, y también de anteriores, programas de ciencia y tecnología. Y esto se debe esencialmente a que los políticos y algunos técnicos ignoran la importancia de la divulgación científica entre la población. (6) Desarrollo científico significa no sólo el volumen de recursos que se aportan a la investigación, la promoción de becas y doctorados o el equipamento, sino también la calidad de la educación, el fomento de las vocaciones científicas y el apoyo a la divulgación de las ciencias. (7)

El clamor regional por nueva infraestructura de divulgación científica -planetarios, museos de ciencia, parques interactivos, etc.- exige una política pública de ciencia y tecnología que incluya en forma decisiva los procesos que promuevan el cambio de la actitud de la gente hacia la ciencia. Innovar no es comprar o adaptar el producto o invento novedoso. Es un proceso de creación que debe

incorporarse a la formación desde los primeros años, esencial para aumentar las posibilidades futuras de mejorar las condiciones de vida personales.

En Japón hay 200 planetarios y en Colombia apenas cinco de algún tamaño, incluidos dos grandes, el Planetario de Bogotá (1969) (Figura 1) y el Planetario de Medellín (1977) al igual que algunos museos interactivos. ¿Y el resto del país? Las regiones no pueden quedar condenadas de por vida a la ignorancia científica. Estimular el conocimiento científico es un objetivo en sí mismo: una ciudadanía informada es vital para la democracia. Esto también se conoce como "apropiación social de la ciencia". Si no se desea que queden por fuera de la sociedad moderna grandes sectores de la población colombiana en la educación básica formal y no formal en ciencias, los poderes públicos deberían entonces ser conscientes de sus decisiones y de su responsabilidad en lo que concierne a la distribución social de los conocimientos científicos.

Estimular el conocimiento científico es un objetivo en sí mismo: una ciudadanía informada es vital para la democracia.

Figura 1
Los planetarios son lugares ideales para que el público cambie su actitud hacia la ciencia.
Foto: Andrés Kal.

Perspectiva

Hace 20 años se hicieron recomendaciones específicas en metas de inversión para ciencia y tecnología como porcentaje del PIB, pero hoy estamos apenas algo por encima del 0,6 por ciento. (8). Sorprende este resultado pues Colombia es tierra fértil para la ciencia y para la astronomía. Desde Francisco José de Caldas y el primer observatorio de América, hasta la astronomía de pregrado en Medellín y de maestría en Bogotá, la ciencia avanza a pesar de las dificultades, y son numerosos los nacionales que pueblan universidades y centros de investigación en el exterior. Además, en el área de la astronomía recreativa y aficionada, Colombia es reconocida como una potencia, con numerosos grupos y clubes que se reúnen para su estudio, jornadas de observación y festivales de astronomía, donde se practica esa maravillosa actividad de observar el cielo a simple vista, con binoculares y con telescopios. (Figura 2)

Figura 2
El contacto con la astronomía en edades tempranas puede tener serias consecuencias en las decisiones de estudios profesionales en el futuro. Foto: Germán Puerta.

En conclusión, están dadas para Colombia todas las condiciones para lograr una destacada apropiación social de la ciencia y de la astronomía en particular, pues el público la reclama. Necesitamos más planetarios, observatorios astronómicos, museos de ciencias y centros interactivos, superando la azarosa decisión de inversión de un alcalde o gobernador, o del quijotesco empeño de algún amigo de la astronomía por sacar adelante un proyecto. Se requiere una política pública del orden nacional que incluya en forma decisiva procesos que promuevan el desarrollo de los proyectos de divulgación científica con énfasis en astronomía y ciencias del espacio.

REFERENCIAS

(1). Rosenberg, Marissa; Russo, Pedro; Georgia Bladon, Lars Lindberg Christensen, Astronomy in Everyday Life, EU-UNAWE, Leiden Observatory/ Leiden University, ESO, 2016.

(2). Puerta, G.; La Ciencia, la Astronomía y el Desarrollo en el Siglo XXI, Encuentro Nacional de Astronomía RAC, Pereira, 1998.

(3). Campos, F.; ¿Cómo beneficia la astronomía a la sociedad?, Universe Today http://www.universetoday.com/106302/how-astronomy-benefits-society-and-humankind/

(4). Finley, D.; ¿Que tan buena es la Astronomía? o ¿Por qué gastar plata estudiando el Universo?, National Radio Astronomy Observatory, Socorro, New Mexico, USA.

(5). Hessel, T.; Justification of a Planetarium, Planetarian Journal, Internacional Planetarium Society, IPS, December 2006.

(6). ACCEFYN et al; Acuerdo nacional por la educación y la ciencia, Congreso Internacional de Ciencia y Educación para el Desarrollo y la Paz, Bogotá, 21 y 22 de abril de 2016.

(7). Colciencias - Parque Explora; Guía para la formulación de proyectos de ciencia en Colombia, 2015.

(8). Posada, E.; Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, Estado de la ciencia en Colombia, Entrevista de Nicolás Congote G., El Tiempo, 20 de julio de 2015.

DIVULGACIÓN DE LA ASTRONOMÍA EN COLOMBIA PARA NIÑOS Y NIÑAS

UN VIAJE UNAWE POR COLOMBIA

Ángela Pérez
Contacto de UNAWE en Colombia
Coordinadora de Astronomía
Planetario de Medellín / Parque Explora
angelapatriciaphenao@gmail.com

Resumen

En 2006 se establecieron dos programas especiales de astronomía, uno en Holanda y otro en Colombia, que buscaban comunicar ésta a los niños de preescolar y de primaria. Uno de ellos se denominó UNAWE (cuyas siglas significan Conciencia del Universo) en Leiden, y el otro Astronomía para niños y niñas de Preescolar, en Bogotá. Curiosamente, ninguno de los dos conocía del surgimiento del otro.

Ambos programas contemplaban la inclusión de unos aliados estratégicos: profesores y profesoras que acogieran a la astronomía como compañera en su labor docente. Varios casos exitosos demostraron cómo esta maravillosa ciencia enriqueció y facilitó aprendizajes significativos en el aula. Diez años después aún hay un alto número de profesores y lugares por alcanzar. El reto es continuar incrementando en Colombia la participación de niños y profesores en ambos programas, de tal modo que, desde la astronomía, se aporte también a la formación de ciudadanos locales y del mundo: habitantes de un planeta.

Universe Awareness, UNAWE (1), que se traduce al español como "consciencia del universo", es un programa internacional que propone que la astronomía y sus ciencias relacionadas inspiren a la población infantil (4 a 11 años) con las maravillas del Universo. Una historia paralela de divulgación une el origen de este programa en Leiden, Holanda, con la popularización de la astronomía para este público en el marco del programa de Astronomía para Niñas y Niños de Preescolar implementado por el Planetario de Bogotá en 2006, bajo la dirección de Catalina Nagy. En el presente año estas dos iniciativas cumplen 10 años, ambas implementando diversas estrategias de divulgación y enseñanza de esta atractiva ciencia a los niños y niñas de preescolar, quienes también son ciudadanos del mundo y del universo.

En Colombia este viaje pudo haber empezado con el encuentro de dos pasiones en un mismo punto. Por una parte la mirada soñadora y segura de una joven Licenciada en Educación Preescolar confiada de que toda experiencia que viva un niño o niña en el aula o fuera de ella pueda llevarlos a aprendizajes divertidos, claros y significativos; y por otra, el placer intelectual que produce la astronomía como mediadora de aprendizajes, al describir de manera clara y enfática nuestro entorno. Esta ciencia, alimentada por múltiples disciplinas, es la forma más natural de transversalizar el conocimiento, y, en mi concepto, la mejor forma de permitir que los infantes construyan colectivamente conocimiento e interpreten, exploren y entiendan su entorno. Bien se dice que "la astronomía es madre de todas las

En el año 2006 estas dos pasiones personales, la enseñanza a preescolares y la astronomía, tuvieron la oportunidad de ser reunidas en una institución Distrital: el Planetario de Bogotá, en donde se consolidó el programa de "Astronomía para preescolar", el cual aportó desde el primer momento, actividades didácticas para la enseñanza de la astronomía, especialmente diseñadas para niños y niñas entre los 4 y los 6 años de edad.

¿Por qué los niños y las niñas? Y, ¿por qué la Astronomía? Pues bien, porque ambos han generado en mí la mayor atención y curiosidad. Los actores infantiles me han motivado toda la vida, desde siempre quise ser maestra de preescolar, pues siempre consideré que "Los niños y niñas también son ciudadanos" (3) y así lo destaqué en mi trabajo de grado de la universidad. Y con mi primer ejercicio profesional, los niños de kínder me dejaron ver que quieren explorar, quieren entender su entorno, quieren responder preguntas, son sensibles a todo y desean conocer. Para ellos, la construcción de conocimiento es un ejercicio natural que en principio es literalmente nuevo, por lo que se maravillan con cada cosa entendida.

Ahora bien, según los clásicos en psicología infantil, en esta etapa se diferencian dos ciclos: "primera infancia", de 0 a 3 años, y "segunda infancia", de 3 a 6 años. Estas edades son básicas para garantizar el éxito cognitivo y social a lo largo de la vida. En dichas edades pueden fortalecerse los aprendizajes y las predisposiciones encontradas en etapas de la infancia en los siguientes años, argumentos que me motivaron a implementar estrategias de divulgación y enseñanza de la astronomía en estas poblaciones.

Para la población menor de 6 años hay ciertas características generales que enmarcan su desarrollo y que pueden favorecer los aprendizajes de diversos conocimientos entre los cuales la astronomía encuentra un nicho especial, debido a su interdisciplinariedad. El desarrollo cognitivo de los niños en esta corta edad está fundamentalmente relacionado con el aspecto psicomotriz, de aquí la importancia de fortalecer las actividades encaminadas en esta línea de acción. También ofrecer actividades que enriquezcan el aprendizaje cognitivo desde temprana edad, agradeciendo la flexibilidad del cerebro pues este puede realizar hasta 700 nuevas conexiones neuronales cada segundo (4) beneficio que se va perdiendo con la edad.

Foto 1
ıoad de Astronomía
in situ "Pijamada
Astronómica" con
ıntes de preescolar.
Instituto Educativo
trital Arborizadora
Baja – 2010
ɔtografía de Ángela
Pérez

¿Por qué la Astronomía? Porque es un conocimiento maravilloso que siempre ha fascinado a la humanidad. Muchos hemos sido cautivados por sus misterios, especialmente desde temprana edad. Recuerdo de niña haber presenciado un eclipse de Sol, que llevó a la calle a muchos niños y niñas con quienes disfrutamos de la oscuridad repentina en pleno día. La astronomía se manifiesta todos los días y con ella, y todas las ciencias que la componen, se pueden explicar muchas de las preguntas formuladas por los niños, que son en ocasiones, las más difíciles de todas.

De acuerdo con lo anterior, este fue el inicio de una larga relación entre la astronomía y la población infantil, que me llevó a pensar que la astronomía tiene aportes importantes que ofrecer en la escuela, específicamente como herramienta pedagógica, fortaleciendo procesos de aprendizaje en los estudiantes de preescolar y otorgando a los profesores nuevas formas de enseñanza.

La astronomía tiene aportes importantes que ofrecer en la e específicamente como herramie pedagógica, fortaleciendo proc aprendizaje en los estudiantes.

La astronomía ya había tocado las puertas de muchas escuelas y colegios colombianos, mayormente hacia estudiantes de bachillerato. Esto porque se consideraba que la Astronomía no era para incluir en el preescolar, no solo por los estudiantes sino por la debida preparación de sus profesores. De ahí, que el éxito de la "Astronomía para niñas y niños de preescolar" está directamente relacionado con la cualificación de sus profesores. Por estas razones, el Planetario de Bogotá realizó en 2006 un primer ejercicio de asesoría y formación en astronomía para profesores de preescolar y primaria. Para ese fin, también se desarrollaron contenidos y materiales didácticos especialmente diseñados para su utilización en el ejercicio pedagógico.

En los primeros cinco años de divulgación y enseñanza de la astronomía con profesores y estudiantes de preescolar, noté cómo la participación de profesoras de preescolar interesados en el tema era cada vez mayor. En esos años, el acompañamiento y asesoría por parte del Planetario impulsó fuertemente a la astronomía para preescolares, incluso, llegando a más de 4.000 estudiantes preescolares y por lo menos a 100 docentes, gracias, en gran parte al programa Escuela Ciudad Escuela de la Secretaría de Educación del Distrito. Este proceso de presentación de la astronomía al profesorado tuvo un inicio más bien difícil debido a que algunos de los profesores lo consideraban como una carga adicional, además de que no se sentían suficientemente preparados para responder preguntas de los estudiantes y en ocasiones, preferían "conservar la línea de enseñanza" que habían llevado a lo largo de su carrera como docentes. Muy pocos de ellos tomaron el riesgo, o mejor, el reto.

Las profesoras y los profesores que desarrollaron proyectos de astronomía en sus escuelas con estudiantes de preescolar en el marco del programa mencionado, demostraron que esta ciencia también es "cosa" de niñas y niños. De esa manera pude ver cómo algunas profesoras(es) del primer ciclo educativo permitieron que la astronomía entrará a su aula y la convirtieron en una aliada a través de la cual adelantaron procesos curriculares de enseñanza, de lectura y escritura. El primer intento satisfactorio lo realizamos con el Instituto Educativo Distrital (IED) Rodrigo Lara Bonilla, liderado por la profesora de preescolar Otilia Galeano, la primera profesora que llevó la astronomía al aula de preescolar en Bogotá. Como éste, otras profesoras lo impulsaron en varias otras escuelas. Uno de los procesos más destacados fue el de "Chiquinautas"(5), un hermoso y activo proyecto de experimentación con la astronomía, que se implementó en el preescolar de una institución educativa oficial de Bogotá.

Chiquinautas fue una demostración excelente de lo que la Astronomía puede provocar en el aprendizaje de estudiantes de preescolar, por supuesto con el trabajo comprometido y constante de las profesoras Diana Martínez y Bertha Cáceres. Chicos entre los 4 y 6 años de edad del IED Fernando Mazuera Villegas se maravillaron con el Universo a través del proyecto de Aula "Chiquinautas: Viajemos más allá de la

Tierra". Con este proyecto, los estudiantes respondieron preguntas sobre los viajes espaciales, buscaron información con ayuda de sus profesores y padres, realizaron construcciones conjuntas, formularon respuestas de acuerdo a sus saberes previos, corroboraron la información con el intercambio de saberes con expertos en ciencias del espacio y prepararon exhibiciones de astronomía para padres de familia y para ferias de las ciencias en donde compartieron sus aprendizajes y experiencias.

En 2008 la organización UNAWE Internacional, en cabeza de Carolina Ödman visitó Colombia, conociendo así el programa de astronomía para preescolar del Planetario, fundado dos años antes. Esta visita resultó ser un gran espaldarazo a nuestro trabajo en astronomía con la población infantil y evidenció a los escépticos que la astronomía puede y debe llegar también a los docentes y a los estudiantes de preescolar, e incluso a sus familias.

Con el establecimiento de UNAWE en Colombia se ha venido impulsando, con cada vez más voluntarios, la iniciativa de fortalecer la formación de profesores en preescolar y enriquecer, con actividades de astronomía para niños y niñas de preescolar, los ambientes educativos de esta población. Para ello utiliza como símbolo un globo inflable de la Tierra, sin líneas divisorias entre los países, pues todos los niños y niñas son ciudadanos del mundo y comparten un mismo propósito: conocer, entender y aprender sobre su entorno natural inmediato y más allá de éste.

La red de profesores y divulgadores que se han dado la oportunidad de aprender astronomía para llevarla a la Escuela o divulgarla utilizando técnicas especiales adecuadas y recomendadas para la población de preescolar han recibido, por su compromiso y dedicación, un globo del programa UNAWE- Colombia. Más de 50 voluntario s locales, distribuidos como lo muestra el mapa, han recibido este símbolo internacional. Es una red que sigue implementando estrategias para fortalecer el trabajo a distancia y la construcción conjunta de experiencias.

Aún muchos lugares en Colombia por alcanzar con un programa de formación de maestros en Astronomía lo que permitirá que se incremente el número de niños y niñas colombianos que puedan tener acceso a este tipo de conocimiento.

En el año 2012, UNAWE Internacional invirtió en el diseño de una maleta didáctica de Astronomía para continuar su labor divulgativa. La maleta fue llamada "El Universo en una Caja". En Colombia se distribuyeron 10 de estas maletas, llegando a ciudades como Barranquilla (1), Bogotá (3), Calí (1), Boyacá(1), Medellín (1), Leticia (1), Ibagué (1) y Santander (1). Esta herramienta pedagógica en manos de personas comprometidas puede enriquecer la enseñanza de esta ciencia a nivel escolar y extraescolar, actúa como semillero itinerante para llevar el universo a más niños y niñas en Colombia. El manual en español fue traducido en Colombia y se encuentra en línea a través de la página UNAWE Colombia.

En el Año 2014 se realizó el primer curso de UNAWE en Colombia en las instalaciones del Planetario de Bogotá que contó con la participación de más de 40 docentes, donde profesionales en educación, en artes y en otras profesiones que trabajan con niños de preescolar, asistieron para aprender sobre enseñanza y didáctica de la astronomía y ponerlo en práctica en colegios, museos, bibliotecas y ludotecas. Con gran entusiasmo se vivió una semana enriquecida con actividades de astronomía y actividades de movimiento del cuerpo para explicar algunos fenómenos astronómicos, talleres experimentales, proyectos de aula en astronomía, textos infantiles acerca de la enseñanza de la astronomía y conversaciones que llenaron el ambiente de ideas sobre la astronomía, la escuela y la niñez.

UNAWE como programa de la UAI (Unión Astronómica Internacional) invita a fortalecer la divulgación de la astronomía para la población infantil. Desde Colombia se hacen esfuerzos premiosos pero seguros que van abriendo espacios para la discusión sobre el valioso papel que tiene la astronomía en los procesos de formación del profesorado de preescolar quienes, en consideración de muchos autores, deben tener la formación más completa, precisa e interdisciplinaria posible, pues son los responsables, junto con los padres, de brindar una educación integral y de calidad a las niñas y a los niños.

El objetivo más ambicioso de UNAWE Colombia es que cada vez más niñas y niños puedan conocer las maravillas del universo y se pregunten sobre este. Para alcanzar esta meta seguimos insistiendo en la formación de profesores de preescolar, para lo cual soñamos con más profesores de preescolar y de divulgadores que deseen emprender una aventura espacial de aprendizaje con sus estudiantes o públicos preescolares.

REFERENCIAS

(1). UNAWE, Inspiring every child with our wonderful cosmos. http://www.unawe.org/resources/guides/AstroArtUNAWEBook/

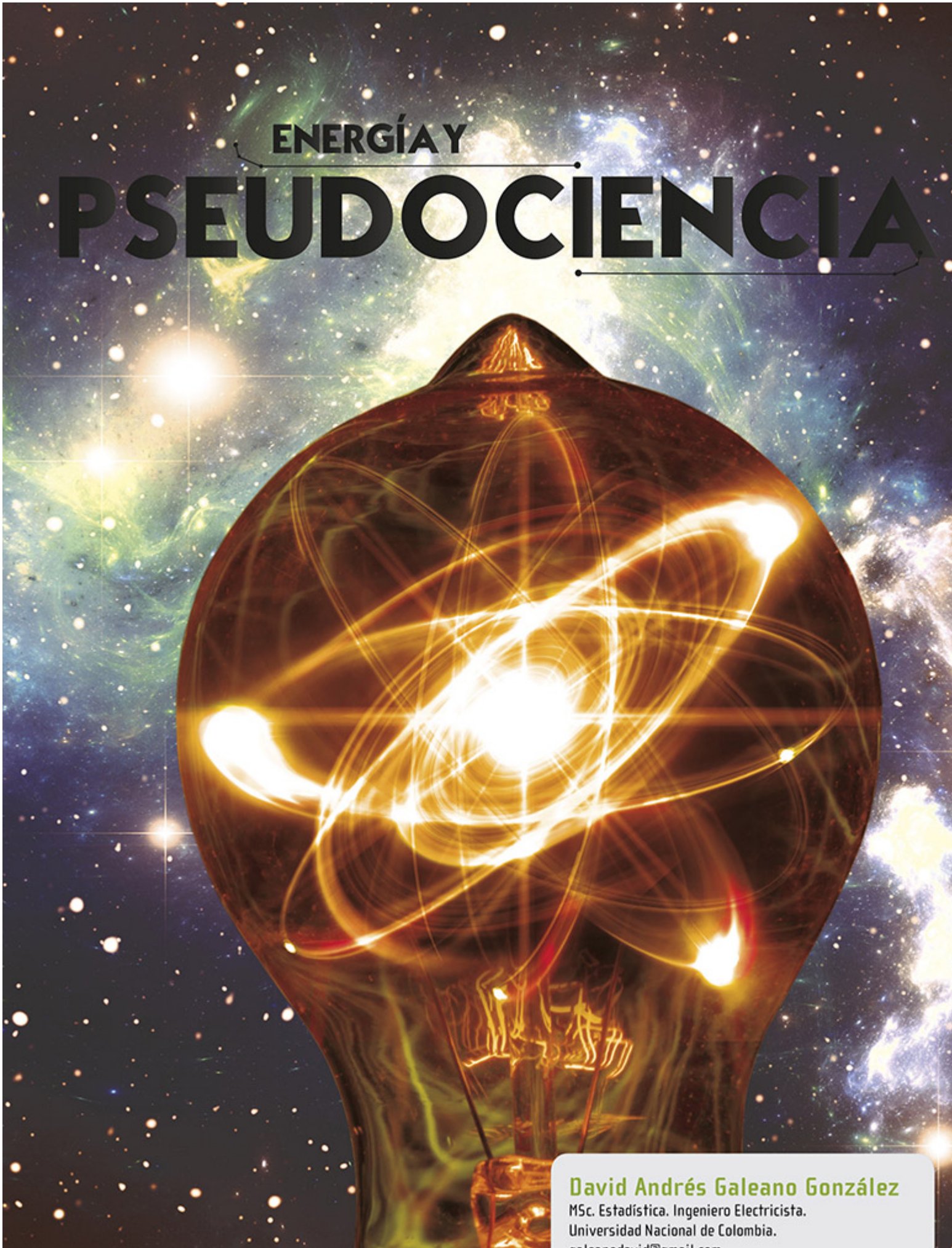
(2). Kegel, 1987 Astronomía: ciencia interdisciplinaria. [Versión electrónica] Revista UNIVERSITAS, Vol XXV #1. Disponible es http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/consejo/boletin45/articulo_interes.pdf

(3). Pérez, 1998 Los niños y las niñas también son ciudadanos. Universidad Pedagógica Nacional. Proyecto de grado 2002

(4). Universidad de Harvard (2000). La ciencia del desarrollo Infantil. Publicación electrónica Simposio Nacional sobre Ciencia y Política para la primera infancia de la Universidad de Harvard y Banco Interamericano de Desarrollo. [Versión electrónica] http://developingchild.harvard.edu/resources/la-ciencia-del-desarrollo-infantil-temprano/

(5). Cáceres y Martínez, 2008. Institución Educativa Distrital Fernando Mazuera Villegas. Proyecto Pedagógico "Chiquinautas: viajemos más allá de la Tierra". Recuperado registro audioviusal. Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=Id_bogfzGic

ENERGÍA Y PSEUDOCIENCIA



David Andrés Galeano González
MSc. Estadística. Ingeniero Electricista.
Universidad Nacional de Colombia.

Resumen

En el artículo se da una revisión del concepto físico de la palabra "energía" y se contrasta con el uso malintencionado e infundado que hacen algunas pseudociencias de él. Expresiones como "energía vital", "energía cuántica", "energía cósmica" y "energía divina" son evaluadas desde el ámbito estrictamente científico para advertir del incorrecto uso de esta terminología, y de la posible ligereza en el lenguaje que comúnmente se hace para justificar el desarrollo de algunas pseudociencias.

Introducción

Si bien el uso de la energía se remonta al hombre primitivo (con el fuego, por ejemplo), los intentos de conceptualizar su significado provienen desde Aristóteles en su trabajo *Nicomachean Ethics* en el año 350 a.C. donde se establece una confusa relación entre los conceptos de "ἐνέργεια", "movimiento" y "alma", y lo que en su momento se llamó con el nombre griego "energeia" ( ); sin embargo, aún era un concepto oscuro y con un largo camino por recorrer. (1)

A través de un largo proceso de maduración, donde el concepto evolucionó desde lo cualitativo y filosófico hacia lo cuantitativo, Gottfried Leibniz propuso entre 1676 y 1689 la idea de vis viva, traducida como "fuerza de la vida", según la cual la energía (vis viva) podía ser medida como el producto de la masa de un objeto por su velocidad al cuadrado . Adicionalmente, notó que esta cantidad siempre se conservaba constante en un sistema cerrado. (1)

El concepto vis viva se mantuvo en los trabajos de muchos pensadores hasta que en 1807 el científico Thomas Young retomaría la definición de Leibniz pero acuñada a la palabra griega "energeia", es decir, transformó un término metafísico a un término científico: "el producto de la masa de un cuerpo con el cuadrado de su velocidad puede adecuadamente ser denominada su energía". (2)

Después de algunos trabajos, en 1829 Gustave Coriolis describió el concepto de energía cinética (3) y en 1853 William Rankine acuñó el término energía potencial. (4) A partir de la definición de estos conceptos, la definición de "energía" se hizo cada vez más clara.

El concepto de la energía

De acuerdo a la definición ortodoxa de la palabra **"Energía"**: se trata de la **capacidad para realizar un trabajo** y su unidad de medida se compone de unidades de fuerza por unidades de longitud.

Si bien el concepto desde la física es claro, desde la Nueva Era y disciplinas asociadas es difuso y mal empleado, algunas veces, incluso, tratan de darle un sentido científico, que como se verá adelante raya con la deshonestidad y/o ignorancia.

El término "trabajo" fue introducido por Gaspard Coriollis en 1826. (3) Comúnmente denominado por la letra *W*, hace referencia a la posibilidad de desplazar un cuerpo en una dirección al aplicarle una determinada fuerza en el mismo sentido. Matemáticamente, se expresa como $W = F \cdot s$ donde F es la fuerza y es el desplazamiento en dirección de la fuerza. Como se ve, el término "energía" está atado al de "trabajo" y este último a la *posibilidad* de generar un desplazamiento de un determinado cuerpo.

Por ejemplo, desde la mecánica cuántica se reconoce que el operador de energía (5) puede actuar sobre la función de onda Ψ del sistema para determinar la posición (potencial) o *momentum* (cinética) de una partícula tal que $\Psi^2(\epsilon,t)d\epsilon$. Es decir, tanto en la mecánica clásica como en la cuántica, el concepto de energía se conserva. Se hace esta aclaración pues es precisamente con el desarrollo de la mecánica cuántica donde ha habido un mayor uso abusivo y descarado de la palabra energía para camuflar pseudociencias a partir del uso de terminología científica.

Algunos usos abusivos del concepto

Después de mostrar en las secciones precedentes que la **"energía"** es una herramienta matemática más que una entidad, a continuación se muestra algunos usos abusivos del término que en ocasiones rayan con la deshonestidad y la estafa.

Energía vital

Este término es ampliamente utilizado en la Nueva Era (y pseudociencias conexas). Si bien los sistemas vivos tienen complejos métodos de captación, transformación y uso de energía, la bioquímica y biofísica conocida por la ciencia es por mucho más compleja y completa que el simplismo injustificado que se encuentra en cientos de libros esotéricos.

Términos como *chi*, *prana* o energía orgánica son de uso común en pseudociencias relacionadas con la Nueva Era para tratar de explicar lo que ya está explicado en gran parte: cómo y dónde se produce la energía que utiliza el cuerpo humano.

Si bien aún existen misterios en el funcionamiento o comportamiento del cuerpo humano, tales como las relaciones de algunas bacterias con el desarrollo de ciertas enfermedades, la utilidad actual de órganos como el apéndice, la causa de muchas enfermedades neuro-degenerativas, las del autismo, entre otros, es bien sabido que la transformación y uso de la energía en el cuerpo (y en general en los sistemas vivos) está ligado a reacciones bioquímicas bien estudiadas desde 1929, cuando Cyrus Fisker y Yellapragada Subbarao lograron aislar trifosfato de adenosina del músculo humano, y los posteriores trabajos de Fritz Lipmann en 1941, quien dio las primeras ideas de cómo el Adenosin Trifosfato (ATP) estaría relacionado con la energía del cuerpo humano. (6)

A manera de síntesis, la energía del cuerpo humano es suministrada a cada una de las células del cuerpo por el ATP generado por los carbohidratos, grasas y proteínas. (7)

Términos como *Chi, ki o pranna supuestamente* serían conceptos ligados al de energía vital, sin embargo, una breve evaluación desvirtúa totalmente su existencia:

1. No existen pruebas empíricas de su existencia: las supuestas curaciones a partir de terapias que utilizan conceptos de supuesta energía vital (distinta a la bioquímica) o las demostraciones de fortalezas extremas a partir de un supuesto "manejo de la energía", se van al piso cuando se hace una evaluación escéptica y racional. Basta con ver algunos retos lanzados por escépticos a artistas marciales que supuestamente logran controlar a su oponente a distancia para darse cuenta de la farsa. (8)

Por ejemplo, cuando George Dillman, maestro de artes marciales, (9) es sometido a una prueba controlada de sus supuestos poderes a partir del manejo del *Chi*, es evidente que no existe tal.

2. El término está asociado con una supuesta "energía"; sin embargo, el correcto uso de la palabra energía hace referencia a un concepto matemático para explicar fenómenos físicos. ¿Cuáles son las expresiones matemáticas de los conceptos de energía que maneja la Nueva Era?, y más sencillo aún, ¿se prueba la conservación de la misma?.

3. En el sistema internacional, la energía se mide en joules $[Kg \cdot \frac{m^2}{s^2} = N \cdot m]$ es decir, es el trabajo realizado sobre un objeto cuando sobre él actúa una fuerza de 1 newton para desplazarlo 1 metro. ¿Cómo se ajustan las unidades y el concepto de Chi, Ki, Prana, etc. a la unidad de medida?

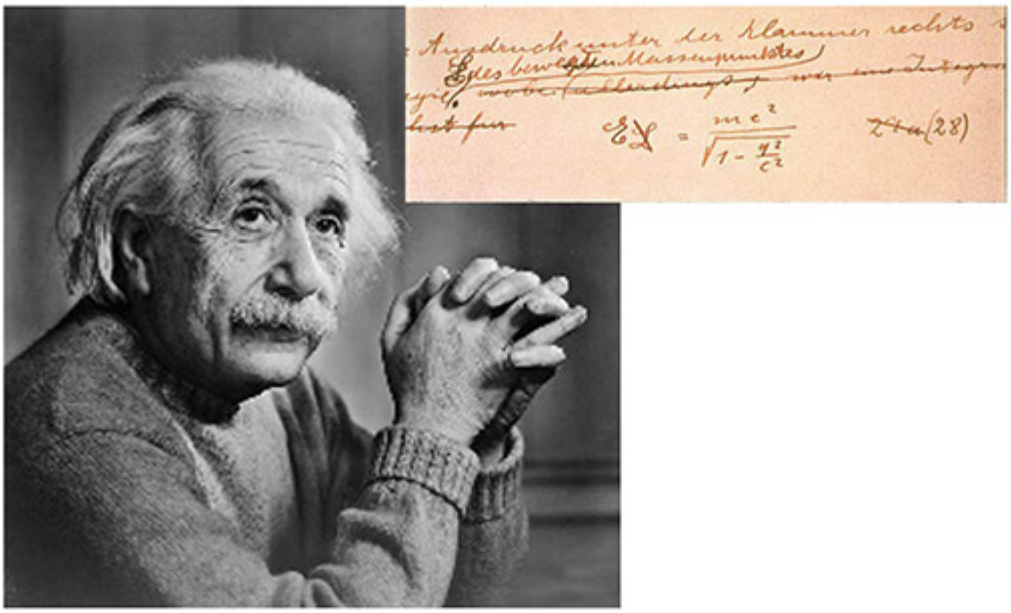
En resumen, la energía vital del cuerpo humano no es más que reacciones bioquímicas bien estudiadas por la ciencia y nada tienen que ver con procesos místicos inventados en la Nueva Era y otras pseudociencias.

Energía cuántica

A partir de la solución al problema de la radiación de cuerpo negro en 1900 por Max Planck y el trabajo de Albert Einstein relacionado con el efecto fotoeléctrico, nació la mecánica cuántica que se desarrolló durante todo el siglo XX. (10)

Desde el punto de vista científico, a nivel cuántico la energía es radiada y absorbida en discretos "cuantos" o paquetes bien definidos. De acuerdo a Planck, cada elemento de energía es proporcional a su frecuencia: (v): $E = h\nu$; sin embargo, los amantes de lo paranormal han distorsionado el concepto y han inventado la "curación cuántica" (conocida también como *Quantum Healing*) con la cual aseguran que, como la famosa ecuación de Einstein ($E = mc^2$), indica que la energía y la masa son equivalentes, entonces la información que existe en nuestras células y en nuestro cerebro se puede materializar y viceversa. Intentan combinar y manipular de forma irresponsable conceptos de conciencia, cerebro y mente con efectos que ocurren a nivel cuántico sin aportar ninguna evidencia empírica.

Si bien el comportamiento en el mundo cuántico es extraño respecto a lo que ocurre en el mundo clásico (macro), es absolutamente irresponsable y deshonesto inventar la ocurrencia de fenómenos inexistentes con base en los fundamentos de una ciencia. Así, los conceptos aplicables a nivel cuántico y que son eminentemente matemáticos (aunque físicamente validados experimentalmente) son extrapolados de forma irresponsable a supuestos tratamientos curativos o fenómenos macroscópicos que nada tienen que ver con el mundo cuántico.



Energía cósmica

En la ciencia se le conoce como la radiación cósmica de fondo, producto del Big Bang y sin relación alguna con argumentos esotéricos.

Autores como John Woodroffe, también conocido como Arthur Avalon, han intentado extrapolar el término científico de energía cósmica al término hindú "*Shakti*" (11), que significa "potencia" o "Potenciación"; para los practicantes del hinduismo representa las supuestas fuerzas dinámicas que se mueven a través del universo, siendo personificadas por una mujer que ellos denominan "La gran madre divina".

Mientras la radiación cósmica de fondo es un hecho probado (12, 13) y con una enorme evidencia científica, la existencia de una "Gran madre divina" se mantiene en el ámbito especulativo; sin embargo, intentar extrapolar el término científico de energía cósmica para sus intereses pseudocientíficos es una práctica facilista y deshonesta.

Gottfried Wilhelm Leibniz

Gaspard-Gustave de Coriolis

William John Macquorn Rankine

Tal es el caso, por ejemplo, de la energía *orgónica*" descrita en los años 30 por el médico y psicoanalista Wilhelm Reich. (14) Alegaba que debía existir una energía en el universo que diera cuenta de, por ejemplo, el color del cielo, la existencia de las galaxias, las guerras y hasta el porqué una persona usa zapatos de color café y mañana de color negros, es decir, la supuesta energía que explica desde lo fundamental hasta lo general. Sin embargo, su existencia nunca ha sido demostrada. Según

parece, se debe creer en ella para probarlo, lo cual raya en lo absurdo pues las verdades científicas no se fundamentan en creencias sino en pruebas.

Energía divina

Este concepto está fuertemente ligado a la teología y a algunas prácticas supuestamente adivinatorias. Como ya se mostró arriba, el término energía está ligado a la realización de un trabajo (desde el concepto físico de "trabajo"), por lo tanto carece de completo sentido utilizar el término energía para cualquier referencia a supuestas artes adivinatorias.

Con relación al uso teológico de la palabra, hace referencia a una deidad que mueve todo en el universo y que, de alguna manera, dio el "soplo inicial" para el Big Bang. (15) ¿Qué necesidad tendría un dios (o dioses) para crear un universo extremadamente enorme para unos seres que ocuparían muchísimo menos de un septillonésimo de espaciol? Se resalta que el objetivo de la ciencia es encontrar respuestas, por lo tanto es completamente natural y normal que por el momento no se sepa qué sucedió entre el momento $t = 0$ y el tiempo $t = 10^{-43}$ segundos (conocido como el Periodo de Planck); algún día puede ser que encontremos la respuesta. Por ahora, la hipótesis de que fue un "dios" quien tuvo el control o fue el iniciador del universo como "energía primordial" es un tanto apresurada.

La afirmación de que se necesita la energía de dios para crear el universo porque "nada proviene de la nada" (en latin, *nihil fit ex nihilo*) cae en el círculo vicioso de no autocuestionarse quién creó a dios. Si la respuesta es nadie, se debe admitir la extrapolación al universo mismo, sin embargo, en ningún momento se debe indicar que el universo es dios, pues éste no tiene propiedades divinas, tan solo físicas y medibles.

Adicional a lo anterior, la expresión energía divina tiene un grave problema: el concepto de energía es eminentemente matemático y, por definición, dios no puede ser descrito por una ecuación o expresiones lógicas, por lo tanto, tal expresión se cae por su propio peso.

Conclusiones

El concepto de energía es una definición abstracta y matemática para indicar una cantidad numérica que no cambia a pesar de las variaciones que sucedan en el sistema, es decir, se puede calcular un número en un sistema físico y, luego de varios procesos como calentamiento, movimientos, vibraciones, etc, se recalcula en el sistema físico y se mantiene. (5) Richard Feynman describe el concepto de la energía con la analogía del alfil ubicado en un cuadrado blanco en un tablero de ajedrez; después de hacer cualquier número de movimientos durante el juego, siempre estará en un cuadrado blanco, es decir, no cambió a lo largo del juego su propiedad de ubicación. En la extrapolación al concepto de energía, se entiende entonces que no cambia la cantidad a pesar de los distintos procesos que ocurran en el sistema.

Como se ha visto a lo largo del artículo, el concepto de energía cobra solo sentido en el ámbito de la física y cualquier otro uso de esta expresión debe mirarse meticulosamente y con ojo escéptico, pues se suele utilizar la palabra "energía" como una especie de prefijo o sufijo en cualquier término pseudocientífico para darle un halo de seriedad a la charlatanería. Como dice el refrán popular, "aunque la mona se vista de seda, mona se queda". Bajo el contexto de la energía: "aunque a la pseudociencia le pongan el apellido energía, pseudociencia se queda".

REFERENCIAS

(1). Iltis C. Leibniz and the Vis Viva Controversy. Isis, University of Chicago Press, History of Science Society. 1971;(62): p. 21-35.

(2). Young T. A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts London: J. Johnson.; 1807.

(3). Coriolis G. Du calcul de l'effet des machines, ou, Considerations sur l'emploi des moteurs et sur leur evaluation: pour servir d'introduction a l'etude speciale des machines: Carilian-Goeury. History of science 18th and 19th century; 1829.

(4). Rankine WJM. On the General Law of the Transformation of Energy: Taylor & Francis; 1853.

(5). Feynman RPLRBSML. The Feynman Lectures on Physics. V. 1.: Addison-Wesley; 1963.

(6). Armstrong FB, Bennett TP. Bioquímica: Reverté; 1982.

(7). Vanderkooi J. Your Inner Engine: an Introductory Course on Human Metabolism.: CreateSpace Independent ; 2014.

(8). Raff J. The Dangers of Magical Thinking in the Martial Arts. [Online].; 2014 [cited 2016 mayo 16.Available from: https://violentmetaphors.com/2014/02/23/the-dangers-of-magical-thinking- in-the-martial-arts/.

(9). Dillman G. Explains Dillman KO chi nullification. [Online].; 2006 [cited 2016 enero 31. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=JM_qg5d1YGI.

(10). Ponce Gutiérrez W. Introducción. In Ponce Gutiérrez W. Lecciones de Mecánica Cuántica. Medellin: Universidad de Antioquia; 2015. p. 412.

(11). Woodroffe JG. Shakti and Shakta: Essays and Addresses on the Shakta Tantrashastra. Ganesh.: Ganesh; 1951.

(12). Administration NAaS. NASA Science, Astrophysics. [Online].; 2016 [cited 2016 abril 11. Available from: http://science.nasa.gov/astrophysics/focus-areas/what-powered-the-big-bang/.

(13). National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center. Bibliography of WMAP Science Team Publications. [Online].; 2009 [cited 2016 enero 29. Available from: http://lambda.gsfc.nasa.gov/product/map/dr3/map_bibliography.cfm.

(14). Gardner M. Fads and Fallacies in the Name of Science.: Dover Books on the Occult; 1957.

(15). Bradshaw D. The Concept of the Divine Energies. Philosophy and Theology. 2006;(18): p. 93-120.

(16). Browne RW. The Nicomachean Ethics. Bohn's classical library: George Bell and Sons; 1889.

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

OFERTA EVALUACIÓN DE PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

- **La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia - ACAC,** entidad sin ánimo de lucro que trabaja por el fomento y apropiación social de la ciencia en Colombia, ha desarrollado en los últimos años la **línea de evaluación de proyectos de investigación.**
- Con este proceso ACAC ofrece a entidades, públicas, privadas y universidades la revisión de los proyectos que se postulan a sus convocatorias internas, para que obtengan resultados confiables a partir del concepto de profesionales especializados en las áreas del conocimiento que la entidad requiere.

ESTA PROPUESTA DE TRABAJO INCLUYE:

1. Definición del cronograma de trabajo a partir de la cantidad y complejidad de los proyectos.
2. Recepción de documentos a evaluar, los cuales ingresan a la plataforma virtual diseñada por la Asociación, para garantizar la transparencia y agilidad del proceso.
3. Búsqueda de evaluadores expertos investigadores con altos estándares académicos y profesionales, en los temas solicitados por la entidad.
4. Desarrollo del proceso de evaluación a través de la plataforma virtual y verificación de requisitos en el diligenciamiento del formato por parte de los evaluadores.
5. Garantía sobre el cumplimiento de los cronogramas acordados.
6. Entrega de resultados consolidados a través de una matriz, así como un informe ejecutivo de análisis de toda la actividad, que incluye recomendaciones para la entidad.
7. Nos dedicamos a la prestación de servicios relacionados con la producción de software en tres líneas: Fábrica de Software, Administración de Software y Aumento de Equipos.

Algunos de nuestros clientes en esta línea de servicio:

Informes
Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acac@acac.org.co
Página web: www.acac.org.co

LA HIBERNACIÓN O ANIMACIÓN SUSPENDIDA EN LOS VIAJES ESPACIALES

Álvaro Hernando Ramírez Llinás
Inteligencia artificial y nanotecnología
Tecnologías avanzadas
brllinas@hotmail.com

Resumen

Aunque el término "hibernación" y su posible uso tanto en medicina como en viajes espaciales ha sido de dominio público desde hace algún tiempo, la realidad sobre la aplicación de esta tecnología puede variar un poco en la vida real. Sin desmentir el extraordinario beneficio que proporciona en algunos casos como el trasplante de órganos, el verdadero uso sobre la tripulación de una nave espacial en un largo viaje aún depende de varios factores, siendo el primero y más importante de ellos el reanimar al primer ser humano en tierra después de haber permanecido en estado de hibernación.

En Alaska, un grupo de científicos descubrieron que los osos negros bajan su temperatura corporal en ciertas épocas del año y que su actividad metabólica desciende muy por debajo de como lo hacen otros animales. A esta actividad se le da el nombre de "hibernación" (1).

Científicamente se sabía que los procesos químicos y biológicos de un organismo se desaceleran normalmente un 50 por ciento por cada 10 grados que baja la temperatura corporal, pero en estos osos la temperatura corporal bajó solo cinco o seis grados y su metabolismo se desaceleró en un 75 por ciento en comparación con su actividad normal.

Durante el tiempo de hibernación, los osos pasan entre cinco y siete meses sin comer, beber, orinar o defecar antes de emerger de sus guaridas. En este periodo respiran sólo una o dos veces por minuto y su corazón se desacelera entre las respiraciones, a veces,llega a tener intervalos de hasta 20 segundos entre latidos. Este descubrimiento ha llevado a los científicos a pensar que la información adquirida en este estudio podría aplicarse de manera útil en los seres humanos, siendo una de las opciones un largo viaje espacial (2).

Algunas entidades se han propuesto llegar a Marte para el año 2030, pero a diferencia de los viajes que ya se han hecho, la distancia al planeta rojo equivale a un trayecto de seis meses. Si el cuerpo humano pudiera alcanzar este tipo de hibernación, el viaje a un lejano planeta o a un asteroide podría ser más llevadero tanto para los astronautas como para los candidatos a formar una futura colonia en el espacio.

Ya se ha visto en muchas películas el uso de esta técnica junto con la criogenización (método por el cual se somete a una persona, o animal, a condiciones de frío intenso con el objetivo de preservar su cuerpo para ser reanimado en el futuro) con el objetivo de hacer más convincentes sus viajes al espacio. Se ha visto en 2001: Odisea del espacio, *Alien, Prometheus, Avatar*, etc. Se considera como gran desafío de estos viajes el tiempo que deben pasar los astronautas encerrados en una nave hasta llegar a su destino. No solo estaríamos hablando de la cuestión de mantenerlos ocupados y de la necesidad de un amplio espacio personal, sino también de moverse sin la agobiante sensación de claustrofobia. También hay que tener en cuenta la gran cantidad de reservas de alimentos, agua y aire que se necesitaría para mantener con vida a un equipo durante varios meses, o incluso años, sin olvidarse de la ansiedad, insomnio y depresión en la que caerían estas personas.

Ante estos inconvenientes se han estado investigando varias opciones y una de las soluciones que se está trabajando es la hibernación. O sea, poner a la tripulación en un estado inducido de hipotermia y en un sueño profundo que reduciría las funciones metabólicas de los astronautas con los procedimientos existentes. Así, en lugar de estar despiertos, les permitiría estar en un sueño profundo para que, al llegar al destino, estén renovados y listos para trabajar.

En combinación con una alimentación intravenosa, una tripulación teóricamente podría estar en estas circunstancias durante el viaje a Marte, que en el mejor de los casos tomaría 180 días de ida. Así, este letargo ahorraría espacio y, por tanto, las naves serían más pequeñas, lo que supondría también menos combustible. La mezcla de todos estos beneficios también contribuiría a otro objetivo primordial: la reducción de costos. Supondría, según los cálculos iniciales, un ahorro de cinco veces el volumen presurizado necesario para una tripulación en hibernación y de tres veces en la cantidad total de masa requerida. Esto significa que la misión pasaría de un peso de 400 toneladas a alrededor de 220.

¿Qué es a criónica? (3)

La criónica se justifica por tres hechos: la vida puede detenerse y reiniciarse, la vitrificación y la reparación de la estructura a nivel celular.

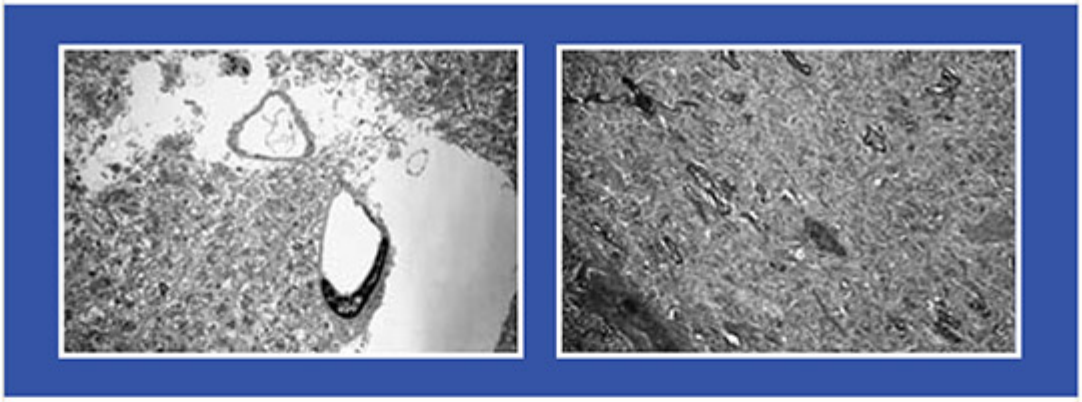
La criónica es la práctica especulativa de la utilización de frío para preservar la vida en una persona. El objetivo es llevarla hacia adelante en el tiempo, durante días, meses, años, décadas o siglos, hasta que el proceso de preservación sea revertido y la persona restaurada a la vida plena.

Aunque la criónica suena a ciencia ficción, hay sólidas bases en la ciencia real. Su historia científica completa rara vez se dio en informes de los medios, dejándola así ampliamente incomprendida.

La criónica se justifica por tres hechos que no son muy bien conocidos:

1). La vida puede detenerse y reiniciarse si su estructura básica se conserva.

Los embriones humanos se conservan rutinariamente durante años a temperaturas que detienen por completo la química de la vida. Los seres humanos adultos han sobrevivido a temperaturas de refrigeración que detienen el corazón, el cerebro y todos los demás órganos , que dejan de funcionar durante un máximo de una hora. Estas y muchas otras clases de biología nos enseñan que la vida es una estructura particular de la materia. La vida puede detenerse y reiniciarse si la estructura celular y la química se conservan bastante bien.



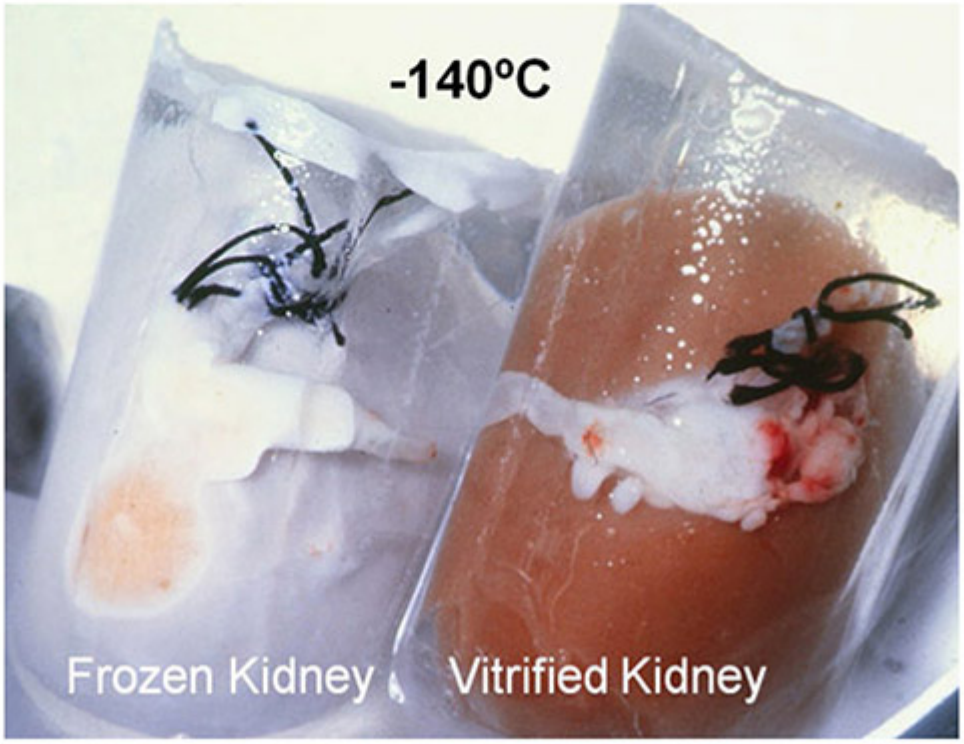
Frozen Tissue Vitrified Tissue

2). **La vitrificación** (no congelamiento) puede preservar la estructura biológica bastante bien. (Figura 1)

La adición de altas concentraciones de productos químicos, llamados crioprotectores, a las células permite que el tejido sea enfriado a temperaturas muy bajas, con poca o ninguna formación de hielo. El estado de no formación de hielo a temperaturas inferiores a -120 °C se denomina vitrificación. Ahora es posible vitrificar órganos, incluyendo el cerebro, logrando una excelente conservación estructural.

3). Ya se pueden prever métodos para **la reparación de la estructura a nivel molecular.**

La emergente ciencia de la nanotecnología con el tiempo dará lugar a dispositivos capaces de la reparación y regeneración extensa de tejidos, incluyendo la de las células individuales de una molécula; es decir, que a través de nanodispositivos que internalicen la célula se reparen malfuncionamientos de la misma o de alguno de sus componentes. Este futuro de la nanomedicina, en teoría, recuperaría a cualquier persona conservada en la que las estructuras cerebrales de codificación de la memoria básica y la personalidad permanecerían intactas.



E FORMA HIELO,
DE SOLIDIFICAR
RUCTURAL.
ORG/AtWork/

Así que...

- Si la supervivencia de la estructura significa la supervivencia de la persona,
- Si el frío puede preservar la estructura esencial con la suficiente fidelidad,
- Si la tecnología previsible puede reparar lesiones causadas durante el proceso de conservación,

Entonces ...

La criónica, o "hibernación" en su acepción popular, funcionaría así no se pueda demostrar hoy. Esta es la justificación científica y se hace más fuerte con cada nuevo avance en la tecnología de preservación.

No es estar muertos

La muerte se produce cuando la química de la vida se vuelve tan desorganizada que su funcionamiento normal no puede ser restaurado (no cuando la vida se "apaga". Las personas pueden y han sobrevivido después de ser "apagadas".) A cuánto desorden químico se puede sobrevivir depende de la tecnología médica. Hace cien años un paro cardiaco era irreversible. Las personas estaban muertas cuando su corazón dejaba de latir. Hoy en día la muerte se cree que se produce de 4 a 6 minutos después de que el corazón deja de latir porque, después de éste tiempo, es difícil de resucitar el cerebro; sin embargo, con los nuevos tratamientos experimentales, las personas se han logrado reanimar sin daño cerebral después de más de 10 minutos de paro cardiaco. Las tecnologías futuras para la reparación molecular pueden extender las fronteras de reanimación más allá de 60 minutos, por lo que las creencias actuales acerca de cuándo se produce la muerte serán obsoletas. Es el caso actual de muerte pronunciada sobre la base de "signos vitales", el cual no es la muerte real en absoluto (4).

La criónica actualmente

Más de doscientas personas han sido crioconservadas desde el primer caso en 1967. Más de un millar han tomado las medidas legales y financieras para su criogenia con alguna de las organizaciones que la ofrecen, generalmente a través de un seguro de vida (5).

Después de cesar la actividad cardiaca, la circulación sanguínea y la respiración se restauran artificialmente, se administran una serie de medicamentos para proteger el cerebro de la falta de oxígeno y se comienza un enfriamiento rápido, que lo protege aún más. El objetivo es mantener el cerebro mientras se efectúa el procedimiento de "hibernación". (Figura 3)

FORMA HIELO,
ADO (SIN HIELO).
.ORG/ **FIGURA 3**
JANOS TRABAJANDO
RA TENER ACCESO A
PRINCIPALES VASOS
S. EN ESTE PUNTO,
ACIENTE ESTÁ A UNA
RATURA DE 60 °F O
O PERMITE DETENER
CIÓN DE LA SANGRE
EMPO LIMITADO SIN
DAÑAR EL CEREBRO.
/WWW.ALCOR.ORG/
WORK/INDEX.HTML

Este es el método de estabilización del componente físico de la mente humana por períodos prácticamente ilimitados de tiempo. El procedimiento consiste en la sustitución de parte del agua en las células con una mezcla de productos químicos que impiden la formación de hielo. Los riñones se han recuperado totalmente después de la exposición a sustancias químicas similares según estudios publicados (5). La formación de hielo se evita ya que contiene aristas que pueden cortar los tejidos y los componentes celulares a nivel nanométrico.

Sobre la base de los notables progresos realizados en investigación en bancos de órganos convencionales, se cree que la preservación demostrable y reversible del cerebro humano es un objetivo médico que se lograría en el curso de la vida natural de la mayoría de las personas que viven actualmente (5).

Posible procedimiento para un viaje espacial

Estabilización

Una vez es detenida la actividad cardiaca, se introduce el cuerpo en un baño de agua con hielo y se restauran artificialmente la circulación sanguínea y la respiración a través de un resucitador cardiopulmonar (HLR, *Heart Lung Resuscitator*). El HLR, o "golpeador", es un dispositivo mecánico que se utiliza en la medicina de emergencia para realizar la reanimación cardiopulmonar (CPR). En criónica se usa el término CPS (soporte cardiopulmonar) en lugar de CPR debido a que la intención es proporcionar apoyo a la vida, no la resucitación cardiaca.

También se restauran las vías intravenosas y se administran medicamentos protectores. El tratamiento es similar a los procedimientos utilizados por los cirujanos de trasplantes para soportar la vida en los órganos que son transportados de un sitio a otro, excepto que los procedimientos de la criónica se aplican en todo el cuerpo; actualmente, los estudios han demostrado que los animales enteros pueden sobrevivir hasta tres horas de almacenamiento en frío usando la tecnología médica existente. Incluso, pueden sobrevivir durante períodos más largos si se hace circular continuamente la solución de conservación. (6)

Perfusión crioprotectora

Posteriormente, los principales vasos sanguíneos son conectados a un circuito de perfusión (en fisiología, el proceso de un agente como transportador de sangre a un lecho capilar en un tejido biológico). La palabra se deriva del término francés "perfusor", que significa "verter sobre" o "a través de". La solución crioprotectora será entonces la encargada de vitrificar el cuerpo sin pasar por el congelamiento.

Los puntos preferidos de acceso vascular son la arteria aórtica y la aurícula derecha del corazón, a la que se accede por medio de cirugía toráxica (esternotomía mediana). Tradicionalmente, las personas en neuropreservación han sido tratadas con este mismo procedimiento. En el año 2000 se inició el tratamiento de cuerpos en neuropreservación accediendo directamente a las arterias carótidas y vertebrales. Esto requiere una intervención quirúrgica delicada de la columna vertebral debido a que las arterias vertebrales se encuentran dentro de ella. (Figura 4)

Figura Preparaci solución tectora. L tubo de p la vigilan recopilac http://w index.htm

Posteriormente se hace circular una base de perfundido a través del cuerpo a una temperatura cerca a los o°C durante varios minutos. Esto hace desaparecer cualquier sangre restante. A continuación, la concentración de crioprotector se aumenta linealmente durante dos horas hasta la mitad de la concentración final. Esta introducción lenta minimiza el estrés osmótico y da tiempo para que la concentración de crioprotector se equilibre dentro y fuera de las células. Finalmente, se efectúa un rápido aumento hasta llegar a la concentración final, la cual se adquiere hasta que la concentración del flujo venoso sea igual a la concentración objetivo (en aproximadamente una hora). (6)

Enfriamiento

Después de la perfusión del crioprotector, los órganos se enfrían bajo control de la computadora a través de unos ventiladores de nitrógeno circulante a una temperatura cercana a -125 °C. El objetivo es enfriar todas las partes del cuerpo por debajo de -124 °C (la temperatura de transición vítrea) lo más rápidamente posible para evitar cualquier formación de hielo. Esto requiere aproximadamente tres horas, al final de las cuales se habrá "vitrificado" el cuerpo (llegando a un estado libre de hielo). Finalmente ,el cuerpo se enfría con nitrógeno líquido a -196 °C durante aproximadamente dos semanas. (6) (Figura 5)

Figura 5
ICO DE BOMBAS HACE
CIRCULE LA SOLUCIÓN
ICTORA EN EL CUERPO
UMENTO GRADUAL DE
ENTRACIÓN. HTTP://
COR.ORG/ATWORK/
INDEX.HTML

RCUITO DE
N) CRIOPRO-
S DETRÁS DEL
UTILIZAN PARA
ÓNICA Y LA
OS.
.ORG/ATWORK/

Cuidado durante el viaje espacial

Para el largo viaje, los cuerpos se almacenarían en nitrógeno líquido a una temperatura de -196 °C, el cual se mantiene en termos al vacío y se utiliza porque es barato y fiable.

La vida y la muerte no son estados binarios "*on-off*". Para las células, los órganos y las personas, la muerte es un proceso, no un evento.

Por ejemplo, se cree comúnmente que el cerebro "muere" después de cinco minutos sin oxígeno a temperatura normal del cuerpo. Esto es un mito. Los cerebros se han revivido después de una hora de paro cardiaco y las células de un cerebro humano se han recuperado después de cuatro y hasta de ocho horas de muerte clínica a temperatura normal. Lo que realmente sucede es que después de cincominutos sin oxígeno se producen cambios químicos en el cerebro que hacen que los vasos sanguíneos se hinchen cuando se restaura la circulación. Sin intervenciones especiales, esta hinchazón finalmente detiene el flujo de sangre, lo que resulta en la muerte de todas las células cerebrales horas más tarde. En términos prácticos, se puede decir que un cerebro privado de oxígeno durante más de cinco minutos por lo general está condenado a morir en cuestión de horas. Pero no es lo mismo que estar muerto. (7) (Figuras 6 y 7)

Figura Los conte sumergido a una tem http://w index.htm

En última instancia, la diferencia entre la vida y la muerte de una célula, un órgano o un organismo se reduce a la diferencia en cómo los átomos están dispuestos en su interior. Por lo tanto, parece cierto que la medicina del futuro, capaz de realizar el diagnóstico y la reparación a nivel molecular, también será capaz de resucitar a la gente después de períodos largos de "hibernación", más largos de lo que la medicina puede hoy en día. La cantidad de memoria y la personalidad que sobrevivirían a la reparación y cicatrización no se conocen actualmente, pero es la esperanza hoy en día para realizar viajes espaciales de grandes trayectos.

Figura Termos c hibernado org/A1W

Conclusiones

Así las cosas, si deseamos efectuar un viaje tripulado al planeta Marte o adentrarnos un poco más allá en nuestro sistema solar y sin haber reanimado al primer humano en estado de hibernación, no se dispone de otra opción, al menos hasta el día de hoy, que apresurar las investigaciones médicas y nanotecnológicas para confirmar o no la suposición de que dicho procedimiento no causa daño significativo en el cuerpo humano. En caso de ser positivo, sería menester el que uno de los tripulantes, o en su defecto una inteligencia artificial, esté disponible llegando la nave a su destino para empezar el proceso de reanimación. Por lo pronto, bien podemos decir "amanecerá y veremos".

REFERENCIAS

(1). EFE REDACCIÓN SDP NOTICIAS. Disponible en: http://www.sdpnoticias.com/sorprendente/2011/02/17/. Consultado junio 2016.

(2). Efe. Washington. , Disponible en: http://www.larazon.es/historico/5682., Consultado junio 2016.

(3). What is Cryonics. Disponible en:http://www.alcor.org/AboutCryonics/index.html., Consultado e junio 2016.

(4). De Wolf, Aschwin. Cryonics Without Repair, Why Reversible Cryopreservation Matters. Cryonics. 2013; 34(8):, 11-13.

(5). De Wolf, Aschwin. The case for brain cryopreservation. Cryonics. 2014; 35(1): 5-9.

(6). Baldwin, Catherine. Suspended Animation. Cryonics: publicación científica.2015; 36(4):6-8.

(7). Best, Ben. Effects of temperature on preservation and restoration of cryonics patients. Cryionics: publicación científica. 2013;34(7):13-16.

LEVANTAMIENTO ARQUEASTRONÓMICO DEL CONJUNTO DE MONOLITOS DE LAS TRES VIEJAS EN SESQUILÉ

Juan David Morales
Antropólogo. Arqueoastrónomo.
Ph.D. Historia de la Ciencia.

Resumen

La cultura muisca tuvo importantes logros en el campo de la astronomía; restos arqueológicos dispersos por su antiguo territorio son evidencia de ello. Este estudio se enfoca en el conjunto de monolitos que se encuentran en las faldas del cerro de las Tres Viejas en Sesquilé, Cundinamarca. Partiendo de un levantamiento topográfico de precisión, se hace un estudio arqueoastronómico de las posibles orientaciones a fenómenos astronómicos que pudieron haber observado en este antiguo lugar ritual los xeques, sacerdotes astrónomos muiscas.

El conjunto de Monolitos

En la falda occidental del Cerro de Las Tres Viejas en Sesquilé, Cundinamarca, se encuentran una serie de monolitos dispersos, algunos de gran tamaño, que corresponden a cantos cuadrangulares depositados por desprendimiento en la ladera y que pertenecen a la formación Guaduas de arcillolitas intercaladas con limolitas y areniscas. Los monolitos son principalmente arcillolitas blancas-grisaseas y areniscas grises y rojas (Ver recuadro).

Su situación actual probablemente sea el resultado del desplazamiento natural de las piedras sobre la pendiente (los cantos sobre la sinclinal) en la cual hay depósitos de tierras negras, arenas y arcillas, aunque algunos monolitos de pequeño tamaño y no más de una o dos toneladas de peso parecen haber llegado a su posición actual con intervención antropogénica.

La formación Guaduas está conformada principalmente por rocas sedimentarias entre las cuales se encuentran la arcillolita, que es una roca compacta, sin fisilidad, y formada por partículas del tamaño de la arcilla; la limolita, roca compuesta principalmente por limo, posee una superficie algo áspera al tacto; y la arenisca, principalmente del tipo cuarzo-arenisca ferruginosa, con granos gruesos, finos o medianos, bien redondeados, de textura detrítica o plástica.

Por tradición oral se tiene conocimiento que el conjunto de rocas ha sido concebido por la comunidad muisca de Sesquilé como un lugar sagrado en donde se escenifican rituales de pagamento y conexión con las fuerzas de la naturaleza y los antepasados.

Otros sitios en el territorio muisca, como el conjunto monolítico de Saquenzipá en Villa de Leiva, Boyacá, el afloramiento megalítico de Los Cojines del Zaque y el conjunto monolítico asociado al cercado grande de los santuarios en Tunja, Boyacá, sugieren que este grupo de rocas de Las Tres Viejas puede haber sido un lugar de observación astronómica.

Por tradición oral transmitida por el sabedor muisca Carlos Mamanche, se tiene conocimiento de que los antiguos pobladores realizaban observaciones astronómicas en el sitio asociadas a los rituales allí escenificados.

En el sitio como observatorio astronómico

En un primer levantamiento topográfico realizado por el arquitecto Roberto Santos y el topógrafo Saulo Ruiz, se encontró que los monolitos del sector más adyacente al cerro de Las Tres Viejas presentaban un posible alineamiento hacia los solsticios; posteriormente, en varias jornadas de trabajo de campo durante 2013 y comienzos de 2014 junto con Saulo Ruiz, se completó el levantamiento topográfico de precisión de gran parte de los monolitos de esta zona: hacia el sur de la ladera hay otro conjunto de piedras que no ha sido incluido en esta investigación.

Ya con estos datos y con observaciones de las posiciones del sol a lo largo de distintos días, se concluye que existen evidencias claras que sugieren que el conjunto monolítico fue utilizado como un lugar para realizar observaciones astronómicas.

La situación general del conjunto de monolitos con referencia a las montañas que se encuentran justo enfrente, hacia el oriente, permite inferir que las piedras hayan sido usadas para establecer puntos de observación utilizando como referente avanzado las características de la topografía de Las Tres Viejas.

Para analizar este aspecto se procedió a determinar, por medio de simulaciones astronómicas computarizadas, el azimut (ver recuadro) de eventos astronómicos como solsticios, equinoccio y detenciones máximas de la luna teniendo en cuenta la variación sobre estos valores que implica la altura del horizonte local, que en este caso está determinada por la altura de las montañas y del punto de observación.

El azimut es el ángulo formado entre la dirección de referencia (norte) y una línea entre el observador y un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia.

Tenemos entonces unas direcciones hacia el oriente que tienen un amplio rango visual sobre la topografía de la montaña, ya que depende del punto desde el cual se esté observando. Es decir, si mientras se observa el punto de salida del sol o la luna sobre las montañas uno se desplaza de un monolito hacia otro que está a un par de metros hacia el sur o norte, el lugar de la montaña sobre el que se observa el cuerpo celeste se desplaza igualmente. Tenemos entonces un rango de apertura visual sobre la montaña en la cual suceden estos fenómenos. En el plano anexo (Figura 1) podemos ver representados estos rangos determinados por el espacio entre dos líneas del mismo color, correspondientes (cada par) bien sea a solsticios, detenciones máximas o equinoccio.

Como se puede observar, las principales orientaciones generales se dirigen hacia lugares prominentes del relieve del cerro de Las Tres Viejas y de Covadonga.

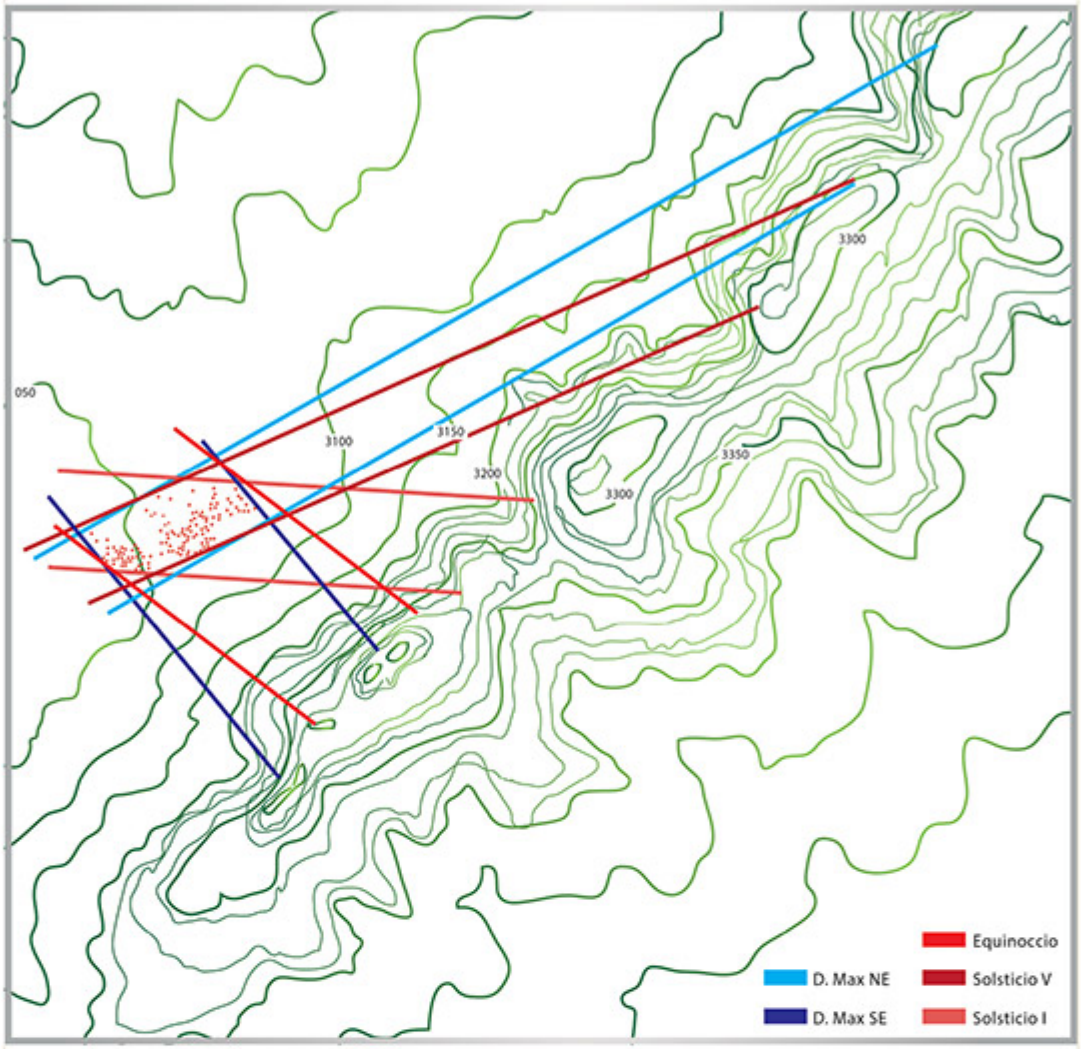


Figura Orientac del conju Se repres visuales e observar astronóm monolític horizonte por las m Viejas. El líneas azu a la deten noreste; l la detenci al sureste solsticio rojas, el en naranj

Orientaciones astronómicas de los monolitos

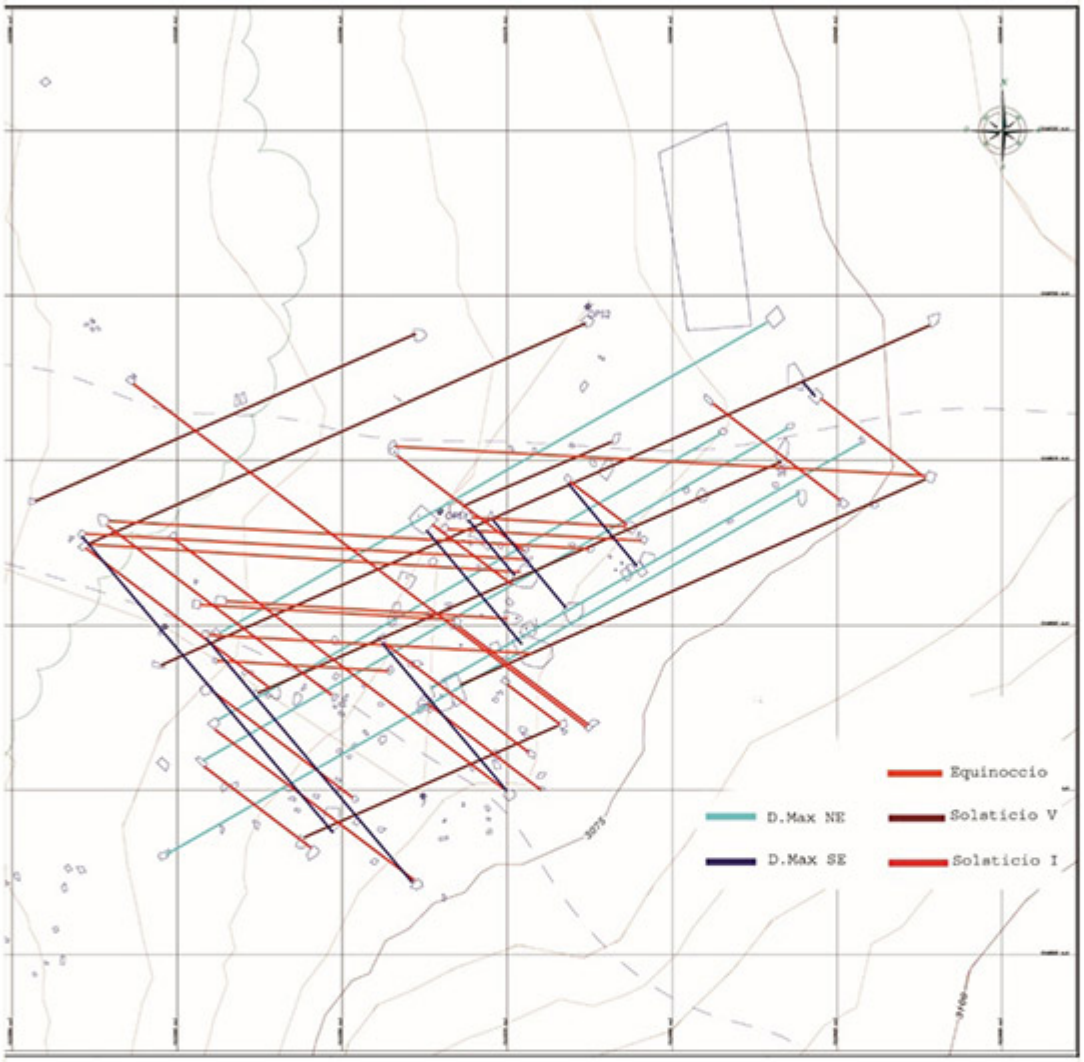
La enorme cantidad de monolitos dispersos por el área implica que estadísticamente existen miles de alineamientos posibles, por lo cual, para sugerir trazados entre estos, se ha utilizado la metodología de seguir las superficies planas o las esquinas o líneas centrales como guías de observación. Esto basado en la hipótesis planteada en investigaciones precedentes (3,4,5,6,7) respecto a la forma en la cual podrían haber sido utilizados los monolitos para establecer líneas visuales hacia eventos astronómicamente significativos sobre el horizonte, empleada anteriormente para interpretar conjuntos monolíticos semejantes que se encuentran dentro del perímetro urbano de la ciudad de Bogotá.

Metodología semejante ha sido utilizada por varios arqueoastrónomos y es un desarrollo de lo establecido por Thom: "Los constructores de megalitos emplearon hileras de piedras enhiestas y grandes menhires aislados para indicar los puntos significativos por donde salían y se ponían el sol, la luna y ciertas estrellas. La muesca de una sierra localizada a distancia del puesto de observación haría, alternativamente, de punto de mira o previsión *(foresight)*... piedras aplanadas apuntan frecuentemente a una muesca... los centros de algunos *cromlechs (standing stone circles)* se empleaban de puestos de observación *(backsights)* de lejanos puntos de mira". (1)

En la exploración sistemática del lugar se encontró que muchas superficies planas indicaban líneas visuales sobre el terreno hacia otros monolitos;igualmente existen líneas determinadas por la forma

general de la roca o por sus esquinas. Tras el levantamiento topográfico y el análisis de la posición de los monolitos, se observa que algunas de las líneas más relevantes están orientadas hacia eventos astronómicos de gran importancia como los solsticios, el equinoccio y las detenciones mayores de la luna.

En el plano anexo (Figura 2) se pueden observar las orientaciones del sector principal del observatorio.



El calendario de horizonte de las Tres viejas

En prácticamente todas las culturas antiguas las fechas más destacadas del curso anual del sol se fijaban utilizando puntos de referencia sobre el horizonte. Dentro de este método para crear calendarios usando características del paisaje, las montañas jugaban un papel primordial. Esta relación entre el tiempo y el espacio geográfico, determinada astronómicamente, dio como resultado lo que se denomina "calendarios de horizonte", que han sido estudiados en otros lugares del territorio muisca como Saquenzipá y Tunja. (3,4,6)

Si tomamos como punto de observación el sector central del conjunto principal de monolitos, tenemos una serie de eventos astronómicos de gran importancia coincidiendo con prominencias topográficas sobre la montaña. Así, por ejemplo, el solsticio de verano (el punto más extremo al norte que alcanza el sol en su movimiento sobre el horizonte) sucede sobre la parte más alta del cerro Covadonga, hacia el noreste. (Figura 3)

Figura
Solsticio
cerro Co

El equinoccio (que es el punto intermedio del recorrido del sol sobre el horizonte) sucede sobre el punto más alto del cerro que se encuentra entre Covadonga y Las Tres Viejas. Es un momento calendárico de gran importancia que divide el año en dos y marca el inicio de las temporadas tórridas en el altiplano cundiboyacense; por ende, cabe esperar que este momento y las lluvias asociadas fuera de gran importancia para la cultura muisca. (Figura 4)

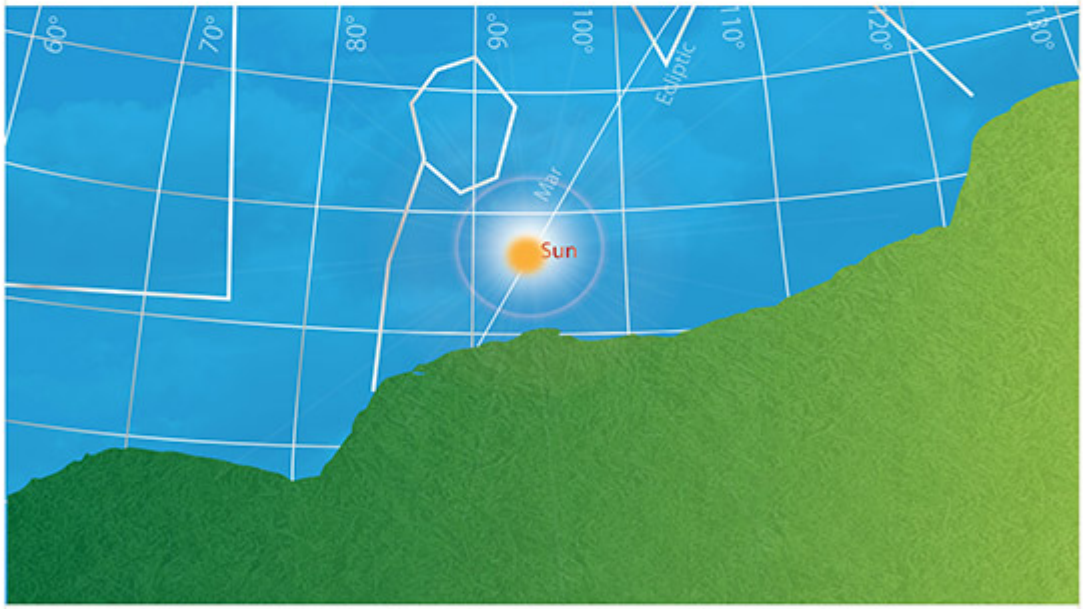


Figura
Equinocc

Por otra parte, el solsticio de invierno sucede en el primer cerro de Las Tres Viejas, llamado Chía. Al parecer, fue de gran importancia para los muiscas ya que alineaciones hacia éste se encuentran en sitios como el templo del sol en Sogamoso, Boyacá, y en la alineación que existe entre la catedral de Bogotá (posible ubicación del templo del Zipa) y el cerro de Guadalupe. (Figuras 5 y 6)

IO SOBRE EL

FIGURA 5
D DE INVIERNO SOBRE
EL CERRO CHÍA.

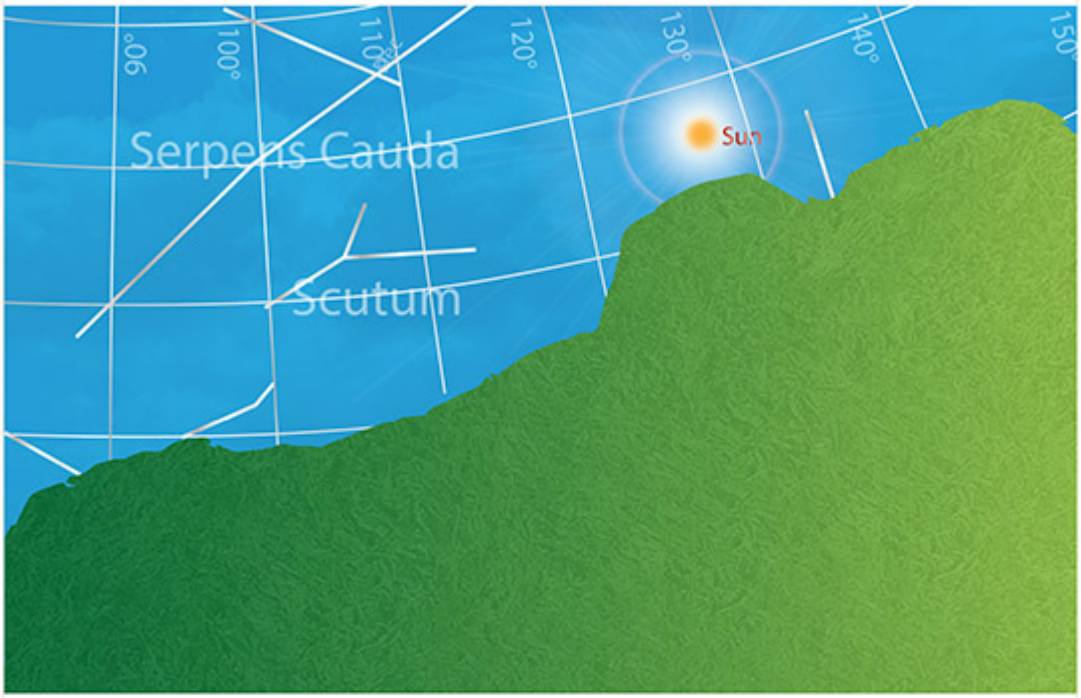
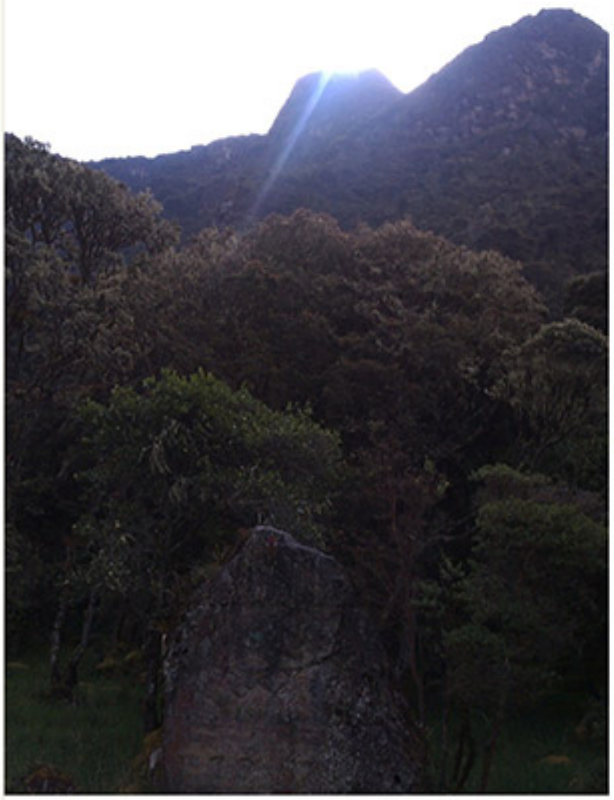


FIGURA 6
ITOGRAFÍA DEL SOL EN
OS DÍAS CERCANOS AL
OLSTICIO DE INVIERNO
OBRE EL CERRO CHÍA.



También la luna fue de gran importancia para los muiscas y es muy posible que los puntos extremos que alcanza al sur y el norte del horizonte en su movimiento hayan sido observados por los sacerdotes astrónomos o Xeques (Chiquis). Ya se han documentado alineaciones a las detenciones máximas de la luna en otras partes del territorio. (3,6,7)

Es notable el hecho de que, visto desde el sector central de la parte alta del observatorio (sitio que, según Carlos Mamanche, era el de mayor importancia ritual), la detención máxima de la luna sucede justo en la depresión topográfica en el costado norte del cerro Chía. Cabe anotar que Chía era la diosa lunar de los muiscas. En la imagen anexa (Figura 7), vemos la simulación de la última detención máxima lunar al sureste sucedida el 22 de junio de 2005 que, prácticamente, coincidió con el solsticio de verano.

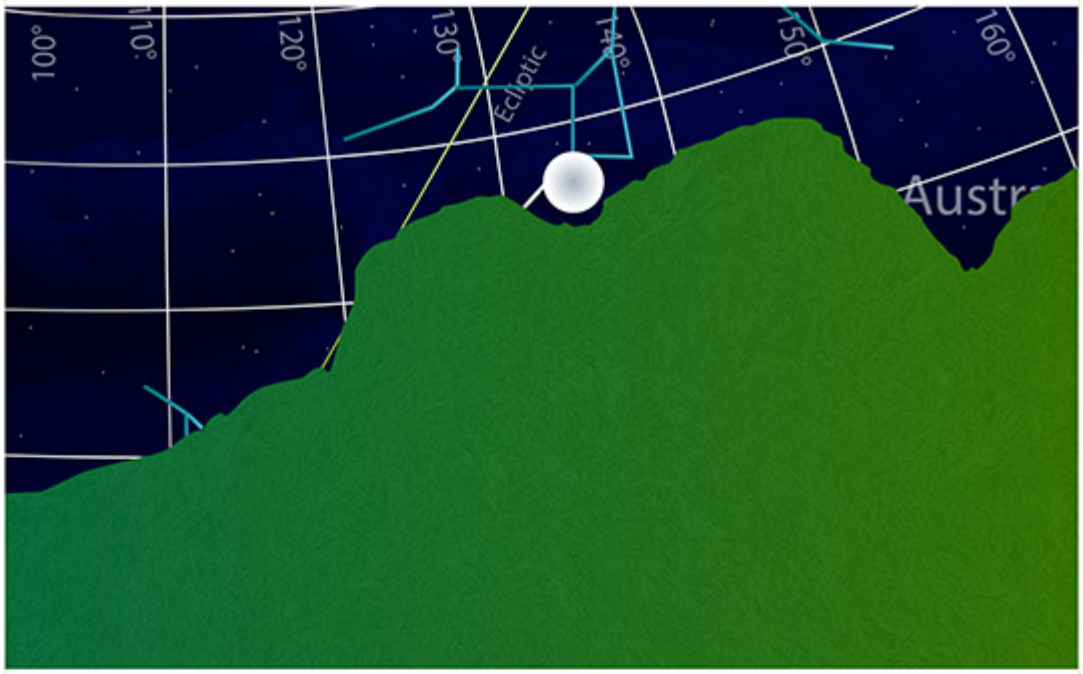


Figura
Detención
sureste e

Otros fenómenos astronómicos de importancia pueden haber sido la salida de constelaciones o estrellas vistas desde el observatorio. Particular importancia tienen la constelación de Orión, uno de los asterismos más notables del cielo, que fue de gran importancia para varias culturas prehispánicas y que, según Reichel, pudo haber sido de importancia para los muiscas. (2) (Figura 8)

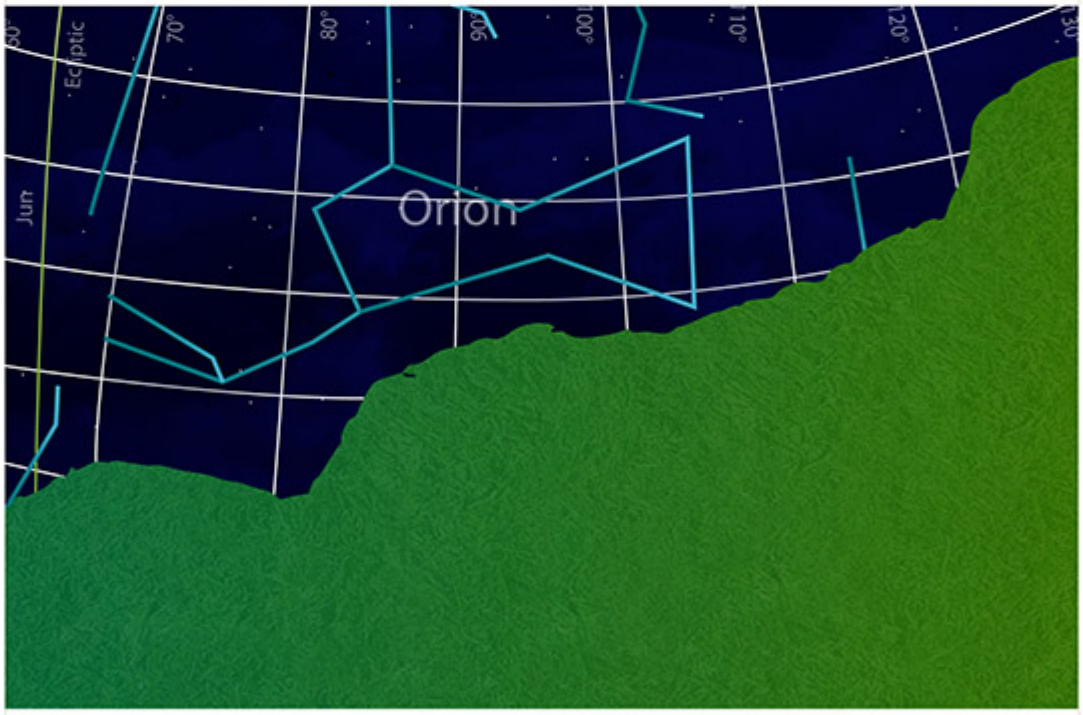
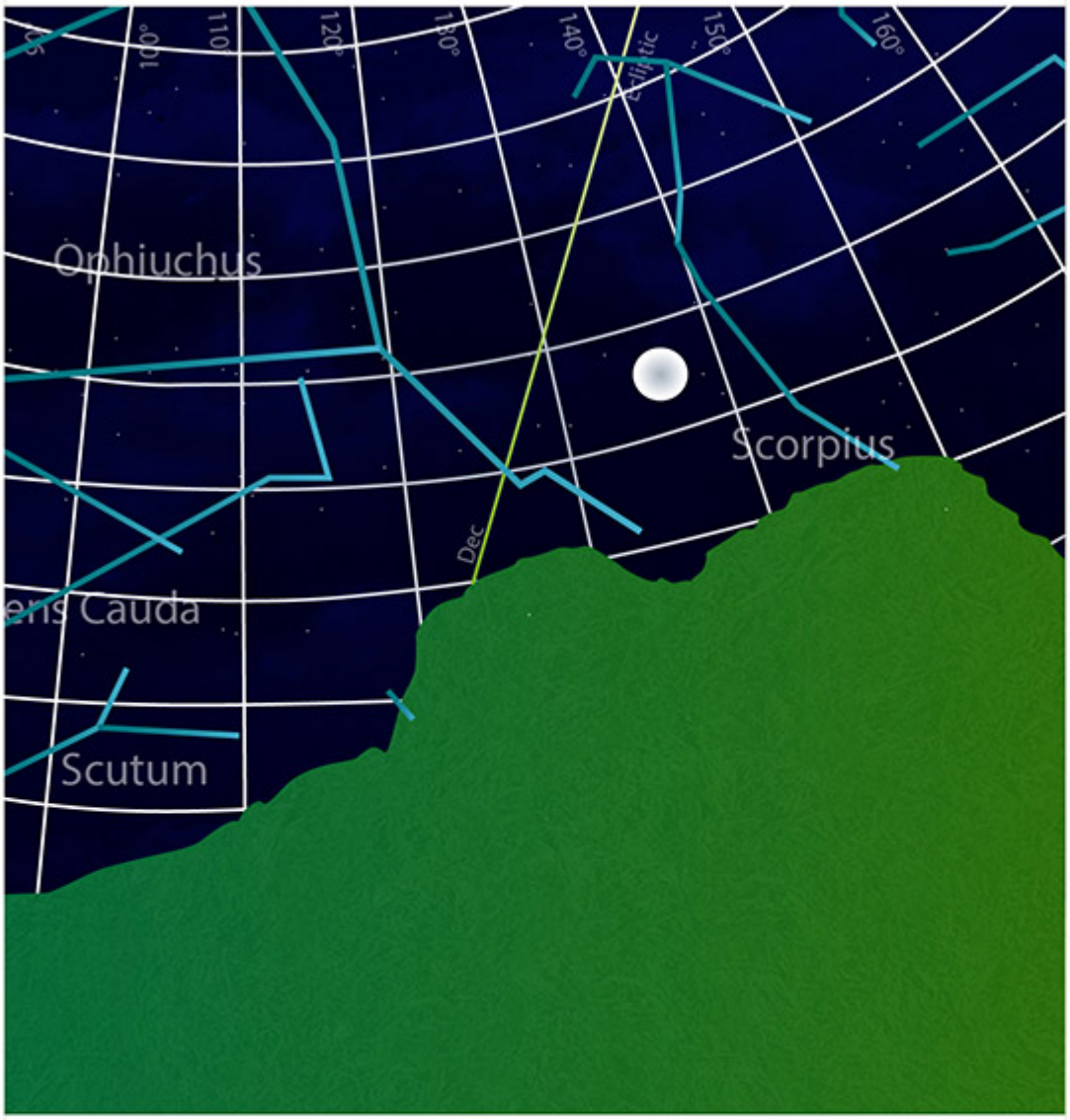


Figura
Orión sa
y Las Tre

Es sugerente observar que la constelación del Escorpión, que en varias culturas prehispánicas ha sido asociada a una deidad malevolente o a algún animal venenoso, vista desde el observatorio sale sobre el cerro de Huitaca. Esta diosa muisca, también conocida como Xubchasgagua, era una deidad malevolente asociada a la luna y personificación oscura de la diosa madre, Bachué. En la imagen anexa (Figura 9) se muestra la constelación del Escorpión saliendo sobre Huitaca al tiempo con la luna en su posición extrema al sureste, y junto al planeta Júpiter.

Figura 9
...ciones geográficas
...o Cha, observatorio



...itre Covadonga

Se observa entonces que los momentos más importantes del calendario solar y las salidas extremas de la luna en su ciclo de 18,6 años ocuparon lugares relevantes de la topografía que circunda el observatorio; además, estas posiciones sobre el horizonte de algunos cuerpos celestes, como es el caso de la luna y de la constelación del Escorpión, se encuentran asociadas a los nombres originales que dieron los muiscas a estas montañas, brindando así evidencia adicional sobre la relevancia que tuvieron los fenómenos astronómicos en este lugar.

Alineaciones geográficas del observatorio

Además de las alineaciones astronómicas más inmediatas sobre la topografía cercana, desde el observatorio se pueden determinar líneas visuales asociadas a eventos astronómicos que llevan a lugares importantes del paisaje circundante. La más relevante sin duda es el eje meridiano sur-norte que, hacia el sur, lleva con precisión hacia la laguna sagrada de Guatavita, Cundinamarca, posiblemente el sitio más importante de la geografía sagrada muisca que rodea al observatorio.

Es también importante anotar que, visto desde la iglesia de Sesquilé, el solsticio de invierno sucede en el mismo lugar que visto desde el sector central de la parte principal del observatorio, es decir, sobre el cerro de Chía, por lo cual el alineamiento desde la plaza central del pueblo pasa por el observatorio para terminar en el primer cerro de Las Tres Viejas. Igualmente, es relevante anotar que la puesta del sol en el cuarto solar al noroeste, vista desde el observatorio, coincide con una línea que pasa por el boquerón llevando a la mina de sal de Nemocón y la iglesia del pueblo. La puesta al suroeste coincide con la terminación de la cadena montañosa (en el mapa, anexo las líneas naranja. Figura 10). Tanto el equinoccio como la puesta de la detención máxima lunar al noroeste llevan hacia los lugares de mayor altura en la topografía de esa zona al occidente del observatorio.

Por último, es necesario recordar que la cadena montañosa en la que se encuentra el conjunto monolítico estudiado tiene una alineación general coincidente con precisión con un eje de 45° que va entre los puntos intercardinales suroeste–noreste, alineación que coincide con la orientación general del territorio muisca y que, como ya se anotó anteriormente, (3,4,5,6,7) es el eje primordial que ordena el territorio y la geografía sagrada muisca al coincidir con el eje que marca el recorrido del dios civilizador o demiurgo solar, Bochica, determinado entre el lugar en el que primero aparece, Pasca (al suroeste), y en donde asciende al cielo abandonando el territorio, Iza (al noreste).

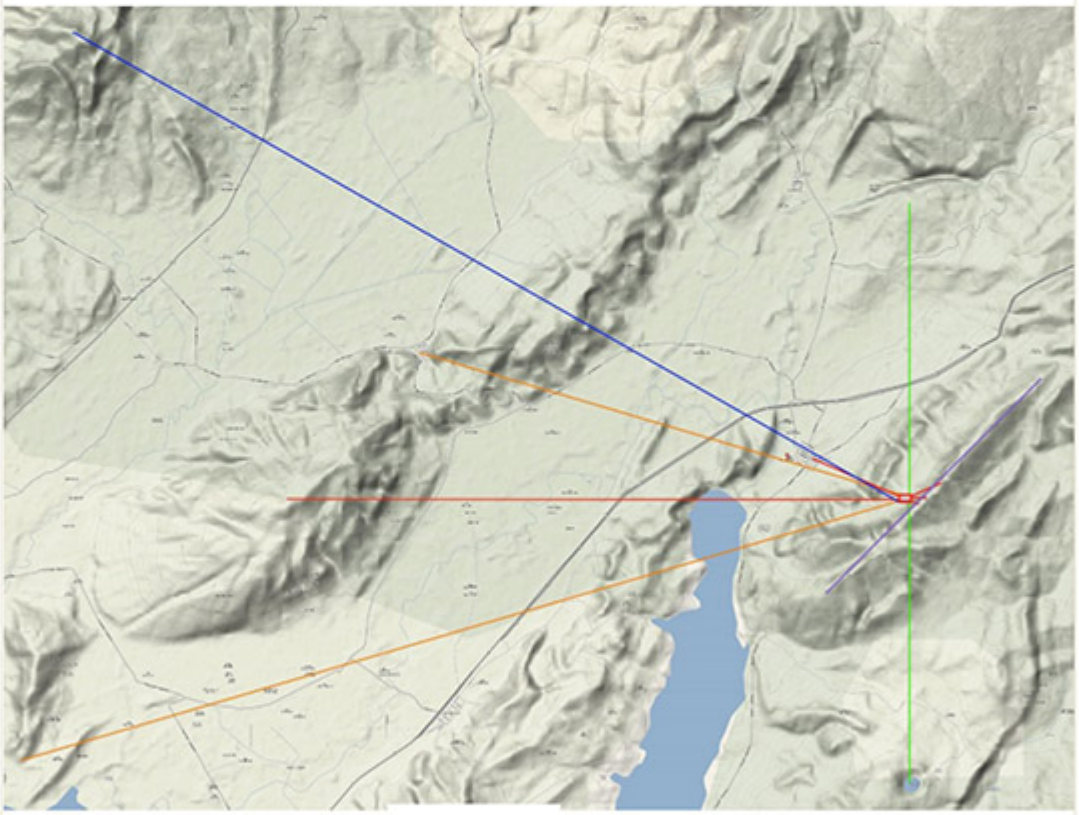


Figura
En el rec
encuentra
monolític
correspo
diana; la
conecta a
laguna de
morada m
general S
la formac
Tres Viej
en la part
el cuarto
desde el c
con una l
boquerón
sal de Ne
pueblo. Io
que parte
del pueblo
cerro de
monolitos
solsticio

Se puede concluir que existe evidencia importante para sugerir que el conjunto monolítico de Las Tres Viejas fue no solo un lugar sagrado y escenario ritual de importancia, también se realizaron allí observaciones astronómicas determinando un calendario de horizonte y una serie de alineamientos que son testimonio del imperecedero conocimiento astronómico de nuestros antepasados muiscas.

REFERENCIAS

(1). Thom A En Krupp Edwin.C.(ed).1989 En busca de las antiguas astronomías. Jane Jordan Browne. Londres.

(2). Reichel Dolmatoff G. Astronomical models of social behavior among some indians of Colombia. In Aveni A,. Urton G. Eds. Ethnoastronomy and Archeoastronomy in the American tropics. Annals of the New York Academy of sciences. New York. 1982.

(3). 2003. Morales J. Arqueoastronomía en el territorio muisca. Monografía de grado. Universidad de los Andes. 2003. Bogotá, Colombia.

(4). 2005. Morales J. Arqueoastronomía en el territorio muisca. El Astrolabio. Revista de Investigación y Ciencia. 2005. Bogotá.

(5). Morales J, Izquierdo A. El instrumental astronómico prehispánico en la cultura muisca. En Trabajos de Arqueoastronomía: ejemplos de África, América, Europa y Oceanía / Ed Lull J, Astrosafor, Valencia. 2006. pPágs. 161-184

(6). Morales J. Archaeoastronomy in the Muisca Territory. in J. A. Rubiño-Martin, J. A. Belmonte, F. Prada and A. Alberdi, eds. Cosmology Across Cultures. Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 2009. Vol. 409.

(7). Morales Pazos JD. Alineaciones astronómicas en el territorio muisca. En Retornando por el Camino de los Antiguos. Instituto Distrital de Turismo, Alcaldía Mayor de Bogotá. Bogotá. 2013.

)O SE
) EL CONJUNTO
VERDE
LÍNEA MERI-
IDIANA SUR
ATORIO CON LA
TA. LA LÍNEA
N ORIENTACIÓN
-NORESTE DE
AÑOSA DE LAS
EA NARANJA QUE
)R REPRESENTA
. NOROESTE,
)RIO, COINCIDE
PASA POR EL
O A LA MINA DE
LA IGLESIA DEL
E, LA LÍNEA ROJA
ESIA COLONIAL
QUILÉ LLEVA A EL
IANDO POR LOS
ESPONDE CON EL
NO.

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

OFERTA ACADÉM
CURSOS 2

- **Marco lógico** — 30 horas
- **Transferencia tecnológica** — 30 horas
- **¿Cómo mejora de los jóvenes in**
- **Presupuesto, cronograma y flujo de caja** — 30 horas
- **Variables estadísticas** — 40 horas
- **Escritura de científicos y te**
- **Metodología de la investigación** — 40 horas
- **Presentaciones científicas: algunos aspectos a considerar** — 12 horas
- **Protección del c**
- **Revisión sistemática e Investigación Cualitativa y software para su uso** — 12 horas
- **Bibliometría: fundamentos y aplicaciones para la evaluación científica** — 30 horas
- **Acredita centrada en la in La experienci**

INFORMES

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acac@acac.org.co
Página web: www.acac.org.co

METEOROS, BÓLIDOS Y METEORITOS EN COLOMBIA

Freddy Moreno Cárdenas
Centro de Estudios Astrofísicos del Gimnasio
Campestrefmoreno@campestre.edu.co

Resumen

En este documento se explica de forma corta como la comunidad científica interesada en la explicación del fenómeno de los meteoritos llegó al concepto moderno. Se presentan las características de los diferentes tipos de meteoritos y se hace un recuento de los bólidos más importantes del último siglo como lo son Tunguska y Brasil. Finalmente se hace un resumen del Bólido de Bogotá, las evidencias que de él nos han llegado, los principales meteoritos encontrados en nuestro país y otros fenómenos de impacto.

Introducción

El espacio interplanetario está albergado por gran cantidad de material que no participó en la formación del Sol, los planetas, cometas y asteroides. A ellos se les llama meteoroides y tienen un tamaño menor a los 10 metros y deambulan en órbitas alrededor del Sol, algunos de ellos se producen cuando un cometa pasa cerca al astro rey y al desboronase quedan flotando hasta que son atraídos por la gravedad terrestre o de otro planeta.

Un meteoro o estrella fugaz es el fenómeno visual asociado con el pasaje de un meteoroide a través de la atmósfera. Ingresan a una gran velocidad a la Tierra, entre 10 y 70 kilómetros por segundo y sufren una fuerte desaceleración, si son pequeños, para derretirse a unos 80 kilómetros de altura, sin alcanzar a llegar a la superficie. Si el meteoroide es más grande puede llegar hasta unos 10 kilómetros sobre el nivel del mar antes de desintegrarse, se torna muy luminoso y se le conoce con el nombre de bólido. El modelo de un bólido es muy parecido al de un cometa, con una cabeza muy luminosa y una larga cola de polvo. Uno muy brillante puede alcanzar una magnitud de -12 (brillo de la Luna llena), y puede durar unos pocos segundos antes de explotar.

"Un meteoro o estrella fugaz fenómeno visual asociado co pasaje de un meteoroide a t la atmósfera."

El término meteorito se refiere a una masa de metal o de piedra, que llega al suelo en pedazos de tamaño variable, a veces en gran número, fenómeno que suele estar acompañado de fuertes ondas de choque, nubes de humo y manifestaciones luminosas. Según estiman Love & Brownlee cada año ingresan a nuestro planeta entre 40.000 y 60.000 toneladas de este material, pero solo entre 36 y 166 meteoritos mayores a 10 gramos caen a la Tierra por millón de kilómetros cuadrados cada año (1). Los meteoritos son el material más próximo que tenemos del universo circundante, nos da información sobre cómo se formó el sistema solar y nos muestran las moléculas y los procesos que debió sufrir la materia para que surgiera la vida. También nos alertan ya que los impactos cósmicos son una amenaza real para la humanidad. Por primera vez la vida tiene la oportunidad de defenderse y los meteoritos nos darán la clave para buscar la mejor forma de hacerlo.

Los primeros reportes históricos e describen una muestra de hierro metálico que pudiera considerarse meteorito datan del año 1900 a.C. pertenecen a los habitantes de la antigua nación Sumeria.

Los meteoritos han caído a la superficie de nuestro planeta prácticamente desde su formación. Se han encontrado más de una docena de meteoritos fosilizados, incrustados en terrenos pertenecientes al Ordovícico (hace 475 millones de años). Los primeros reportes históricos que describen una muestra de hierro metálico que pudiera considerarse un meteorito datan del año 1900 a.C. y pertenecen a los habitantes de la antigua nación Sumeria. Otras crónicas que describen caídas de rocas provienen de Creta (1478 a.C.) y de Japón (861 a.C.). Algunos filósofos del siglo XVIII pensaban que los meteoritos eran rocas terrestres que habían sido golpeadas por relámpagos. Otros especulaban que estos cuerpos habían sido lanzados violentamente por volcanes. Esta idea fue puesta a prueba cuando en 1794 cayó una lluvia de piedras cerca de Siena (Italia), justo 18 horas antes que entrara en erupción el Monte Vesubio (3).

El hecho de que los meteoritos existieran fue tardíamente aceptado por la ciencia. Para finales del siglo XVIII muchos científicos se negaban a creer que podían caer rocas del cielo y su escepticismo se debía a que el mismo Newton había propuesto que en el espacio interplanetario no podían existir cuerpos pequeños (3)

el
l
és de

En 1794 el físico alemán Ernst Chlandi publicó un libro, que se considera el primero en estudiar científicamente a los meteoritos. El argüía que los meteoritos, o por lo menos aquellos compuestos por hierro metálico, ciertamente caían desde el espacio y por lo tanto su origen era extraterrestre. La respuesta de la comunidad científica de la época fue bastante fría, pero al año siguiente hubo una lluvia de meteoritos que cayó sobre Wold Cottage, Inglaterra, lo que permitió el análisis químico de una muestra que dio como resultado la existencia de Níquel en ella y llevó a que por primera vez se hiciera la descripción de un meteorito rocoso. Pero la actitud de los científicos solo cambió hasta que en 1803, cuando cerca de tres mil rocas cayeron sobre la población de L'Aigle, Francia. El ministro del interior francés comisionó a Jean-Baptiste Biot, un joven miembro de la Academia Francesa de Ciencias, quien hizo un dramático y motivador reporte reconociendo a los meteoritos como un auténtico fenómeno de origen extraterrestre. Los estudios minuciosos de los químicos Edward Howard y Jaques de Bournon sentaron las bases de la clasificación moderna de los meteoritos según su composición:

Pétreos: conformados por silicatos.
Metálicos: compuestos por aleaciones de Hierro y Níquel.
Pétreo-metálicos: mezcla de silicatos y aleaciones Fe-Ni.

Los pétreos son los más abundantes con el 94% de las masas estudiadas, se dividen en acondritas (con 16 subclases) y las condritas (15 subclases). Las condritas son aglomeraciones de minerales

cristalinos que se formaron antes que la Tierra existiera. Ellos preservan los remanentes de las nubes de polvo que fueron formadas en las estrellas. Las acondritas son meteoritos rocosos, similares a rocas ígneas, que se caracterizan por haber sufrido procesos de fusión y diferenciación en el planeta o asteroide del cual proceden. Los metálicos representan el 5% y se clasifican por su contenido de Galio, Germanio e Iridio o por el contenido de Níquel. El tercer grupo se divide en palasitas y mesosideritos y representan el 1% de los meteoritos (2).

Según el contenido de Níquel los meteoritos metálicos se subdividen en 3 categorías:

1. Las hexaedritas tienen entre 4.5% y 6.5% de Níquel y están formadas por grandes cristales de kamacita (hierro alfa), deformada mecánicamente por impacto (líneas de Neumann)
2. La octaedrita, llamada así porque las láminas de taenita (hierro gamma) y de la kamacita se forman paralelas a las ocho caras triangulares de un octaedro produciendo las figuras de Windmanstätten.
3. Si el contenido de Níquel es superior al 11% o menor del 6% y no se observa la estructura Widmansttaten, el meteorito se le cataloga como ataxita.

Los meteoritos de mayor tamaño conocidos son: el Hoba, masa metálica de 60 toneladas encontrado en Namibia y el Chaco de aproximadamente 37 toneladas, uno de los quince meteoritos metálicos hallados en Campo del Cielo en el norte de Argentina. El mayor meteorito rocoso corresponde a la caída observada en Jilin ciudad de China en 1976 cuya masa principal tiene 1770 kilogramos.

El choque de cuerpos como cometas y asteroides con planetas produce otros fenómenos como los cráteres de impacto y materiales fragmentados y fundidos que se producen a raíz de las altas temperaturas llamadas tectitas. Los cráteres de impacto fueron vistos de una manera abundante cuando Galileo observó por telescopio la Luna, sin embargo, su explicación es relativamente nueva y se originó solo por los hallazgos subterráneos hechos por Barringer en la primera década del siglo XX y Eugene Shoemaker en 1963 en el cráter del Meteoro.(3)

Gran bólido de Tunguska

Mientras Barringer buscaba los restos del asteroide en pos de obtener el Níquel que había dejado el impacto, ocurría el evento de impacto más importante en los últimos siglos. El 30 de junio de 1908 en Tunguska, una región lejana de Siberia, la tierra era sacudida por una potente explosión con una energía equivalente a 10 megatones, producida por la desintegración de un pequeño cometa o asteroide de unos cincuenta metros de diámetro a 8.5 kilómetros de altura. Como consecuencia, la explosión aplastó un área de 2150 kilómetros cuadrados y derribó más de sesenta millones de árboles. Este fenómeno generó ondas de presión que fueron detectadas por sismógrafos y barómetros en Asia y Europa. La onda sónica derribó casas en los sitio cercanos y mató miles de renos. En Londres se observaron noches iluminadas los días siguientes al evento (4)

Gran bólido sobre Brasil

El periódico L'Osservatore Romano publicó un informe del misionero católico Fidelo d'Alviano donde se relataban los fenómenos característicos del paso y explosión de un bólido ocurrido sobre la zona del río Curuçá, (Brasil), cercano a las fronteras con Perú y Colombia, a 200 kilómetros de la ciudad de Leticia. Cerca de las ocho de la mañana de 12 de agosto de 1930, el Sol se tornó color rojo sangre y la

oscuridad se desplegó sobre todo, la aparición de un polvo rojizo en la atmósfera, dando la impresión que un inmenso incendio estuviese reduciendo a cenizas todos los elementos de la naturaleza. Cenizas finas empezaron a caer sobre las plantas del bosque y sobre las aguas del rio. Intempestivamente desde lo alto se sintió venir un ruido con muchos tipos de silbidos, zumbando como balas o descargas de artillería. Algunos pescadores vieron grandes bolas de fuego que caían del cielo como rayos. Aterrizaron en medio de la selva produciendo una triple conmoción similar al retumbar de un trueno y el esplendor de un rayo. La energía producida por este evento se estimó en 100 kilotones (equivalente a mil toneladas de TNT), notablemente menor que el Evento Tunguska, sin embargo la onda sísmica fue registrada en Bolivia a 1300 kilómetros del punto de impacto (5).

El estudio por los bólidos y cráteres de impacto pertenecen a la Geología Planetaria. En Colombia, Jesús Emilio Ramírez S.J. fue quien primero se interesó por estos temas, específicamente con recolección y análisis de los meteoritos de Santa Rosa de Viterbo (Boyáca) como se verá más adelante. Pero además de este fenómeno se han observado numerosos bólidos y meteoritos que enumeraremos a continuación.

El bólido de Bogotá

"El tiempo del ruido" fenómeno natural sucedido el 9 de marzo de 1687, es uno de los tres hechos más sobresalientes de la historia Bogotá a través de sus 478 años de fundada, junto al terremoto de 1785 y el trágico bogotazo en 1948. El fenómeno sónico se mantuvo en la memoria colectiva por varios medios; primero por la tradición oral, como lo recuerda Groot: 'No hay persona en esta ciudad, ni entre la clase más ínfima, que no haya oído nombrar "el tiempo del ruido", y segundo por la celebración de ceremonias religiosas el 9 de marzo de cada año en agradecimiento a Dios por no haber sucedido desgracia alguna a pesar del estruendo escuchado (6). Una búsqueda en el Archivo Juan Manuel Pacheco de la Universidad Javeriana permitió encontrar el reporte original realizado por Pedro de Mercado S.J. y Juan Martínez S.J. en 1691, el cual sirvió de fuente para los documentos posteriores. Dentro de la narración de lo que se ha llamado "el tiempo del ruido" se tienen descripciones de un caso de pánico colectivo en la ciudad que, por lo inmediatos e intensos, generaron desconcierto, pánico y extrañas hipótesis para explicarlos, que incluían la del mismo juicio final.

La hipótesis astronómica fue presentada por Moreno & Portilla (7), con base en la comparación con otros fenómenos similares reportados en la literatura científica y en los análisis hechos por Cassani y Ramírez, quienes planteaban que el ruido se originó en la atmósfera (6). En ella se expone que en la noche del 9 de marzo de 1687 un pequeño meteoroide entró en la atmósfera terrestre y se fragmentó sobre los cielos del centro de Colombia. Si bien el fenómeno que más resalta la narración es el sónico, la expresión "bolas y proyectiles incendiarios" puede dar a entender que algunos testigos pudieron haber observado el fenómeno visual de la caída del meteoroide. Lo que ocurre es que es muy difícil observar el fenómeno lumínico debido a que la trayectoria visible del bólido suele durar 4 segundos y sólo en algunos casos puede alargarse hasta 20 segundos (2). El olor a azufre es otro de los fenómenos que se han reportado en las caídas de meteoritos y se debe emanaciones de compuestos como la troilita (sulfuro de hierro) que son inyectados en la atmósfera debido al calentamiento que sufren durante la entrada en ella o en el momento del impacto (3).

Cabe la preguntar si algún artista de finales del siglo XVII pudo haber vivido el paso del bólido de Bogotá y haber dejado alguna constancia de los fenómenos sentidos. Gregorio Vásquez de Arce y Ceballos nació y vivió en Bogotá entre 1638 y 1711, y por lo tanto posiblemente vivió la noche del ruido (8). Una revisión de su obra permitió identificar la obra "Santiago patrón de España" en la que aparecen

figuras de ángeles lanzando rocas, situación que podría considerarse una alegoría al fenómeno sentido en Bogotá, si se acepta la hipótesis astronómica del paso de un bólido sobre los cielos de Santafé. Esta explicación se podría entender con el hecho que antiguamente se pensaba que los ángeles eran quienes movían los astros (6)

Otros fenómenos sónicos que han sido escuchados en nuestro territorio son: Maracaibo en 1692, Popayán en 1816, región central de Colombia en 1827, Sonsón, Antioquia en 1854 Gachetá, Cundinamarca en 1883, Cartagena en 1921, Pitalito Huila en1997, Cali en 2007 y Bucaramanga (2010). De estos reportes solo en dos casos se recuperaron meteoritos (9).

La reciente observación de un bólido sobre la región rusa de Chelíabinsk permitió registrar en numerosos videos, como nunca antes se había hecho, los fenómenos producidos por el ingreso e interacción con la atmósfera de un pequeño meteoroide. Lo anterior permitió a un grupo de astrónomos de la Universidad de Antioquia, liderado por los doctores Jorge Zuluaga e Ignacio Ferrín, (10) calcular los elementos orbitales de este cuerpo celeste, el cual produjo numerosas explosiones y una onda de choque con una energía equivalente a 440 kilotoneladas de TNT, es decir entre 20 y 30 veces más que la energía liberada por las bombas atómicas lanzadas sobre Japón en 1945.

Meteoritos Colombianos

El meteorito de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá): fue encontrado el 20 de abril de 1810 por Cecilia Corredor y fue certificado por Boussingault y Rivero en 1823 quienes comunicaron el descubrimiento a Humboldt y este lo presentó a la Academia Francesa. La masa principal fue encontrada en colina de Tocavita, a un cuarto de legua del pueblo y pesaba 612 kilogramos. Siguiendo la moda de la época de fundir armas blancas a partir de meteoritos metálicos, se forjó con el hierro de Santa Rosa una hoja de espada la cual se ofreció al Libertador Simón Bolívar, la dedicatoria decía: "Esta espada ha sido hecha con hierro caído del cielo para defensa de la libertad. Debido a que en Santa Rosa existió por mucho tiempo un seminario jesuita se lograron identificar otros dos meteoritos, el primero descubierto en 1926 por Daniel Velásquez S.J. y el señor Claudio Montaña, a un kilómetro al este de la plaza de Santa Rosa dentro de los predios del Seminario a 50 centímetros debajo de la superficie mientras se hacía una zanja para conducir agua. Su masa es de 38.4 kilogramos. El segundo fue encontrado en 1942, por un agricultor en el campo llamado La Mesita entre Otengá y La Floresta su masa es de 100.5 kilogramos (11). La composición encontrada fue 9.7% de Níquel, 0.23% de Fósforo, 0.03% de Carbono, 39 ppm de Galio y 96 ppm de Germanio. En la actualidad estos dos meteoritos están bajo custodia del Archivo Histórico Javeriano Juan Manuel Pacheco en Bogotá junto a los estudios realizados sobre ellos por Jesús Emilio Ramírez S.J.

Otro meteorito fue hallado en el año1969 y reposa en la facultad de Geociencias de la Universidad Nacional, su masa es de 120 Kilogramos, tiene una forma irregular, caracterizada por la presencia de cavidades, con brillo mate y vestigios de corteza de fusión (12). Un estudio posterior de estos autores lo clasifica como un meteorito anómalo ya que esta textura fue observada sólo en algunas partes de su superficie. Muestras del meteorito de Santa Rosa fueron distribuidas a 26 diferentes instituciones y museos del mundo desde Nueva York hasta Calcuta. La masa mayor que pesaba inicialmente 620 kilogramos fue fraccionada y más de cien kilos fueron cedidos a Henry Ward por lo cual hoy solo tiene 420 kilogramos (11). En el transcurso de los años se han encontrado otras masas que pertenecen a Observatorios como el de la Universidad Sergio Arboleda, recientemente analizados por Sergio Montes del Grupo de Ciencias Planetarias y Astrobiología (GCPA).

Meteoritos de Cali

El bólido fue observado en la tarde del 6 de julio de 2007 sobre la zona central del departamento del Valle, siguió una trayectoria norte-sur sufrió durante la cual sufrió varias fragmentaciones, recuperándose 10 meteoritos con una masa total de 478 gramos. Su estudio es el más completo de un meteorito colombiano realizado hasta ahora, siendo clasificado como una condrita ordinaria (13). El bólido generó una fuerte onda sónica que alarmó los habitantes de la zona y la recuperación del meteorito se logró debido a que cayó en la zona urbana de Cali. La reconstrucción de la trayectoria y los datos para el cálculo de la órbita se lograron gracias a los astrónomos aficionados de Asafi y la Escuela de Astronomía de Cali.

El cráter del vichada

La mayor estructura de impacto en la Tierra es el cráter de Vredfor en África con aproximadamente 300 kilómetros de diámetro mayor que el cráter de Chicxulub con 200 kilómetros. En Colombia existe una estructura circular que posee una importante anomalía magnética y gravimétrica en una cuenca de 50 km de diámetro. Está ubicada en el departamento de Vichada y aunque no está dentro de las estructuras de impacto confirmadas posee varias características propias de estas como la presencia de bloques de roca eyectados, bordes en forma de terraza y anillos interiores y exteriores (14). Muy interesante es el descubrimiento en la isla de Gorgonilla de una capa de pequeñas esferas de vidrio hasta de 1.1 milímetros muy bien conservadas cuya composición química y morfología son similares al material eyectado por el impacto de Chixulub sobre Norteamérica y el Caribe (15)

El interés por los temas propios de la Geología Planetaria en Colombia se está desarrollando con el esfuerzo de personas y grupos de diferentes disciplinas. A nivel global el interés por identificar asteroides peligrosos se ha incrementado pero los presupuesto para algunos proyectos como el Spacewrd Survey son bajos. No son pocos los casos en que asteroides peligrosos son detectados cuando ya han pasado cerca de la Tierra. El estudio de los meteoritos no solo nos acerca a entender cómo se formó el sistema solar y nos muestra las posibles moléculas y procesos necesarios para la aparición de la vida sino que nos alerta y nos da pistas para evitar dichos impactos, por primera vez la vida tiene la oportunidad de defenderse.

REFERENCIAS

(1). Love, S.G., and D.E. Brownlee, A direct measurement of the terrestrial mass accretion rate of cosmic dust, Science.1993. 262, 550-553.

(2). Norton R. The Cambridge Encyclopedia of Meteorites. Cambridge University Press. Cambridge University Press.202.p 77-180.

(3). McSwenn H. Meteorites and their Parent Planets. Cambridge, New York, Cambridge University Pres.1987.

(4). Farinella, P., Foschini, L., Froeschl, C., Gonczi, R., Jopek, T., Longo, G. & Michel, P. Probable Asteroidal Origin of the Tunguska Cosmic Body. Astronomy & Astrophysics. 2001. 377, pp.1081-1097.

(5). Bailey, M., Markham, D., Massai S. & Scriven J. The 1930 August 13 "Brazilian Tunguska" Event. The Observatory, 1995. vol. 115, p. 250-253.

(6). Moreno, F.Los meteoritos en la obra Gregorio Vásquez. Revista El Astrolabio, 2016. Vol 15 No.1. Gimnasio Campestre.

(7). Moreno, F. y Portilla G. Hipótesis astronómica al misterioso ruido escuchado en Santafé de Bogotá el domingo 9 de marzo de 1687. Rev. de la Acad. Col. de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.2006. Vol. XXX. 116. Bogotá: 321-330.

(8). Pizano R. Gregorio Vásquez de Arce y Caballos.1985. Editorial Siglo Dieciseis. Bogotá

(9). Escobar J. & Moreno F. Observación de meteoros, bólidos y ondas sónicas en la Nueva Granada entre los siglos XVII Y XIX. Revista El Astrolabio. 2013. Vol 10 No.2. Gimnasio Campestre

(10). Zuluaga & Ignacio Ferrín. Preliminary reconstruction of the orbit of the Chelyabinsk Meteoroid. 2013. Disponible en http://arxiv.org/abs/1302.5377. Consultado Julio 2016.

(11). Moreno, F. Los meteoritos de Santa Rosa de Viterbo. Revista El Astrolabio. 2010. Vol 9 No. 1. Gimnasio Campestre.

(12). Gil J. y Concha A. Caracterización petrográfica y clasificación textural del Meteorito de Santa Rosa de Viterbo (Boyacá), Colombia. Geología Colombiana. 2006.31, pp 91-103.

(13). Trigo J, Llorca J, Rubin A., Grossman J., Sears D., Naranjo M., Bretzius S., Tapia M. & Guarin M. The Cali meteorite fall: A new H/L ordinary chondrite. University of Meteoritics & Planetary Science Archives. 2009. Disponible en https://journals.uair.arizona.edu/index.php/maps/article/view/15696. Consultado Julio 2016.

(14). Hernández, O., Khurama, S. & Alexander G. Structural Modeling of the Vichada impact structure from interpreted ground gravity and magnetic anomalies. Boletín de Geología. 2011. Vol. 33, N° 1, enero-junio de 2011

(15). Bermúdez, H., Keller, G., Stinnesbeck, W., García, J., Trieloff, M., Rodríguez, J.V., Bolívar, L., Mateo, M.P., and Adatte, T. Discovery of a pristine Chicxulub impact glass spherule deposit on Gorgonilla Island, Colombia, in the Eastern Pacific Ocean.2015.

PRUEBAS DE LA RELATIVIDAD GENERAL

MÁS DE CIEN AÑOS DE EXPERIMENTOS Y TEORÍAS

Alejandro Cárdenas Avendaño
Programa de Matemática, Fundación Universitaria Konrad Lorenz, Bogotá, Colombia.

Resumen

La teoría de la relatividad general celebró su primer centenario en 2015 de manera brillante, siendo, hasta ahora, la mejor teoría que tenemos para describir la interacción gravitacional que es consistente con todos los experimentos y pruebas realizadas hasta el momento. En este artículo se describe brevemente, cómo ha sido probada una de sus predicciones más asombrosas, los agujeros negros, a través de ondas gravitacionales y electromagnéticas.

"Recuérdame nunca volver a una conferencia sobre gravitación".
R. Feynman, a su esposa Geweneth,
después de haber asistido a una conferencia en Polonia en 1962.

Introducción

La falta de emoción de Richard Feynman hacia la relatividad general expresaba realmente un sentimiento generalizado que duró hasta los años 70. Por mucho tiempo, la relatividad general, e incluso sus predicciones más asombrosas, como las ondas gravitacionales y los agujeros negros, fueron el saco de boxeo -analogía prestada de Luis Lehner- de la física teórica; sin embargo, ahora el panorama de la relatividad general brilla como nunca debido al constante flujo de ideas y experimentos realizados con exquisita precisión durante las últimas décadas.

La gravedad no es una fuerza sino una manifestación de la curvatura espacio - tiempo.

La teoría de la relatividad general de Einstein proporciona ideas radicales respecto a la mecánica newtoniana como, por ejemplo, que el espacio y el tiempo no son absolutos pero su combinación, el "espacio-tiempo", de cuatro dimensiones (tres espaciales y una temporal), sí lo es; que la gravedad no es una fuerza sino una manifestación de la curvatura del espacio-tiempo (Figura 1) o que la velocidad de la luz es un límite para el Universo. Entender la gravedad como una manifestación geométrica a través de la curvatura llevó a Einstein a encontrar una ecuación conocida con el nombre de "Ecuación de campo" para describir cómo la materia la produce. Las soluciones de esa ecuación son conocidas como métricas que, en términos escuetos, determinan cómo se miden distancias (espaciales y temporales) en el espacio-tiempo. Por ejemplo, el famoso Teorema de Pitágoras es una métrica para medir distancias en el espacio plano en dos dimensiones.

¿Es correcta? Planteada una nueva teoría física, el trabajo siguiente consiste enteramente en elaborar sus detalles, amplificarla y descubrir y analizar sus posibles consecuencias. De esta manera, la teoría debe resistir la insaciable curiosidad humana, porque si sus predicciones no las confirma un experimento o una observación, es errónea, así de sencillo y complejo. Por estas razones el propio Einstein tuvo que imaginar algunos experimentos para comprobar sus ideas, e incluso calculó con éxito, utilizando su teoría, el único fenómeno conocido en 1915 que la teoría de Newton no podía explicar correctamente, i.e., la anomalía en el avance del perihelio de Mercurio. Sin embargo, no fue hasta 1919 cuando Einstein se convirtió en un ícono para la sociedad, una institución por sí solo, un mensaje y muchas ideas encerradas, tras los resultados de la expedición británica dirigida por Sir Eddington en la cual se comprobó que la presencia de un cuerpo, en ese caso el Sol, desvía el camino de la luz tal como sus ecuaciones dictaban. (1)

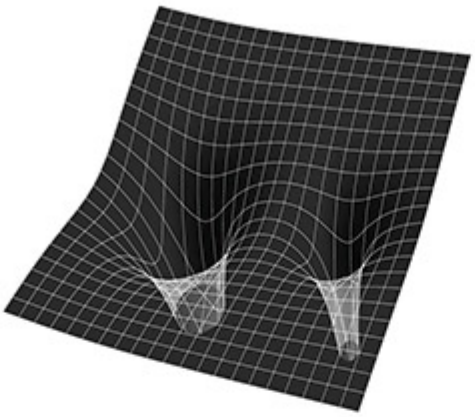


Figura 1
Representación esquemática del efecto que produce la presencia de los cuerpos con masa, en este caso dos agujeros negros, sobre la estructura del espacio-tiempo

Otra consecuencia fascinante de la teoría, que necesitó más años de gestación fue el concepto de agujero negro, un objeto donde la manifestación de la gravedad es tan extrema que toda la masa del cuerpo es apeñuscada en un punto matemático, i.e., con densidad infinita, sin área y volumen. Una de sus diferencias más notorias respecto a otros objetos astrofísicos, e.g., estrellas o planetas, es que los agujeros negros no tienen una superficie real sino una región, a un cierto radio de su centro, conocida como el horizonte de eventos que delimita la zona desde la cual ninguna señal, incluida la luz, se puede propagar hacia el exterior, de ahí el nombre.

Agujero negro es un objeto donde la manifestación de la gravedad e tan extrema que toda la masa del cuerpo es apeñuscada en un punt matemático, i.e., con densidad infinita, sin área y volumen.

El concepto detrás del término agujero negro empezó a tomar la forma que conocemos hoy después del trabajo pionero de Robert Oppenheimer y su estudiante Hartland Snyder en 1939, con el estudio del colapso gravitacional que ocurre cuando ciertas estrellas han consumido todas sus fuentes de energía termonuclear. Como consecuencia, estudiar la muerte de ciertas estrellas (mucho más masivas que nuestro Sol) proporcionó un escenario plausible para la formación de algunos agujeros negros.

Pero no todos los agujeros negros tienen/pueden tener un origen estelar. Existen pruebas indirectas muy convincentes de agujeros negros súper-masivos, i.e., de millones de masas solares (la masa del Sol es $\mathrm{M} = (1.98855 \pm 0.00025) \times 10^{30}\ \mathrm{Kg}$), cuya formación no está completamente entendida ya que, entre otros argumentos, estos candidatos a agujeros negros superan descaradamente la máxima masa teórica permitida para la formación de una estrella, la cual está alrededor de $150\ \mathrm{M}$, y, por lo tanto, no se espera que se formen tras un colapso estelar. Este hecho está en plena discusión científica porque se han observado estrellas, como R136a1, cuya masa excede el valor máximo para que la presión, generada por reacciones termonucleares, no expela las capas exteriores de la estrella antes del colpaso gravitacional.

Sin embargo, los agujeros negros que describe la relatividad general resultan ser objetos muy simples descritos únicamente por tres parámetros; masa, carga y momento angular. De esta manera, casi nada de la información que cruza el horizonte de eventos es visible desde fuera, hecho descrito pictóricamente por el Profesor John Wheeler –quien también acuñó el término agujero negro-, como que

los agujeros negros no tienen "pelo". Nótese que tres parámetros resultan, en general, insuficientes para describir objetos. Por ejemplo, usted, apreciado lector, y un pequeño elefante, con su misma masa, dotados de la misma cantidad de momento angular y carga, a los ojos de un colapso gravitacional en relatividad general resultan indistinguibles.

En relatividad general, la geometría del espacio-tiempo que se forma tras el colapso gravitacional de una estrella debería estar bien descrito por la métrica de Kerr, llamada así en honor a Roy Kerr, quien en 1963 la descubrió. Esta solución solamente involucra dos parámetros, i.e., masa y momento angular, ya que cualquier desviación inicial es radiada rápidamente en forma de ondas gravitacionales y, además, para objetos macroscópicos, el equilibrio eléctrico es fácil de obtener, por lo tanto se espera que la carga no sea relevante.

¿Existen estos objetos y, por lo tanto, regiones en el Universo de las cuáles no podemos conocer su interior? ¿Serán, los agujeros negros una predicción errónea de la relatividad general? ¿Cómo se pueden observar/detectar cuerpos que no poseen una superficie, que no emiten radiación electromagnética y que además solamente están descritos por dos parámetros? Las respuestas a esas preguntas no son triviales y la comunidad científica no ha ahorrado esfuerzos teóricos y experimentales durante las últimos 50 años para "observarlos" y, en principio, entenderlos, a través de sus huellas, dejadas por la interacción gravitatoria con su entorno en forma de ondas *gravitacionales* (2) o en el espectro electromagnético (3) que emite el material que los rodea.

Ondas gravitacionales

El 14 de septiembre de 2015, a las 4:51 a.m. (hora colombiana), dos detectores casi idénticos (los instrumentos más sensibles que ha construido la humanidad), uno en Hanford (Washington) y otro en Livingston (Louisiana), del Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser, o LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), las detectaron por primera vez (4). Asumiendo que la relatividad general es la descripción correcta de este evento, denominado GW150914, dos agujeros negros, con masas de $39\ \mathrm{M}$ y $39\ \mathrm{M}$, respectivamente, colisionaron hace aproximadamente 1,3 billones de años (Figura 2). Realmente, la "ubicación" y "momento" exacto del evento no se conocieron para GW150914, ya que determinar la ubicación de manera precisa requiere tener más estaciones de observación para realizar una adecuada triangulación, y la determinación del momento del evento depende del modelo cosmológico que se asuma (4), así que los intervalos de incertidumbre son muy grandes para esas dos cantidades. ¿Triunfo para la relatividad general? Sí, las ondas gravitacionales son reales y existen en el Universo objetos compactos muy exóticos tipo agujero negro.

La historia de la detección de las ondas gravitacionales tiene más de 40 años, cuando Rai Weiss (MIT), Kip Thorne (Caltech), Ronald Drever (Caltech) y otros científicos tuvieron la gran visión y perseverancia de buscarlas. De hecho, este hallazgo resulta ser también un gran ejemplo de cómo la inversión de recursos económicos y humanos sostenidos en el tiempo dan fruto.

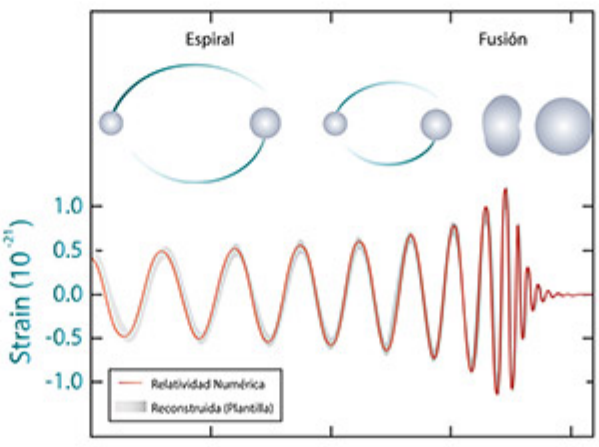


Figura 2
Deformación (Strain) estimada del evento GW150914 proyectada sobre el detector ubicado en Hanford. En la parte superior se presentan esquemáticamente las tres fases fundamentales, i.e., espiral, cuando orbitan y decaen, fusión, cuando la colisión ocurre, y la fase denominada Ring-down, i.e., el perfil de onda generado por el producto final de la colisión. Figura modificada de la Referencia (4).

La forma en cómo los detectores de LIGO funcionan es, en términos escuetos, así: dentro de una cavidad en forma de "L" se utilizan láseres como reglas para medir minúsculas diferencias, del orden de 0,000000000000000001 m, en el camino que la luz recorre dentro de sus brazos, i.e, segmentos "|" y "_", cada uno de 4 km de longitud (es sorprendente que el mecanismo físico por el cual operan los láseres, conocido como la emisión estimulada, fuera predicho también por Einstein en 1917 y llevado a cabo experimentalmente en 1960). La luz es enviada desde cada extremo y reflejada en el otro por un espejo. Cuando una onda gravitacional pasa a través del detector, el espacio-tiempo se altera de tal manera que la longitud en las cavidades cambia y se produce un desfase que se traduce en una deformación (*strain*).

Este observatorio se diseñó con dos detectores ubicados suficientemente lejos, 3.002 km de distancia, para que, dada su alta sensibilidad, no se afecten por de las mismas vibraciones locales. Al comparar los datos de ambos sitios, es posible ignorar las vibraciones que difieren y buscar solamente señales idénticas que tuvieron lugar (casi) al mismo tiempo en ambos lugares.

GW150914 resultó ser el primer hallazgo de ondas gravitaciones; sin embargo, dentro de la misma "jornada de observación" de LIGO, que se llevó a cabo desde el 12 de septiembre de 2015 hasta el 19 de enero de 2016, otro evento significativo e igual de interesante también fue detectado, i.e., GW151226 (5). Es un hecho, las ondas gravitacionales existen y la comunidad científica es capaz de detectarlas.

En los próximos meses LIGO volverá a tomar datos después de haber hecho algunas mejoras y más análisis de información. Además, estos dos detectores no estarán solos en la búsqueda de ondas gravitacionales ya que, en un par de décadas, empezarán a funcionar más estaciones en India y Japón y la misión eLISA (Evolved Laser Interferometer Space Antenna), cuyas primeras pruebas instrumentales han sido exitosas (6).

Espectro Electromagnético

Es de esperar que algunos agujeros negros en el Universo estén rodeados de materia que, debido a la interacción gravitacional que genera, se acumula alrededor en forma de discos y emita intensamente ondas electromagnéticas. De esta manera, bastante información y pruebas indirectas de la existencia de los agujeros negros se han obtenido y analizado desde hace más de medio siglo. La física de estos discos depende de varios parámetros que se han ido estudiando, teóricamente y a través de observaciones, para determinar su composición, temperatura, tasa de acreción (i.e., qué tanto crece por agregación de material), densidad, tamaño, forma, etc. En general, la emisión ocurre principalmente en la banda de los rayos-X para agujeros negros de masa estelar y en la banda UV/óptico para los supermasivos. (Figura 3)

Quizá el ejemplo más claro es el caso del candidato a agujero negro supermasivo Sagitario A* (Sgr A*), una fuente muy brillante en el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea, que a través de mediciones detalladas de los movimientos de las estrellas que orbitan a su alrededor se ha podido conocer con gran detalle su dinámica, distancia y masa, i.e., (8.4 ± 0.4) kpc y $M_{Sgr\ A^*} = (4.5 \pm 0.4) \times 10_6\ M$. permitiendo concluir que es un objeto muy compacto (8).

Si Sgr A* no tiene un horizonte (y no es un agujero negro), la energía radiada por el material que acreta chocaría con una superficie y debería emitir principalmente en el infrarrojo; sin embargo, a pesar de cuidadosas observaciones (9), los astrónomos no han encontrado esa emisión en Sgr A* y la única

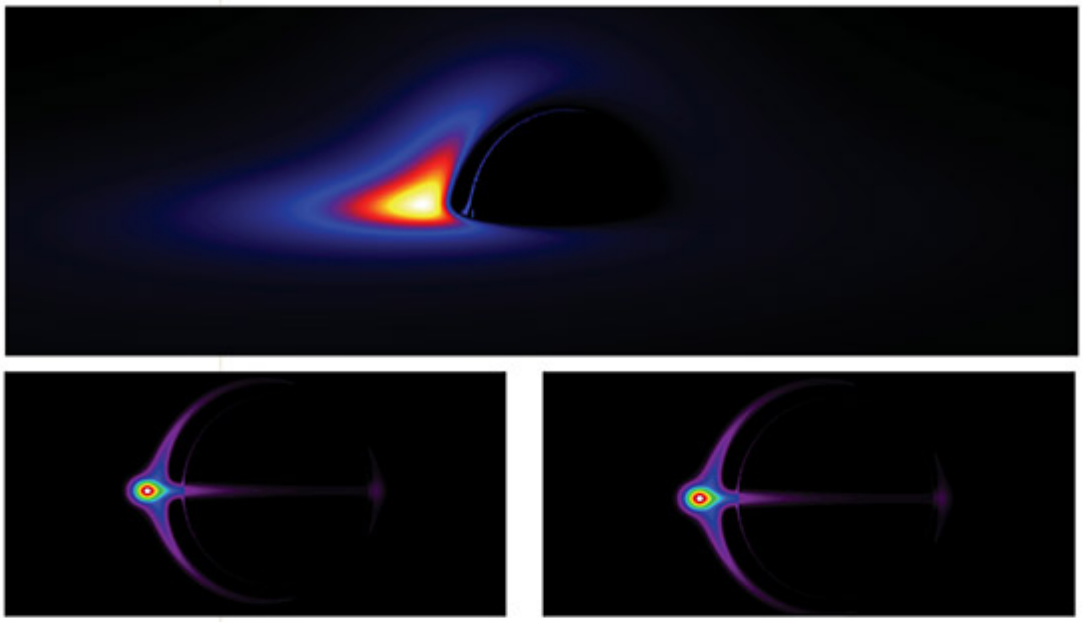


Figura 3
Imágenes simuladas con GYOTO (7) en colores falsos de un agujero negro rotante con un disco de acreción tipo (Arriba) toro polaco (Polish doughnut) y un disco tipo (Abajo) Page-Thorne vistos desde muy lejos y aproximandamente a un ángulo de 90º medido con respecto al eje de rotación del agujero negro. En ambas figuras se pueden observar efectos relativistas, e.g., el corrimiento al rojo gravitacional, direccionamiento Doppler y la desviación de la luz.

manera de reconciliar esta discrepancia sin un horizonte es que el material que cae en picada radia todo el exceso de energía antes de "golpear" algo, pero un mecanismo con la eficiencia requerida no se conoce en la física.

Discusión

Aunque las mediciones y experimentos gravitacionales hechos hasta ahora resulten en brillante acuerdo con la relatividad general (1), nuestro entendimiento actual del mundo físico nos deja con pocas dudas sobre el hecho de que la teoría de la relatividad general debe fallar en cierto límite, en particular cuando describe densidades y curvaturas infinitas en el centro de los agujeros negros y en el Big Bang. Este hecho nos induce a pensar profundamente en fenómenos gravitacionales no descritos por la relatividad general que permitan derivar un marco consistente con la mecánica cuántica, la cual, por su parte, describe con impresionante detalle todos los fenómenos no gravitacionales conocidos.

Durante las últimas décadas no solamente se ha querido comprobar la teoría hasta precisiones arbitrarias o caprichosas, sino también se han buscado desviaciones detectables a través de ondas gravitacionales (2) y electromagnéticas (3), pensando ambos acercamientos como complementarias (10).

Al utilizar la navaja de Occam, la mejor explicación de los resultados de LIGO resultan ser agujeros negros con masas estelares descritos por la métrica de Kerr; sin embargo, encontrar una desviación de la solución de Kerr a través de mediciones en ondas gravitacionales o electromagnéticas implicaría, dentro de la relatividad general, que el objeto compacto no es un agujero negro y que podría ser, por ejemplo, uno exótico desconocido que mimetice un agujero negro (11), una configuración estelar estable, un agujero de gusano (Figura 4) o, simplemente, que los agujeros negros son diferentes y la relatividad general debe ser modificada para describir adecuadamente el régimen de campo fuerte. Además, la relatividad general no es la única teoría de gravitación que tenemos disponible en la literatura científica, así que este tipo de eventos y experimentos proporcionan cotas y límites teóricos para estudiarlas, restringirlas, validarlas o rechazarlas (12).

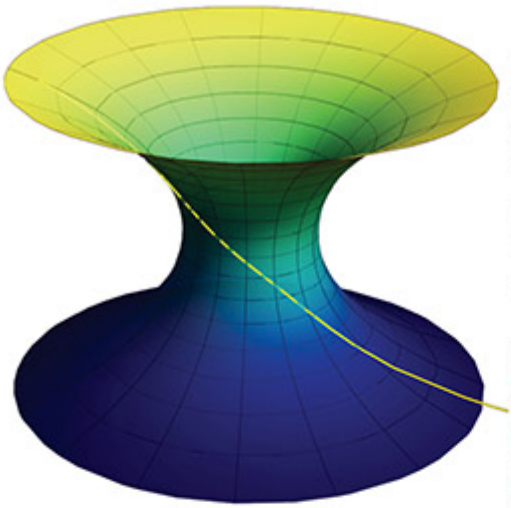


Figura 4
Algunas soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein describen agujeros de gusano, pero hasta la fecha no se tiene ningún indicio observacional de su existencia. En la figura se presenta un diagrama embebido de un agujero de gusano tipo Morris-Thorne y una representa esquemática, en amarillo, del camino de un rayo de luz que cruza la garganta.

La teoría de la relatividad general es una buena teoría y continuará proporcionándonos muchas sorpresas más. Eventualmente la gravedad perderá su carácter *sui generis* a través de la constante interacción entre la teoría y el experimento, y los siguientes años no serán la excepción. El futuro brilla para la ciencia y la insaciable curiosidad humana, ya que se pueden y se harán grandes progresos.

El fruto brilla para la ciencia y la insaciable curiosidad humana, ya que se pueden y se harán grandes progresos.

Agradecimientos

A Nicolás Yunes, por sus comentarios, lectura cuidadosa y crítica del texto.

REFERENCIAS

(1). Will C. The Confrontation between General Relativity and Experiment. Living Rev. Relativity. 2004;17(4):1-117.

(2). Yunes N, Siemens X. Gravitational-Wave Tests of General Relativity with Ground-Based Detectors and Pulsar-Timing Arrays, Living Rev. Relativity. 2013;16(9):1-123.

(3). Bambi B, Jiang J, Steiner J F. Testing the no-hair theorem with the continuum-fitting and the iron line methods: a short review. Class. Quant. Grav. 2016;33(064001):1-19.

(4). Abbott B P. et al. [LIGO Scientic and Virgo Collaborations]. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. Phys. Rev. Lett. 2016;116(061102):1-16.

(5). Abbott B P. et al. [LIGO Scientic and Virgo Collaborations]. GW151226: Observation of Gravitational Waves from a 22-Solar-Mass Binary Black Hole Coalescence. Phys. Rev. Lett. 2016;116(241103):1-14.

(6). Armano M. et al. Sub-Femto-g Free Fall for Space-Based Gravitational Wave Observatories: LISA Pathfinder Results. Phys. Rev. Lett. 2016;116(231101):1-10.

(7). Vincent F. Paumard T. Gourgoulhon E. Perrin G. GYOTO: a new general relativistic ray-tracing code, Class. Quant. Grav. 2011;28(225011):1-20.

(8). Ghez A M. Salim S. Weinberg N N. et al. Measuring Distance and Properties of the Milky Way's Central Supermassive Black Hole with Stellar Orbits. Astrophys. J. 2008;689:1044-1062.

(9). Doeleman S., et al., Event-horizon-scale structure in the supermassive black hole candidate at the Galactic Centre. Nature. 2008;455:78–80.

(10). Cardenas-Avendano A. Jiang J. Bambi C. Testing the Kerr black hole hypothesis: comparison between the gravitational wave and the iron line approaches. Phys. Lett. B. 2016;760:254-258.

SUSCRÍBASE

Revista Educación y Cultura

32 años construyendo el movimiento pedagógico

1 año: (6 revistas) $65.000
2 años: (12 revistas)$125.000
3 años: (18 revistas) $180.000

CEID - FECODE
Calle 35 No. 14-55 Bogotá - Teléfono: (1) 2453925

Carlos A. Benavides Gallego
Fundación Universitaria Konrad Lorenz
cabenavidesg@unal.edu.co

Resumen

En este artículo se describe el proceso para la construcción de un telescopio reflector newtoniano. Inicialmente se hace una pequeña discusión sobre la importancia de las ondas electromagnéticas para el estudio y exploración del universo, después se habla sobre la historia y el origen del telescopio comentando algunos aspectos importantes y, finalmente, se describe su proceso de construcción haciendo alusión a los materiales y pruebas más importantes.

Es inevitable observar el cielo nocturno y no cuestionarnos sobres sus orígenes, su funcionamiento y su evolución. Pero, ¿cómo ha hecho el ser humano para explorar y entender el funcionamiento de objetos que están a millones de años luz? Muchos de los instrumentos usados por los científicos para la exploración del universo tienen como base fundamental un concepto físico: las ondas electromagnéticas, pues la luz que recibimos de las estrellas lejanas y la que se refleja en los planetas son catalogadas como tales; por lo tanto, los instrumentos diseñados por el ser humano tienen como función principal captar estas señales. En la Figura 1 se muestra lo que se conoce como el espectro electromagnético: la clasificación de las ondas de acuerdo a su frecuencia y longitud de onda. Para entender un poco mejor la información que nos presenta, pensemos en lo siguiente: imaginemos una cuerda de cierta longitud, con uno de sus extremos atado a una pared mientras se sostiene el otro con la mano; si se mueve el extremo libre, verticalmente y de manera periódica, se generan pulsos que viajan a través de la cuerda, los cuales, después de cierto tiempo, adquieren la forma que se muestra en la Figura 2 (c). Las ondas así formadas están caracterizadas por sus crestas y valles, su longitud de onda, frecuencia, periodo y amplitud (Figura 3). Intuitivamente, la forma final de la cuerda dependerá del movimiento de la mano: si es lento, es decir, si la frecuencia es pequeña, la longitud de onda será mayor; si, por el contrario, es rápido (mayor frecuencia), la longitud de onda será menor, como muestran claramente las figuras 1 y 4.

Por lo tanto, existe una relación importante entre la frecuencia y la longitud de onda, y con ella, la energía asociada: a mayor frecuencia, menor su longitud de onda y mayor la energía que contiene. Así pues, la variedad de las ondas presentes en el espectro, de las cuales el ser humano solo percibe una pequeña franja, va desde las más energéticas, como los rayos gamma, hasta las ondas de radio, que contienen menor energía. Es precisamente esta variedad en el espectro lo que nos permite estudiar el universo desde distintas perspectivas.

Figura 1

o
gnético. Imagen
(1)

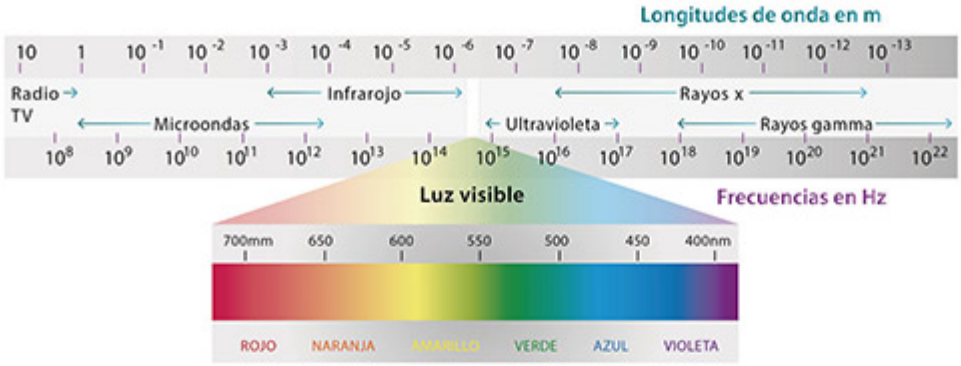


Figura 2

ación de una
l.
móvil más onda

. Resultante.
ada de (2).

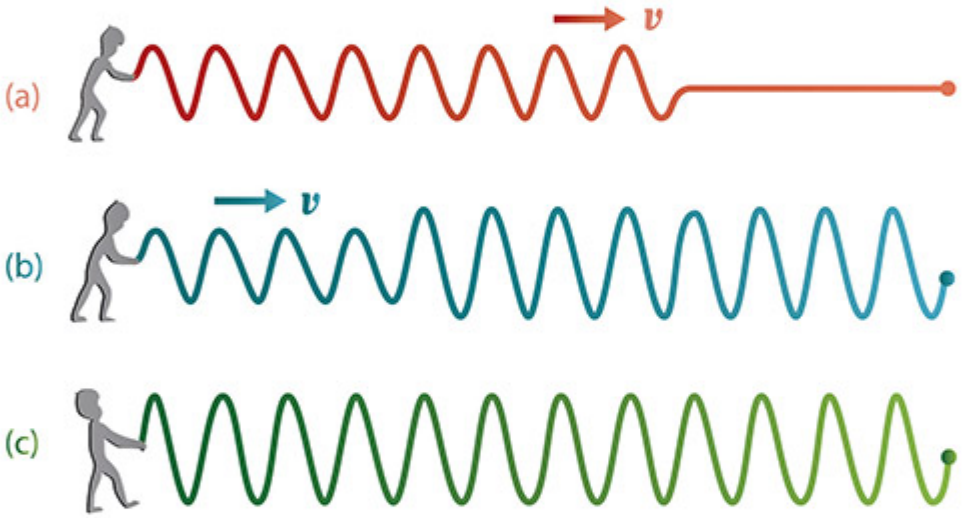
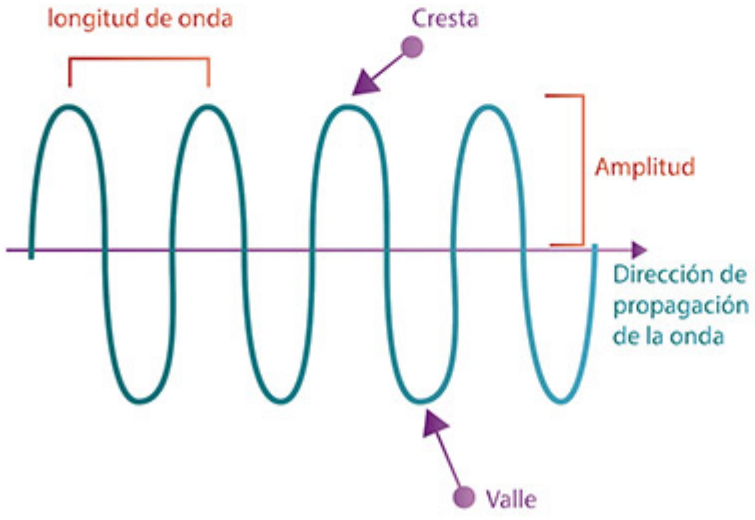


Figura 3

terización de una
ongitud de onda,
λ en nanómetros,
stancia entre dos
consecutivas, y la
ncia es el número
los por unidad de
o. Figura tomada
de (3)



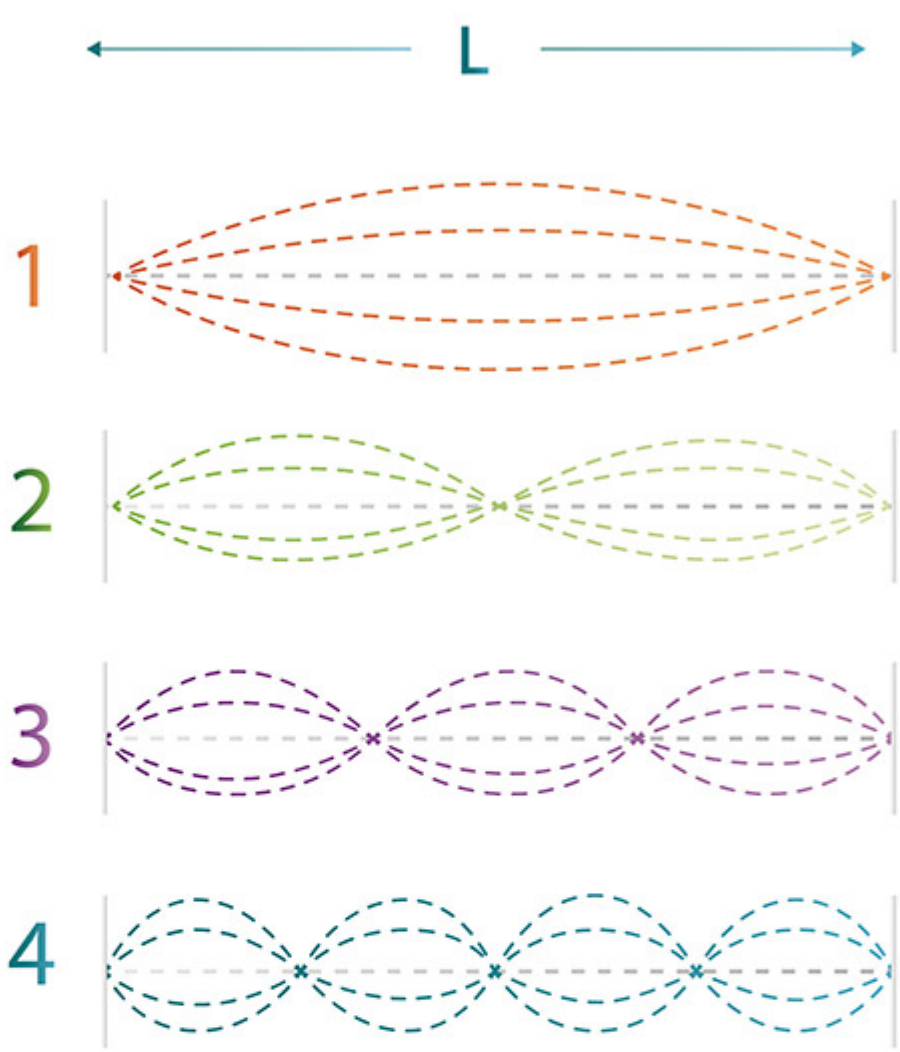


Figura
Forma d
distinta

Como se mencionó antes, las señales que envían los objetos celestes en forma de ondas electromagnéticas, como la luz, son de gran interés para los astrónomos, pues en ellas hay información valiosa que permite abrirnos paso en esa selva de preguntas en la que está sumergida la exploración. Es por eso que en este escrito, y motivados por la idea de que todos tenemos derecho a explorar el cosmos, nos centraremos en la construcción de un dispositivo que permite observar el universo y que funciona en el sector del espectro electromagnético conocido como luz visible, aquel que los ojos están en capacidad de percibir, y que recibe el nombre de **telescopio**.

Antes de su llegada en 1608, la observación del universo estaba completamente restringida, pues lo único que podía estudiarse eran las estrellas y algunos planetas que se veían a simple vista (5). Cuando el telescopio aparece en escena gracias Jan Lippershey, un holandés fabricante de lentes, se abre la posibilidad de observar más profundo en el espacio. El instrumento construido por Lippershey, basado en la refracción de las ondas de luz, consistía de dos lentes de una pulgada de diámetro, uno convexo y el otro cóncavo, dispuestos de tal forma que las

Cuando el telescopio aparece
escena gracias Jan Lippershey
holandés fabricante de lentes
abre la posibilidad de observa
profundo en el espacio.

IERDA PARA
UENCIAS.

imágenes aumentaban su tamaño tres veces; más adelante, Galileo Galilei construyó un telescopio que podía magnificar la imagen ¡hasta unas 30 veces! (5), permitiéndole hacer muchos descubrimientos entre los que se encuentran algunas lunas de Júpiter, las cuales lo llevaron a pensar que las órbitas de Aristóteles no existen y que todos los cuerpos celestes no giran alrededor de la Tierra (6). Esto fue un golpe contundente al geocentrismo que promulgaba la iglesia católica de la época y que le generó muchos problemas.

Diversos telescopios basados en el de Lippershey fueron construidos por astrónomos aumentando cada vez más la capacidad de observación, y por ende, la capacidad de dar respuestas, proponer nuevas teorías y generar nuevas preguntas. Sin embargo, con el incremento en la magnificación de los telescopios comenzó a surgir un problema en la formación de las imágenes, causado principalmente por la curvatura de los lentes: aberración. Con la intensión de solucionarlo, Sir Isaac Newton comenzó a estudiar la formación de las imágenes a través de superficies reflectoras (espejos), como consecuencia de sus investigaciones en óptica. Todo este esfuerzo concluyó con la aparición del telescopio reflector newtoniano en 1668 (5), un concepto muy distinto al usado en los telescopios refractarios. Mientras estos últimos se basan en la formación de imágenes a través del comportamiento de la luz al cambiar de medio (refracción), el diseñado y construido por Newton se basa en la formación de imágenes a través de espejos (reflexión), por ende, existen dos tipos de telescopios, cada uno de los cuales se basa en distintos comportamientos que experimenta la luz. Un esquema del telescopio newtoniano se muestra en la Figura 5.

Figura 5
. DEL TELESCOPIO
R NEWTONIANO.
ITRA POR LA
, SE REFLEJA SOBRE
ICIE DEL ESPEJO
, PASA AL ESPEJO
IO Y, DE ÉSTE, AL
FIGURA TOMADA

En este escrito está contenido, a grosso modo, los aspectos más importantes en la construcción de un telescopio reflector newtoniano, los cuales se dividen en cuatro etapas fundamentales que describiremos a continuación: la construcción del espejo primario, test de Foucault, plateado del espejo y creación de la montura.

En la fabricación del espejo primario se usaron dos discos de vidrio de 15,25 cm de diámetro y 19 mm de grosor. Uno de estos será el espejo primario y el otro, la "herramienta" con la que se realizará el pulido. En la referencia (5) se recomienda que ambos sean de pírex, un tipo de vidrio resistente a cambios bruscos en la temperatura. Sin embargo, este tipo de vidrio es costoso; además, la idea de este artículo es describir la construcción de un telescopio reflector con materiales de fácil acceso.

Para el proceso de pulido se usó un material conocido como carburo de silicio, usado para la fabricación de lijas y discos para pulir metal. El carborundo tiene varios calibres. Para el espejo fue necesario usar los calibres 80 y 400; en la parte final del pulido se usó óxido de hierro rojo, un polvo muy fino. Ver figuras 6a y 6b

(a) (b) (c) (d)

Figura
(a) Carb
No. 80
(b) Óxid
(c) Puli
(d) Algu
integra

Para iniciar la fabricación del espejo primario, es necesario ubicar la herramienta a una altura cómoda, por ejemplo, una mesa. También se recomienda que repose sobre papel periódico humedecido para evitar que se deslice al realizar los movimientos de pulido como muestra la Figura 6c. Una vez la herramienta esté ubicada correctamente, se procede añadiendo homogéneamente sobre la superficie una cantidad mesurada del carburo No. 80 y luego agregamos un poco de agua; después, se coloca la superficie del espejo primario sobre la "herramienta" que contiene la mezcla de carburo y agua, se gira un poco para distribuir mejor los cristales y se comienza el pulido realizando movimientos horizontales. Es importante generar la presión en el centro del espejo primario, y hacer los movimientos con una amplitud tal que el centro coincida con el borde de la herramienta en cada "brazada" (movimiento horizontal y periódico del brazo).

Se deben contar nueve "brazadas", después de las cuales, se gira el espejo en contra del movimiento de las manecillas del reloj y se repite el proceso; así se va generando la curvatura del espejo. Al final del pulido, el radio de curvatura debe ser de 2,49 m; para corroborarlo, se mide la sagita, que debe tener un valor de 0,047 pulgadas. Es muy importante, cuando se esté cerca al valor de la sagita, pasar del calibre No. 80 al 400.

(a) (b) (c) (d)

Test
(a) E
etapa
curva
que l
traba
(b) M
etapa

Figura
Esquem
construi

Al trabajar con el carburo, la superficie del espejo se ve opaca y porosa, por lo tanto, una vez se haya obtenido la curvatura, se debe suavizar su superficie para el posterior plateado. Para ello, se debe construir lo que se conoce como *pitch lap* a partir de cera de abejas y colofonia. Como primera medida, se ubica la herramienta en un molde de cartón, como se muestra en la Figura 6a, y a continuación se vierte la colofonia previamente derretida; una vez se enfría, se procede vertiendo la cera de abejas sobre un molde de cuadriculas ubicado de tal forma que el centro de la herramienta quede por dentro de una de estas cuadriculas, como se muestra en las figuras 6b y 6c. Finalmente se aplica una capa de jabón sobre la superficie pulida del espejo para evitar que la cera de abejas se adhiera y se coloca sobre el molde haciendo presión para que la cera tome su forma y, por ende, su curvatura. Pasados 50 minutos, se retira el molde, se agrega óxido de hierro rojo sobre la superficie del pitch lap, un poco de agua y se pule nuevamente el espejo haciendo las mismas "brazadas" de antes hasta obtener la textura inicial del vidrio.

Imág

(a) E
(b)

(c)

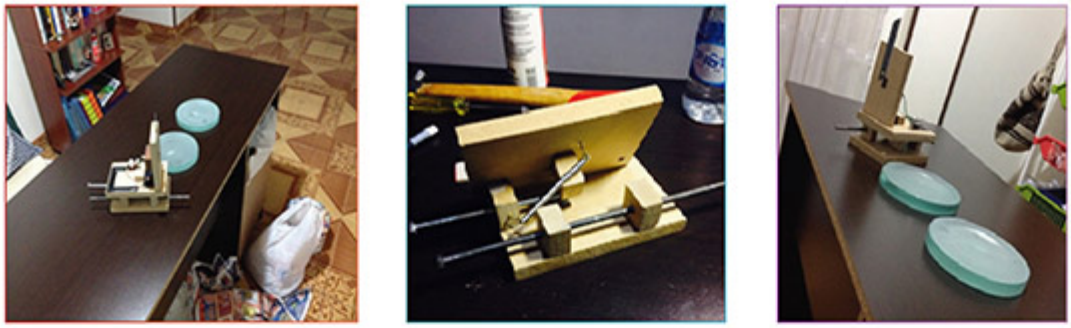
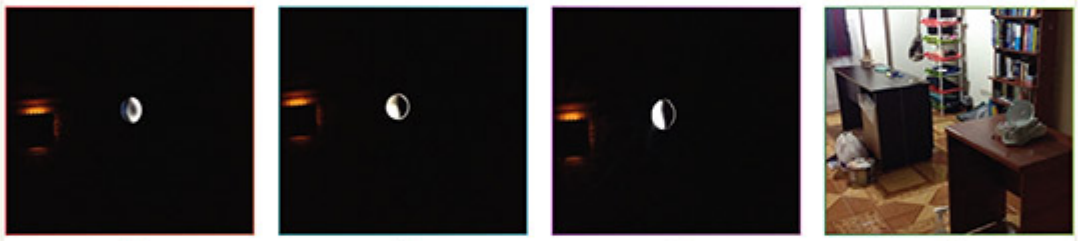


Figura 7
SILICIO
DUCAULT
O POR LOS
ERRO ROJO
ES DEL SEMILLERO.

Después del proceso de pulido, se debe realizar el test de Foucault. Para ello es necesario la construcción de un dispositivo con el cual hacer las pruebas. En la Figura 7 se ve el modelo fabricado por los estudiantes del Semillero de Talentos de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz basados en una prueba que hallaron por internet (8). El test de Foucault permite estudiar la superficie del espejo fabricado, ya que nos muestra las zonas donde hace falta más trabajo de pulido como muestra la Figura 8; además de la forma del espejo, nos permite hallar la distancia focal. De acuerdo a los ensayos realizados, se pudo establecer que la distancia focal del espejo primario fue de 1,25 m, lo que concuerda con los datos suministrados en (5). Finalmente, la Figura 8d muestra el montaje del test, que debe ser realizado en la oscuridad.



(a) (b) (c) (d)

Figura 8
ULT.
SUS PRIMERAS
ESTRA LA
LA ZONA MIENTRAS
S NECESITAN MÁS

L ESPEJO EN UNA
IA.
N SU ESTADO FINAL.
TEST.
DEL *pitch lap*

El plateado del espejo es el proceso más delicado ya que involucra una reacción química, por lo tanto, es importante para quien esté construyendo su propio telescopio es importante contar con la ayuda de un experto en la materia pues será necesaria la preparación de soluciones. Una recomendación importante: es vital conocer muy bien cada uno de los reactivos presentes en el proceso de plateado antes de cualquier intento. Para ello, pueden consultar la hoja de seguridad de cada reactivo, la cual contiene mucha información sobre la manipulación y algunos consejos en situaciones de peligro.

(a) (b) (c) (d)

Figura 9
EL PROCESO DE PLATEADO.
VO DE TOLLENS.
A INICIAL EN UN
BO DE ENSAYO.
FORMADO EN EL TUBO.
PEJO PRIMARIO.

El plateado del espejo se basa en una prueba química llamada test de Tollens. Su objetivo principal es evaluar la presencia de aldehídos; si agregamos un aldehído a una solución que contiene el reactivo de Tollens, entonces hay un precipitado de plata metálica. En ese sentido, si sumergimos nuestro espejo en esta solución y agregamos un aldehído, se formara un espejo de plata curvo con el que podemos ¡generar imágenes magnificadas! Es muy probable que deban añadir un poco de calor y repetir varias

veces el mismo proceso hasta formar el espejo. Para la preparación de la solución llamada reactivo de Tollens pueden buscar información en internet (9) y diseñar la practica con un experto de química. En la Figura 9 se pueden ver algunas imágenes durante el plateado y el espejo formado.

Figura
Constr
tipo Do

El proceso de construcción de la montura no es complicado, sin embargo, hay que tener en cuenta la distancia focal del espejo primario y la posición del ocular (ver referencia (5)). Hay varios tipos de monturas: altacimutales, ecuatoriales, alemana, de horquilla, etc. (10). Para el telescopio, utilizamos una montura altacimutal tipo Dobson que consiste en una base de madera que se apoya en el suelo y una plataforma que gira sobre sí misma y actúa como eje acimutal, permitiendo el giro de izquierda a derecha o viceversa. Sobre ella se colocan dos soportes que configuran una especie de "caja" con dos funciones principales: soportar el peso de la estructura sobre la base y actuar de eje de altitud a través de unos cilindros de soporte atornillados en su centro de masa (10). En la Figura 10 se pueden apreciar algunas imágenes de la construcción del soporte.

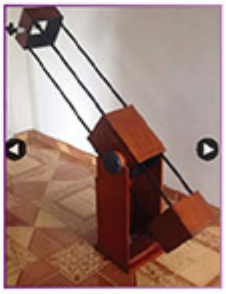


Figura
Algunas
telescopi

Figura
Parte de
en la co
telescop
proyecto
por la F
Universi
Lorenz.

Finalmente, el telescopio construido puede verse en la Figura 12. Esto fue producto del trabajo de los estudiantes del Semillero de Talentos de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz.

El proceso de construcción de la montura no es complicado, sin embargo, hay que tener en cuenta la distancia focal del espejo primario y la posición del ocular (ver referencia (5)). Hay varios tipos de monturas: altacimutales, ecuatoriales, alemana, de horquilla, etc. (10). Para el telescopio, utilizamos una montura altacimutal tipo Dobson que consiste en una base de madera que se apoya en el suelo y una plataforma que gira sobre sí misma y actúa como eje acimutal, permitiendo el giro de izquierda a derecha o viceversa. Sobre ella se colocan dos soportes que configuran una especie de "caja" con dos funciones principales: soportar el peso de la estructura sobre la base y actuar de eje de altitud a través de unos cilindros de soporte atornillados en su centro de masa (10). En la Figura 10 se pueden apreciar algunas imágenes de la construcción del soporte.

Finalmente, el telescopio construido puede verse en la Figura 12. Esto fue producto del trabajo de los estudiantes del Semillero de Talentos de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz.

Se destaca el apoyo de la Fundación Universitaria Konrad Lorenz y los estudiantes del Semillero de Talentos. El esfuerzo que ha realizado la Universidad para llevar la matemática, la ciencia y la tecnología al alcance de todos ha sido de gran importancia, inspirando a muchos jóvenes que sueñan con ser científicos y observar ese cosmos al que todos tienen acceso.

REFERENCIAS

(1). Wordpress. Física Cuántica. Disponible en: https://edbaro1.wordpress.com/segundo-corte/espectro-electromagnetico/. Consultado Junio 2016.

(2). French A. P. Ondas progresivas. En: Editorial Reverte. Vibraciones y Ondas.2006. p. 229. Wordpress. Disfruta la Física. Disponible en: https://drisfrutalaisica.wordpress.com/segundo-ciclo/ondas/. Consultado Junio 2016.

(3). Intercentres. Ondas. Disponible en: http://intercentres.edu.gva.es/iesleonardodavinci/Fisica/Ondas/Ondas12.htm. Consultado Junio 2016.

(4). Allyn J. Thomson. Story of the telescope. En: Dover publications Inc. Making your Own telescope. 2003. p 8.

(5). Wikipedia. Galileo. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Galileo_Galilei#El_telescopio_y_sus_consecuencias. Consultado Junio 2016.

(6). Maciencia. Telescopio. Disponible en: http://masciencia.org/blog/telescopio1. Consultado julio 2016.

(7). Jlc. Foucault test. Disponible en: http://www.jlc.net/~force5/Astro/ATM/Foucault/FoucaultTester.html. Consultado Junio 2016.

(8). Wikipedia. Test de Tollens. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Reactivo_de_Tollens. Consultado Julio 2016.

(9). Mikel Berrocal. Importancia de la montura. Disponible en: http://www.aavbae.net/bol15/montura.htm. Consultado Junio 2016.

(10). Astronomo.org. Montura tipo Dobson. Disponible en: http://www.astronomo.org/foro/index.php?topic=6888.0. Consultado Junio 2016.

SERVICIOS DE **COMUNICACIONES**

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

Generamos valor a través del desarrollo de productos y servicios de comunicaciones. Somos conocedores del mundo de la Ciencia, Tecnología y la Innovación - CTeI y sabemos cómo comunicar sus logros en esta área.

NUESTRA OFERTA DE

servicios de comunicaciones esta enfocada al sector de la Ciencia, Tecnología y la Innovación - CTeI.

- ☑ **PRODUCCIÓN DE VIDEO**
  Institucionales, documentales y cortometrajes.
- ☑ **DISEÑO GRÁFICO**
  Piezas impresas, digitales, e imagen corporativa.
- ☑ **DISEÑO WEB**
  Soluciones web a la medida de nuestros clientes.
- ☑ **MERCHANDISING**
  Estrategias de mercadeo para su producto o servicio.
- ☑ **SOCIAL MEDIA**
  Manejo de medios digitales para la divulgación de su mensaje.
- ☑ **FREE PRESS**
  Posicionamiento en medios de su producto o servicio.
- ☑ **COBERTURA DE EVENTOS**
  Resultados óptimos en la cobertura de sus eventos.
- ☑ **MAILING**
  Su mensaje a más de 40.000 personas y entidades.
- ☑ **REVISTA DIGITAL**
  Innovación & Ciencia - Publique sus artículos y pautas aquí.

MÁS INFORMACIÓN EN:
www.acac.org.co - acac@acac.org.co
Teléfonos: +57 (1) 432 0370 - (57) 316 418 6677

UN ASUNTO CANDENTE

EL MISTERIOSO COMPORTAMIENTO DE NUESTRO SOL

Santiago Vargas Domínguez
Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
svargasd@unal.edu.co

Juan Camilo Buitrago Casas
Universidad de California Berkeley, EE.UU..

Resumen

El Sol es la estrella más cercana a nuestro hogar, este lugar que llamamos planeta Tierra. Dada su proximidad, hemos podido observar su estructura y comportamiento en gran detalle; sin embargo, a pesar de usar la tecnología más avanzada que hay en la actualidad para su estudio, nuestra estrella aún esconde grandes misterios difíciles de explicar con la ciencia que conocemos. Uno de los enigmas más desafiantes en la actualidad consiste en que, contrario a lo esperado por la física, la parte externa de la atmósfera solar es dramáticamente más caliente que su superficie. Aquí se expone la forma en que la ciencia ha enfrentado este problema, así como los retos tecnológicos que implica tratar de resolver el acertijo.

La vida nos complace con pequeños hermosos detalles, como la placentera sensación que genera el despertar en la mañana con unos cuantos rayos de sol que se cuelan por la ventana. La emoción es mayor cuando interiorizamos el hecho de que esos rayos que llegan a nuestros ojos en este momento son los mismos que hace poco más de ocho minutos escaparon de la superficie solar. Un físico solar se deleitará aún más cuando recuerde que esa misma luz fue generada en el centro del Sol hace más de 200.000 años —incluso antes de que el Hombre de Cromañón pusiera sus pies sobre nuestro planeta— mediante procesos de tipo termonuclear, y que esa energía tardó todo este tiempo en salir al espacio interplanetario, precisamente, por la naturaleza caótica y turbulenta del interior solar.

El Sol está muy lejos de ser una colosal esfera de plasma inmutable y tranquila. Su gran actividad magnética desata explosiones de todo tipo, con potenciales consecuencias trágicas para las comunicaciones satelitales y otros desarrollos tecnológicos de nuestra sociedad moderna.

A pesar de no tener una superficie sólida como la de la Tierra, los científicos han definido la superficie del Sol, a la que se denomina fotosfera, como aquella capa más profunda de su atmósfera desde la cual la luz puede escapar con probabilidad baja de encontrarse en su camino algún átomo o partícula que se le interponga y detenga su recorrido. Debajo de la fotosfera la densidad del plasma es tan alta que cualquier partícula de luz (fotón) que intente salir "rebotará" varias veces con otras partículas antes de lograrlo. Algo así como si una persona en estado de embriaguez intentara salir de un estadio abarrotado de gente.

Por encima de la fotosfera y en una configuración que se asemeja a las capas de una cebolla, la atmósfera solar se compone de la cromosfera, la región de transición y la corona solar (Figura 1); esta última, fácilmente observable desde nuestro planeta durante un eclipse total de Sol, se extiende a través de todo el espacio interplanetario conformando lo que se denomina como la heliosfera, una especie de burbuja cuyos límites se extienden cerca de 12.000 millones de kilómetros (unas 80 veces la distancia entre el Sol y la Tierra) más allá de la órbita de Plutón, en donde las líneas más extensas del campo magnético solar conforman lo que se conoce como la heliopausa, la última frontera del Sistema Solar. (Figura 1)

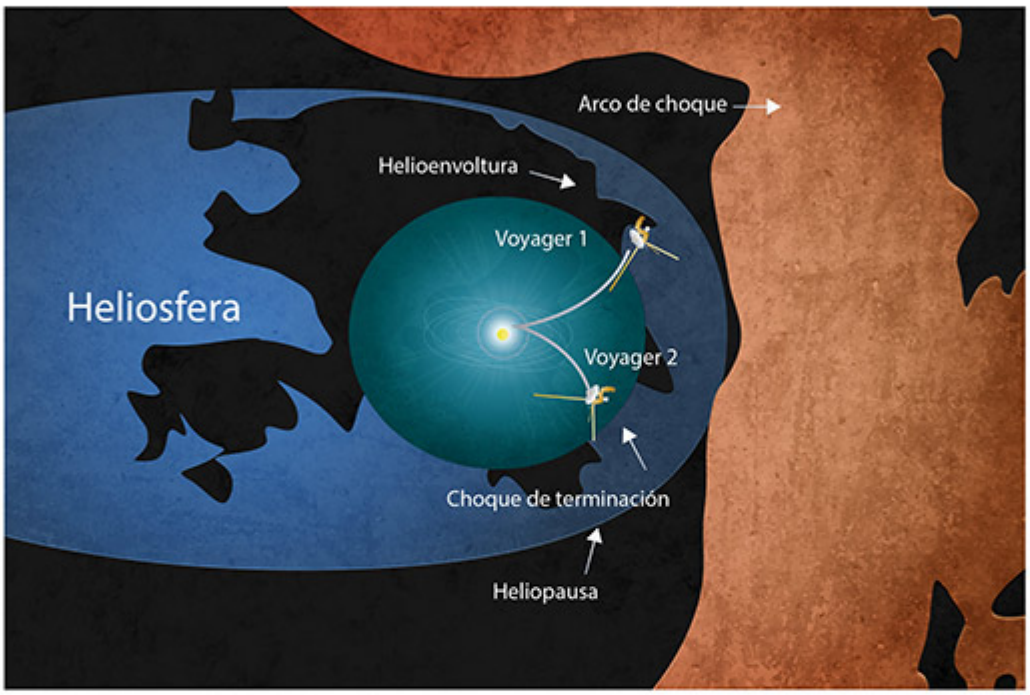


Figura 1
NTACIÓN ARTÍSTICA DE
ÓN QUE SE ENCUENTRA
NO LA INFLUENCIA DEL
SOLAR (HELIOSFERA),
: FORMA UNA BURBUJA
ICA EN CUYO INTERIOR
ISTÁ RESGUARDADO EL
SOLAR DE EMISIONES
TICAS QUE PROVIENEN
MEDIO INTERESTELAR.
MUESTRAN LAS PARTES
DESTACADAS EN ESTA
TURA, INCLUYENDO LA
ACTUAL DEL VOYAGER
AS NAVES ESPACIALES
LEJOS HAN LLEGADO,
CERCA DEL LLAMADO
QUE DE TERMINACIÓN.
O DE NASA/WALT
TTP://WWW.NASA.
ON/UNIVERSE/SOLAR-
OYAGER_AGU.HTML

Quizás una de las razones más comunes por las que el Sol nos causa una sensación de regocijo es su capacidad de calentar nuestros días. Su energía es sinónimo de vida y es la principal fuente de luz y calor en nuestro planeta. Hablando de temperatura, la de la superficie solar es, en promedio, de 6.000 grados centígrados, y si nos adentramos en su interior llegaremos al "corazón" de la estrella, su núcleo central, en donde puede llegar a los 16 millones de grados. Allí, en el centro de la estrella, tienen lugar las reacciones nucleares, que en su mayoría convierten hidrógeno en helio, responsables de generar casi la totalidad de la energía emitida, esa misma que viaja millones de kilómetros a través del medio interplanetario y llega a calentarnos y a ser la base fundamental de la cadena trófica.

El hecho de que el centro del Sol esté mucho más caliente que su superficie es un fenómeno evidente para nuestro sentido común y de relativa fácil explicación para la física. Si encendemos una fogata y nos acercamos paulatinamente a ella, sentiremos más y más calor. De igual forma, si pudiéramos adentrarnos en el interior solar, la temperatura se elevaría drásticamente.

El problema surge, para "desgracia" de los físicos solares, cuando nos alejamos de la superficie hacia capas más externas de la atmósfera solar. Entonces sucede algo inesperado, ¡la temperatura, en vez de disminuir, aumenta!

De esta forma, en la corona, las temperaturas pueden alcanzar los 7 millones de grados centígrados (Figura 2), hecho que aparentemente contradice las leyes de la termodinámica y que hoy por hoy representa uno de los interrogantes abiertos más grandes, no solo de la astrofísica sino de toda la ciencia moderna, el llamado problema del calentamiento coronal. (1,2)

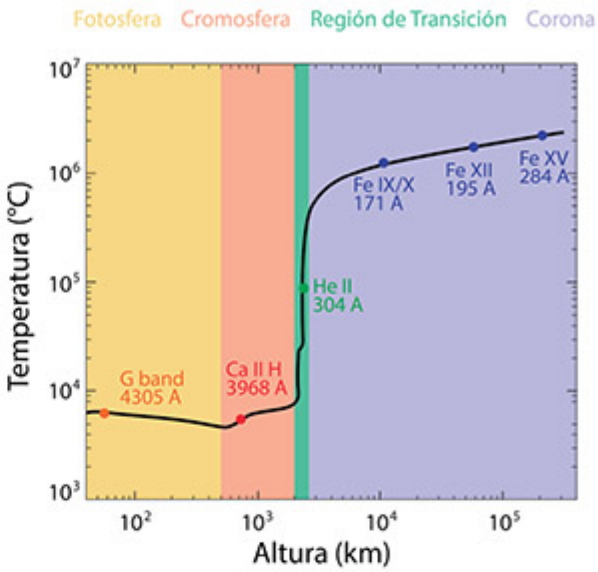


Figura
Variaci
en las d
de la at
colores
(en esca
se apre
de temp
de la cr
puntos
líneas d
elemen
(Ca), he
(Fe) pre
una de
corresp
Imagen
de Astr
Astropi

La historia detrás de este misterio de la física se remonta al año 1869, cuando observaciones del espectro solar revelaron la presencia clara de líneas espectrales que, en su momento, fueron desconocidas y se atribuyeron a un supuesto elemento inexistente en nuestro planeta, el "coronium". Para 1940, cálculos detallados de los astrónomos Bengt Edlén y Walter Grotrian mostraron que estas líneas espectrales no correspondían a un elemento de naturaleza extraña sino que eran el resultado de transiciones energéticas de átomos de hierro y calcio altamente ionizados (átomos que no son eléctricamente neutros a causa de haber perdido varios de sus electrones).

Sin embargo, para que estos iones puedan existir en equilibrio térmico, es decir, con una temperatura estable, es necesario que su entorno se encuentre a temperaturas superiores a un millón de grados centígrados. Es así como las observaciones solares de mediados del siglo XX constituyen la primera evidencia científica de las temperaturas "ardientes" e inexplicables de la corona solar.

El acertijo yace en encontrar un mecanismo capaz de explicar el transporte de energía desde la relativamente fría fotosfera hasta la corona sin que se violen las leyes de la termodinámica. Resultados que combinan observaciones de telescopios en tierra con aquellas de misiones espaciales han mostrado que las regiones más calientes de la corona coinciden con los lugares donde el campo magnético es más intenso.

El campo magnético se genera en el interior del Sol y brota a la superficie, invadiendo la atmósfera solar. Éste podría transportar energía en una forma diferente a calor, evadiendo de esta manera las restricciones impuestas por la termodinámica. La tarea ahora se centra en encontrar el mecanismo exacto por el cual el campo magnético calienta la corona. En este sentido, se han explorado alternativas entre las que se destacan: i) Calentamiento por ondas magneto-acústicas. ii) Calentamiento por un cuantioso número de pequeñas explosiones distribuidas cuasi-homogéneamente en la atmósfera solar.

El mecanismo exacto por el cual el campo magnético calienta la corona. i) Calentamiento por ondas magneto-acústicas. ii) Calentamiento por un cuantioso número de pequeñas explosiones distribuidas cuasi-homogéneamente en la atmósfera solar.

EMPERATURA
TES CAPAS
A SOLAR (EN
A GRÁFICA
ARÍTMICA),
NCREMENTO
A A PARTIR
ERA. LOS
ENTAN
IÓN DE
IO CALCIO
, HIERRO
EN CADA
AS
NTES.
DA
AND

En el primer caso, es esencial reconocer que en el Sol, al ser un plasma, pueden existir ondas de sonido que se afectan por la presencia y características de un campo magnético. Estas ondas denominadas magneto-acústicas se propagan y producen choques que disipan energía y pueden jugar un papel clave en el calentamiento de la corona, aumentando la temperatura del plasma en su camino. Se ha demostrado que la materia se mueve cuando una de estas ondas se propaga, y que las ondas resuenan en ciertas estructuras de la atmósfera en un mecanismo que se denomina "absorción resonante"; sin embargo, aún hace falta probar que este mecanismo es algo que sucede de forma frecuente y generalizada en el Sol para ser el responsable del calentamiento global de la corona solar.

Por otro lado y como consecuencia de la aglomeración de campos magnéticos en la atmósfera solar, que forman un entramado de líneas magnéticas, se generan explosiones. En este caso no son las esporádicas y descomunales tormentas solares, que técnicamente se denominan fulguraciones y que pueden llegar a liberar en un minuto la energía de un billón de bombas de Hiroshima, sino explosiones mucho más pequeñas pero que ocurrirían de forma constante en toda la extensión de la atmósfera solar. Mientras que las fulguraciones, los fenómenos energéticos más violentos de todo el Sistema Solar, ocurren principalmente cuando el Sol se encuentra en la faceta más activa de su ciclo de aproximadamente 11 años (denominado ciclo solar), las pequeñas explosiones o fulguraciones en miniatura, que se suelen llamar nanofulguraciones, son mil millones de veces menos energéticas pero ocurren en todo momento en la atmósfera de la estrella, aún en aquellos de poca actividad dentro del ciclo solar.

Las fulguraciones y nanofulguraciones son una especie de acelerador de partículas. El mecanismo detrás de este fenómeno se denomina reconexión magnética y surge de la interacción de dos líneas de campo magnético opuesto que se entrecruzan, se rompen y, como si fuera un "corto circuito", liberan grandes cantidades de energía.

Magnetares (estrellas de neutrones con un excepcionalmente intenso campo magnético) campo magnético de nuestro planeta (magnetosfera)

Aún no se entiende muy bien lo que sucede justamente en el momento de la reconexión de campos magnéticos, y entenderlo es vital en muchos tópicos de la astrofísica ya que sería la forma favorita que tiene el universo de generar grandes estallidos. El cosmos está plagado de campos magnéticos y muchos fenómenos astrofísicos de alta energía, como los magnetares (estrellas de neutrones con un excepcionalmente intenso campo magnético) son muestra de ello. Sin ir muy lejos, el campo magnético de nuestro planeta (magnetosfera) es un laboratorio natural para estudiar este fenómeno. Las auroras, por ejemplo, tienen su origen en la reconexión de la magnetosfera desatada por la llegada de partículas energéticas lanzadas por el Sol, las cuales, a su vez, pueden ser generadas en reconexión magnética en la estrella.

Pero volviendo al tema de cómo las nanofulguraciones podrían calentar la atmósfera solar, se cree que los rápidos electrones (y protones) que salen disparados después de la reconexión impactan con el plasma de la atmósfera solar y pueden generar calor. (3) Para evidenciar lo anterior, se toman imágenes en ultravioleta donde se pueden identificar las fuentes de emisión de esta energía. El telescopio espacial IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph) de NASA, puesto en órbita en 2013, es uno de los que está revelando con gran detalle el comportamiento explosivo y dinámico de nuestra estrella a pequeñas escalas espaciales y temporales. (4) El nombre de este instrumento tiene que ver con la región de transición, una delgada capa entre la cromosfera y la corona, en donde el aumento de temperatura es extraordinario (en escasos 100 kilómetros, la temperatura aumenta desde unos 20.000 a 2 millones de grados centígrados). Por debajo de esta capa, el movimiento del plasma domina la formación de estructuras mientras que por encima de ella es el campo magnético el que le da forma a la intrincada atmósfera solar.

Además de la emisión en ultravioleta, otros tipos de radiación se detectan con instrumentación astronómica avanzada. Los rayos X, descubiertos en 1895 y popularmente conocidos por ser los responsables de que podamos hacernos radiografías, son otro ejemplo de tipo de radiación proveniente de las fulguraciones.

Para estudiar en detalle la emisiones de alta energía, como los rayos X, se han desarrollado misiones de gran relevancia entre las que se destacan telescopios satelitales como RHESSI y NuSTAR (diseñado para observar agujeros negros y otros objetos lejos del Sistema Solar que ha retornado su mirada para captar imágenes del Sol (Figura 5)) y otros en cohetes. (5) Dentro de esta última opción, más económica y viable que lanzar un satélite, se destaca FOXSI; lanzado en dos oportunidades, 2012 y 2014, en vuelos de 15 minutos donde el telescopio y los detectores llegan a una altitud de 300 kilómetros (evitando así el efecto perturbador de la atmósfera terrestre) para tomar imágenes del Sol, registró las emisiones más energéticas en el rango de los rayos X (conocidas como rayos X duros) antes de caer nuevamente a Tierra (6).

Actualmente, la búsqueda del mecanismo responsable del misterioso comportamiento del Sol continúa. No solamente las observaciones son importantes para resolver el enigma, también el desarrollo de modelos y simulaciones numéricas para explicar los fenómenos observados, sin los cuales nunca podríamos entender lo que está sucediendo realmente. (7) El conocimiento de nuestra estrella avanza rápidamente y con seguridad, dentro de poco tiempo, este rompecabezas quedará resuelto, así como gracias a la ciencia lo hemos hecho en un sinnúmero de casos.

REFERENCIAS

(1). Klimchuk, James A. Key aspects of coronal heating. Phil. Trans. R. Soc.. 2015. A373.2042: 20140256.

(2). Parnell, Clare E., De Moortel, Ineke. A contemporary view of coronal heating. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2012. 370.1970: 3217-3240

(3). Hudson, H. S. Solar flares, microflares, nanoflares, and coronal heating. Solar Physics. 1991; 133.2 : 357-369

(4). Testa, Paola, et al. Diagnostics of coronal heating and mechanisms of energy transport from IRIS and AIA observations of active region moss. 40th COSPAR Scientific Assembly. 2014. p. 40

(5). Grefenstette B. W. et.al. The First Focused Hard X-ray Images of the Sun with NuSTAR. ArXiv e-prints. 2016, 1605.09738

(6). Fox, Karen. NASA-funded FOXSI to Observe X-Rays From Sun. https://www.nasa.gov/. NASA. Consultado Mayo, 2016.

(7). Sokolov, Igor V., et al. Magnetohydrodynamic waves and coronal heating: unifying empirical and MHD turbulence models. The Astrophysical Journal. 2013. 764.1: 23

Revista Digital
Innovación
y Ciencia

Revista Digital
Innova
y Cie