

Revista Cultural

Lotería

No. 483

Marzo / Abril - 2009

EL UNIVERSO
PARA QUE LO DESCUBRAS



AÑO INTERNACIONAL DE LA
ASTRONOMÍA
2009

PORTADA

Logo del Año Internacional de la Astronomía 2009.

CONTRAPORTADA

Planetas del Sistema Solar.

Eclipse de sol (foto cortesía del Dr. Eduardo Flores).



¡Ganamos Todos!

Lotería Nacional de Beneficencia

Junta Directiva:

Representante del Ministerio de Economía y Finanzas

Licdo. Pedro Luis Prados V.

Director General de Ingresos

Representante del Ministerio de Gobierno y Justicia

Dr. Dilio Arcia Torres

Ministro de Gobierno y Justicia

Representante de la Contraloría General de la República

Licdo. Manuel Santamaría

Representante de los Compradores de Billetes

Ing. Raúl Ávila Escala

Representante del Sindicato de Billeteros de Panamá

Sr. Marcos Anderson

Por la Administración:

Director

Licdo. Israel Martínez

Secretaria General

Licda. Graciela Martínez

LOTERÍA

Nº 483

Marzo - Abril 2009

Licdo. Israel Martínez

Director General

Ing. Eric O. Cataño

Subdirector General

Licda. Irma Karel de Álvarez

Directora de Desarrollo Social y Cultural

Licda. Yudisthira Barrera E.

Subdirectora de Desarrollo Social y Cultural

CONSEJO EDITORIAL:

Dr. Eduardo Flores

Mgter. Denis Chávez

Licda. Moravia Ochoa

Licdo. Carlos E. Fong A.

Profa. Rubiela de Guevara

Correctora

PUBLICACIÓN DE LA DIRECCIÓN DE DESARROLLO
SOCIAL Y CULTURAL
ISSN 0024.662X

Para suscripciones y consultas sobre la REVISTA LOTERÍA
comunicarse con el Departamento Cultural.
Teléfono: 507-6800 ext. 1248 - revista.lotería@lnb.gob.pa

Índice

- 5 Presentación de la Revista
Por el Licdo. Israel Martínez.
Director General de la Lotería Nacional de Beneficencia de Panamá
- 7 Los mitos de la Luna y su influencia en las distintas culturas
Autor: Eduardo Edgardo Chung Ng
- 15 El Péndulo de Foucault
Autor: Adriano Ibarra-Durán
- 27 Observatorio Astronómico Nacional para Panamá
Autor: Leomar Acosta Ballesteros
- 39 Vigilando a Encélado
Autor: Mario Rodríguez Martínez
- 43 Sobre cómo vemos que crece El Universo
Autor: Julio César Garrido García
- 65 Las explosiones más poderosas del Universo y la astronomía en rayos gamma
Autor: José Ignacio Cabrera Martínez
- 79 ¿Qué son los agujeros negros?: Mentiras y verdades
Autor: Kaven Henry Yau Wong
- 89 El Sistema Internacional de Medidas
Autor: Eduardo Flores Castro
- 97 La Luna nuestro satélite
Autor: Eduardo Sáenz González
- 107 Un viaje generacional a través del Cosmos
Autor: Vicente Forero Villao

Presentación de la Revista

*E*N el año de 1609, por primera vez un ser humano apunta un telescopio al firmamento, su nombre: **Galileo Galilei**; a partir de este evento la Astronomía dio un gran salto ya que el número de estrellas que se podían observar con este instrumento era mucho mayor a las que se pueden ver a simple vista. Galileo observó las lunas de Júpiter, los anillos de Saturno, los cráteres de la Luna.

Galileo no inventó el telescopio, pero sí logró perfeccionarlo y en lugar de utilizarlo con propósitos de guerra su inquieto espíritu lo usó para tratar de desentrañar algunos de los misterios del firmamento que por largo tiempo han intrigado a la humanidad. Al observar las Lunas de Júpiter a lo largo de varias noches, notó que éstas se trasladaban alrededor del gigantesco planeta, sus observaciones apoyaban el modelo copernicano del sistema solar, en el cual la Tierra y los demás planetas giran en torno al Sol, idea que iba en contra de lo que se creía en esa época.

En Holanda, un fabricante de lentes al observar a unos niños jugar con lentes se dio cuenta de que al poner uno delante de otro se podía ver a gran distancia, tomó dos lentes de distancias focales diferentes y los colocó en un tubo que les sirviera de soporte creando así el primer telescopio. Este instrumento permitía observar barcos que se acercaban a los puertos mucho antes de que pudieran ser percibidos a simple vista, lo que ofrecía ventajas al poder salvaguardar dichos puertos de manera mucho más eficiente, además de otras aplicaciones militares al permitir observar a mayor distancia.

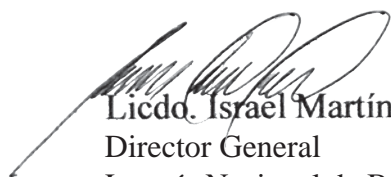
Debido a la importancia de las primeras observaciones de Galileo en la Astronomía, La Asamblea General de las Naciones Unidas atendiendo una iniciativa de la Unión Astronómica Internacional (IAU), máxima autoridad científica en Astronomía representada por medio de la UNESCO, declaró el año 2009 como “**Año Internacional de la Astronomía**”.

Los mitos de la Luna y su influencia en las distintas culturas dejarán de serlo, pues la relación entre el hombre y el cosmos se mantiene desde la antigüedad, sustentada en las argumentaciones sobre el origen de la vida y los fenómenos de rotación y traslación de nuestro planeta que se ejemplifican en El Péndulo de Foucault.

Todo esto se podrá comprobar con la creación de un **Observatorio Astronómico Nacional para Panamá**, con él se podrán observar las lunas de Saturno, las que se describen en **Vigilando a Encélado**, lo que nos permitirá entender cada día más la formación de los anillos de este cuerpo que forma parte de la bóveda celeste y **Sobre como vemos que crece El Universo**, concepto que día a día se amplía más.

Con este observatorio veremos, en detalle, **Las explosiones más poderosas del Universo y la Astronomía en rayos gamma**, tendremos respuesta a la interrogante: **¿Qué son los agujeros negros?: Mentiras y verdades**. Complementa esta edición, tres temas de trascendencia mundial cuya repercusión es inherente a nuestra posición geográfica: **El Sistema Internacional de Medidas, La Luna nuestro satélite y Un viaje generacional a través del Cosmos**. En todos los niveles de la ciencia se están realizando los preparativos necesarios para conmemorar tan importante momento en la historia de la humanidad, los que se pueden ver en: www.astronomy2009.org y también en nuestro país: www.astronomia2009.org.pa

La Lotería Nacional de Beneficencia se complace en presentar este número especial dedicado al “Año Internacional de la Astronomía 2009”.



Licdo. Israel Martínez
Director General
Lotería Nacional de Beneficencia

Los mitos de la Luna y su influencia en las distintas culturas

Por: *Eduardo Chung*

DE acuerdo con las creencias de los pueblos antiguos, la Luna era una presencia benéfica, cuya luz no sólo favorecía, sino que posibilitaba el crecimiento. Era la fuerza fertilizadora responsable de que las semillas germinaran, las plantas dieran fruto y los animales pudiesen concebir a sus vástagos. Se pensaba entonces, que la mujer debía tener idéntica naturaleza, no sólo por su tendencia a “hincharse” igual que la Luna, sino que también por sus coincidentes ciclos menstruales.

Tanta es la conexión entre la Luna y la mujer, que la palabra menstruación significa “cambio de luna”, incluso, en muchos idiomas, se denominan ambas con el mismo término.

A través de la mitología, la Luna ha sido, como elemento cósmico, fuente de innumerables mitos y leyendas y ha simbolizado el principio pasivo pero fecundo de la vida. Este simbolismo, impregnado de connotaciones maternas se encuentra presente en gran parte de las culturas, tanto orientales como occidentales.

ÁFRICA

Para la monarquía africana de Dahomey, localizado en la República de Benin, **Gleti** es la diosa de la luna, y la madre de todas las estrellas. Para los masáis, de la República de Kenia, la diosa lunar es **Olapa**, casada con el dios sol Enkai. Los masáis explican que las partes más oscuras de la luna se deben a que un día en que discutieron, en su furor Enkai golpeó a Olapa, dejándole un ojo hinchado, la cual se puede observar en luna llena.

La etnia negra de Senegal considera al sol y a la luna como superiores a los demás astros. El brillo, el calor y la luz que se desprenden del astro rey impiden que seamos capaces de mirarlo fijamente. En cambio, a la Luna podemos contemplarla con insistencia sin que nuestros ojos sufran daño alguno. Ello es así porque, en cierta ocasión, estaban

bañándose desnudas las madres de ambas luminarias, mientras el sol mantuvo una actitud cargada de pudor, y no dirigió su mirada ni un instante hacia la desnudez de su progenitura, la Luna, en cambio, no tuvo reparos en observar la desnudez de su antecesora. Después de salir del baño, le fue dicho al Sol: “Hijo mío, siempre me has respetado y deseo que la única, y poderosa deidad, te bendiga por ello. Tus ojos se apartaron de mí mientras me bañaba desnuda y, por ello, quiero que desde ahora, ningún ser vivo pueda mirarte a ti sin que su vista quede dañada”. Y a la Luna le fue dicho: “Hija mía, tú no me has respetado mientras me bañaba. Me has mirado fijamente, como si fuera un objeto brillante y, por ello, yo quiero que, a partir de ahora, todos los seres vivos puedan mirarte a ti sin que su vista quede dañada ni se cansen sus ojos”.

ASIA

La milenaria cultura china no escapa a la fascinación que se tiene a la luna. Es tal la fascinación que una de las festividades familiares más importante es el festival de medio otoño, donde según los chinos, la luna llena de medio otoño es mucho más brillante que cualquier otra luna llena. A diferencia de otros mitos, los chinos creen que en la luna vive atrapada una mujer llamada Chang-E, esposa del legendario Hou Yi, quien derribó nueve de los diez soles que existían en la antigüedad y que por el calor de los diez soles, quemaban o abrasaban los cultivos y las personas sufrían de infertilidad. Como premio a la hazaña, la reina de la corte celestial regaló a Hou Yi un elixir para ser inmortal, pero como Hou Yi amaba mucho a su esposa, y no quería perderla, le dio a Chang-E el elixir para que ella lo guardará, pero uno de sus aprendices conoció el secreto de Hou Yi, por lo que un día en la cual Hou Yi fue a la cacería, el aprendiz se quedó fingiendo estar enfermo para robar el elixir, se metió en la recámara de Hou Yi y forzó a Chang-E a darle el elixir, como ella sabía que no podía contra este aprendiz, tomo el elixir y comenzó a flotar cada vez más lejos de la tierra, pero como Chang-E no quería dejar a su esposo se detuvo en la luna la cual es el astro más cercano a la Tierra. Cuando Hou Yi se enteró de lo que pasó, se enojó muchísimo y comenzó a mirar a la luna y llamar a Chang-E. Mirando la luna descubrió que dentro de ella estaba la silueta de una

mujer parecida a Chang-E. Otra leyenda muy difundida dice que el festival de medio otoño conmemora el día en que los chinos se rebelaron contra los mongoles durante la dinastía Yuan en el siglo XIV. Como era imposible hacer planes para una rebelión, ya que las reuniones grupales eran prohibidas y tan pronto se reunían, los mongoles los dispersaban. Un día se dieron cuenta que los mongoles no comían los pasteles de luna, así que idearon el ataque a los mongoles en el 15° día del 8° mes, por lo que solicitaron permiso para distribuir miles de pasteles de luna a los residentes chinos en la ciudad para que dieran larga vida al emperador mongol. Pero dentro de cada pastel se escondía un papel que decía “maten a los mongoles en el 15° día del 8° mes”. En la noche del festival de la luna los rebeldes tuvieron éxito atacando y sacando a los mongoles del país. El fin de la dinastía de los mongoles le siguió la dinastía Ming. Es tal la fascinación del pueblo chino por Chang-E, que en el programa chino de exploración lunar decidieron llamar Chang-E-1 a la primera sonda espacial no tripulada que llegó a la luna en diciembre de 2007, con el fin de obtener fotografías tridimensionales de la superficie lunar para el análisis de composición y medir el grosor del polvo lunar.

En la religión indostana, la deidad lunar se llama **Anumati**, la diosa del intelecto, de la niñez, de la espiritualidad y de la prosperidad, mientras que **Soma**, representa al dios de la luna, el elixir de la inmortalidad. Para los practicantes del hinduismo los cambios de fase se deben a que los dioses van tomando el elixir y como se agota, la luna va desapareciendo.

En la mitología Polinesa, **Ina** es una deidad lunar quien se encuentra casado con Marama, la diosa de la noche.

En la mitología hawaiana, **Lona** es una de las deidades lunares femeninas quien se enamoró de un mortal llamado Ai Kanaka y vivieron juntos hasta que éste murió de vejez. Mahina es otra deidad lunar. La palabra Mahina significa luna en el idioma hawaiano.

Para la región polinesio-malayo, en las islas Filipinas, la mitología tagalo, la deidad lunar es representado por **Mayari**, la más bella deidad del corte Bathala.

En Nías, una isla de Indonesia, **Silawe Nazarate** es el nombre de la diosa luna y simboliza la vida en el universo.

Para la región de Urartu, compartida por la república de Armenia, Irán y Turquía, **Selardi** representa a la diosa lunar.

En la región iraní, **Mah** es el lenguaje avestico para la deidad lunar.

Para los fenicios, en la región ocupada por Siria, Líbano e Israel, **Tanit** es la diosa lunar, **Tania**, quien adquirió una gran importancia en Cartago, donde era representada por un triángulo con una línea horizontal en su vértice superior, sobre el que descansaba un círculo.

EUROPA

En la región Ibérica, para los portugueses, **Atégina** es la diosa de la luna, y representa la fertilidad, la naturaleza y curación.

En la región vasca, **Ilargi** es el nombre de la luna, quien es la hija de la madre Tierra.

Los etruscos, en la región de Toscana, Italia, **Losna** es la diosa lunar.

En la mitología griega existen muchas deidades lunares, siendo **Selena** la más sobresaliente, Selena juega un papel fundamental en el panteón mitológico griego, tal que dentro de los himnos homéricos, una colección de treinta y dos himnos dedicados a distintas personalidades y dioses griegos, se encuentra un himno a Selena.

En Alemania Occidental o en el Reino de los Países Bajos, **Tanfana** es la diosa lunar hasta que se casó convirtiéndose en la reina madre.

En la Lusacia alemana **Zislbog** es la diosa lunar en la mitología wendos.

AMÉRICA

Las creencias de la influencia de la luna son diversas en los pueblos latinoamericanos, por ejemplo en la agricultura, se dice que la siembra de cereales, frutales, flores deben depender en qué parte de las constelaciones se encuentra la luna y la fase de la luna; en cuanto

a la salud, algunos aconsejan que no debe someterse a intervenciones quirúrgicas en días de luna llena o luna nueva. Otras creencias dicen que una mayor cantidad de partos naturales generalmente ocurren durante la luna llena o que no es aconsejable lavarse el cabello en luna llena, puesto que se le puede caer.

En México, para el pueblo otomí, cuando sus antepasados llegaron al Altiplano Mexicano no tenían ningunos ídolos ni adoraban cosa alguna; sólo miraban al cielo. Como observadores de la Luna, los otomíes erigieron en **Metztitlan**, que quiere decir lugar de la luna, un importante santuario y la consideraron su deidad principal. La llamaban Madre Vieja ya que era la madre creadora de los otomíes y representaba a la Luna y a la Tierra a la vez. Su consorte, el Padre Viejo, era el dios del fuego. Para los Mexicas, antiguamente conocidos como Aztecas, la luna llamada **Metztli**, era una deidad importante, mientras que **Meyaguel** es otra deidad de origen lunar. Otra deidad asociada a la luna “la ataviada de caracoles” es **Coyolxauhqui**, considerada hermana del dios solar Huitzilopochtli, el que al nacer acaba con aquélla y con los llamados centzon huitznahua que representaban a las innumerables estrellas en el cielo nocturno.

En cambio para los mayas, la luna es representada por un hombre, en este caso **Popol Vuh**, los héroes gemelos mayas, quienes finalmente fueron transformados en sol y luna.

Para los mayas de la región de Chiapas la luna no es la esposa del sol, sino su madre o su abuela, llamada **Ix Chel**, la señora del arcoiris. Es en esta mitología que se encuentra el origen del conejo lunar responsable del resurgimiento de la vegetación silvestre.



Figura 1. Imagen de un conejo en la luna. La imagen de la luna ha sido rotada para que pueda ser apreciado mejor la silueta del conejo.

Los Mayas fueron quienes lograron las observaciones más precisas del ciclo lunar. Los sacerdotes mayas podían calcular la posición de la Luna en fechas de un remoto pasado y también hacia el futuro. Es sorprendente que llegaran a tener observaciones tan precisas disponiendo de medios tan rudimentarios de observación. Sin duda, esto fue posible en parte gracias a la motivación espiritual, al escrupuloso cuidado y a la agudeza del ingenio de los conocedores mesoamericanos del cielo.

En la mitología pre incaica cerca del lago Titicaca, la diosa lunar se llama **Ka-Ata-Killa**. **Mama Quilla**, en la mitología inca es la diosa luna y era la tercera en rango, considerada la diosa del matrimonio, el ciclo menstrual y una protectora de las mujeres. Tiene una predominancia dentro del calendario inca. Se dice además que los eclipses ocurren cuando es atacado por un animal.

Aunque no se han encontrado mitos o leyendas acerca del origen de la luna, los habitantes de las tribus Algonquianas, nativos indígenas de Norteamérica nombran a la luna llena dependiendo de la naturaleza, las estaciones, y las actividades que realizan: por ejemplo en enero, la luna es nombrado como la luna del lobo – ya que en medio del frío invierno, los lobos comienzan a aullar alrededor de las villas de los indios nativos; en febrero, la luna de nieve, ya que generalmente las nevadas son más frecuentes y ocurren durante este tiempo; en marzo, la luna puede llamarse la luna del gusano, puesto que el gusano reaparece removiendo la tierra y la hace apto para la agricultura, o la luna del cuervo, por el graznido de estas aves que señala el fin del invierno; en abril, la luna se conoce como la luna rosada – ya que los pastizales son de color rosado; en mayo, la luna se conoce como la luna de las flores – ya que las flores abundan por doquier por ser tiempo de primavera; en julio, el mes de los machos, ya que a los ciervos más jóvenes se les comienzan a desarrollar los cuernos en su cabeza durante esta época, en otras tribus se conoce como la luna de los truenos, por los constantes truenos que suceden; en agosto, es la luna de los esturiones, ya que es en este tiempo donde se capturan de manera amplia estos peces, en otras tribus nativas, la conocen como la luna roja porque al atardecer el cielo tiene una apariencia rojiza en el horizonte; en septiembre, es la luna más famosa de

todas, porque es la luna de la cosecha, es la fecha más cercana al equinoccio de otoño y es el inicio de la temporada de cosecha; en octubre, la luna es conocido como la luna del cazador – es el tiempo donde comienza la caza de los venados para guardar en los meses venideros de invierno; en noviembre aparece la luna de los castores – se colocan las trampas para castores antes que se congelen los pantanos para tener una dotación segura de abrigos de invierno; en diciembre llega la luna fría – ya que es la época del invierno aunque otras tribus la conocen como la luna de noches largas – por que sus noches son más largas y frías.

En Panamá, las creencias y costumbres no se alejan de otros pueblos latinoamericanos, Castillo y Medina encontraron que hay distintas actividades que se deben realizar dentro de un intervalo entre las fases lunares, llamado “cambio de luna”, por ejemplo el corte de madera, la siembra, la cosecha. Aunque no encontraron una explicación coherente de lo que se entiende por “cambio de luna”.

Para el pueblo kuna, a diferencia de otras culturas, no tienen a la luna **ni** como una deidad, pero sí ciertas supersticiones, por ejemplo: no se debe mirar la luna nueva, puesto que su figura encorvada puede contagiar sus defectos a los futuros hijos, cuando hay eclipse lunar no se debe mirar hacia arriba, por que puede ocasionar distintas enfermedades. A los albinos se le conoce como los “hijos de la luna”, y son para la cultura kuna unos seres muy especiales ya que se consideraban muy bendecidos por Bab Dummat, el padre creador. Tan bendecidos son los albinos que Bab Dummat les tiene preparado una pareja en su morada. Como en otras culturas, se creía que los eclipses lunares se debían a que una bestia se devoraba la luna y los únicos que podían ahuyentar a la bestia eran los “hijos de la luna” que cuando había el eclipse, se sacaba al albino al patio de la casa con un arco y flecha para que le disparará a la bestia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Carrasco, Esperanza; Carramiñana, Alberto (1996). Diario Síntesis
- 2 Karl Taube, Karl (1997). *An Illustrated Dictionary of the Gods and Symbols of Ancient Mexico and the Maya*. Thames and Hudson
- 3 J.E.S. Thompson, J.E.S. (1939). *The Moon Goddess in Middle America with Notes on Related Deities*. Washington: Carnegie Institute of Washington

- 4 Rahamann, R. (1955). Quarrels and Enmity between the Sun and the Moon: A Contribution to the Mythologies of the Philippines, India, and the Malay Peninsula. *Folklore Studies*, 14, 202-214.
- 5 BINDER, Otto (1965). “ La Luna, nuestro mundo vecino”, Golden Press Inc. Estados Unidos
- 6 Wakan, Lila (2006). Las 13 lunas y su influencia en el rescate de lo femenino. <http://kayala.spaces.live.com/blog/cns!9BD87E28C32CF68D!2493.entry>
- 7 Reuters (2007) <http://metztliazul.blogspot.com/2007/10/chang-e.html>
- 8 Torres de Araúz, Reina (2006) Panamá Indígena.

BIOGRAFÍA

Licenciado en Física

Profesor de Segunda Enseñanza con especialización en Física y postgrado en Docencia Superior, en la Universidad de Panamá.

Obtiene una beca de la OEA para estudiar Maestría en Ciencias y Tecnología de Materiales en la Universidad Nacional San Martín, República de Argentina.

Profesor Asistente de la Universidad de Panamá.

El Péndulo de Foucault

Por: *Adriano Ibarra – Durán*

Introducción

“*EPPUR SI MOUVE*” (sin embargo se mueve)– según cuenta la leyenda – fueron las palabras susurradas por Galileo Galilei mientras, postrado ante los altos jerarcas de la Iglesia Católica, renegaba de la veracidad de la Teoría de Copérnico sobre la constitución de nuestro sistema solar. Según dicha teoría, el Sol era el centro de nuestro sistema solar y la Tierra era sólo uno más de los planetas que giraban alrededor.

Recordemos que por aquellos días (finales del 1500 d.C.) se aceptaba unánimemente que la Tierra era el centro inmóvil del Universo, y todos los demás astros, el sol incluido, giraban en torno a ella. Esta creencia, sostenida por Aristóteles fue heredada por la Iglesia (por intermedio de Tomas de Aquino), que la adoptó como dogma principal de su cosmovisión.

A pesar de la evidencia que había obtenido, a través de sus observaciones astronómicas, que apoyaban la Teoría de Copérnico, el anciano Galileo (entonces de 70 años) se vio forzado a renegar de ella: “... Yo arrodillado, juro que creo, abjuro y aborrezco mis errores y me someto al castigo”. Con todo no fue perdonado, sino condenado a prisión domiciliaria, que cumplió en su villa de Arcetri hasta su muerte, en el año 1642.

La Tierra inmóvil

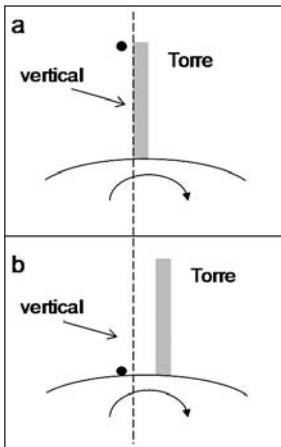
Aunque nada puede justificar la persecución y muerte de personas (Giordano Bruno, 1600) solo por su forma distinta de pensar, no es menos cierto que la resistencia al cambio y a la novedad, es parte de la naturaleza humana. Veamos un poco el panorama en tiempos de Galileo:

Durante toda la Edad Media Aristóteles fue la máxima autoridad en casi todos los campos del saber humano. Sus explicaciones de los

fenómenos naturales, aunque absurdas para un científico moderno, fueron el primer esfuerzo por entender, por medio de la razón, el comportamiento de nuestro mundo.

Aparentemente, Aristóteles notó que los cuerpos sólidos o líquidos eran atraídos hacia la Tierra. No importaba que tan lejos se lanzara una piedra, ella era, irremediablemente, atraída hacia el suelo. Por esto quizás pensó que había algo de especial en nuestro planeta. De allí intuye que la Tierra sería el centro del Universo.

Debía permanecer inmóvil, ya que nada indicaba que estuviese moviéndose. Piense Ud. mismo, querido lector, en alguna prueba de que la Tierra se mueve. ¿El día y la noche? En el sistema aristotélico era la rotación del sol alrededor de la Tierra lo que daba cuenta de ello. Después de todo, no es difícil ver cómo el sol atraviesa el cielo, saliendo por el oriente y ocultándose por el occidente, pareciendo girar en torno de nuestro planeta.



Piense en esto, si la Tierra realmente rotara, una piedra dejada caer desde una torre muy alta caería muy lejos de ella y no cerca de su base (ver figura 1), debido a la que la tierra habría avanzado una cierta distancia, durante su caída. De igual forma, los pájaros quedarían rezagados respecto a los árboles, en cuanto emprendieran el vuelo.

Fig. 1. a) Una Piedra se deja caer desde una torre alta. Se espera que dicha piedra siga una vertical. b) Debido al movimiento de la Tierra, la torre (unida al planeta) se ha desplazado una distancia, respecto de la vertical, cayendo la piedra muy lejos de la base de la torre.

Incluso el célebre astrónomo Tycho Brahe (1546-1601) realizó experimentos para probar si nuestro planeta rotaba o no. Simplemente disparó un cañón hacia el Este y el Oeste, es decir, a favor y en contra de la supuesta dirección de movimiento. Y aunque esperaba encontrar distintas distancias de recorrido, en caso de movimiento rotatorio, resultó que ambas distancias fueron idénticas. Por esto concluyó que la Tierra debía permanecer inmóvil.

Como se nota, la inmovilidad de nuestra Tierra parece estar firmemente apoyada por las observaciones cotidianas y ningún experimento parece indicar lo contrario. Quizás por esto no debamos ser tan severos al juzgar a quienes defendían la inmovilidad de la tierra; al menos no tan severos como lo fueron con el gran maestro Galileo.

La inercia de Galileo

Hemos dado un vistazo a la situación imperante hacia finales del siglo XVI, que es cuando Galileo entra en escena, con su nueva metodología para comprender la naturaleza: la experimentación. Galileo nos propone: “Encerraos con un amigo en la mayor estancia que haya bajo cubierta (de una nave)... Si la nave está quieta observad con diligencia.... Haced que la nave se mueva con la velocidad que se quiera; siempre que el movimiento sea uniforme (es decir, velocidad constante)... no reconoceréis ni la más mínima mutación en todos los efectos nombrados ni ninguno de estos os hará saber si la nave se mueve o está quieta. Si saltas, tampoco el suelo se desplazara, mientras estéis en el aire”.

Además de proponer a los experimentos como nuevo método para el estudio de los fenómenos naturales, Galileo nos desafía a realizar cualquier tipo de experiencia dentro de una nave, ya sea quieta o en movimiento con velocidad constante, y no podremos distinguir un caso del otro. Si “observamos con diligencia” no podremos determinar el estado de movimiento de la nave. Y lo mismo nos ocurrirá con el movimiento de nuestro planeta.

Por ello, nos dice Galileo, el fracaso del experimento de Tycho, por eso los objetos dejados caer desde una torre alta caen, a pesar de todo, en la base de ella. Los objetos poseen *ab initio* el movimiento uniforme de la Tierra, lo que hace que se mueven “con ella”. De allí que no puede detectarse dicho movimiento a partir de ningún experimento como los propuestos.

En 1687 (años después de la muerte de Galileo) Sir Isaac Newton (1642-1727) publica sus “Principios Matemáticos de la Filosofía Natural” en el que resume las leyes que obedecen todos los cuerpos en movimiento. Newton establece como primera ley, la llamada Ley de Inercia, según la cual un cuerpo “persevera en su estado de

movimiento” si ninguna fuerza actúa sobre él. Esto significa que si está en reposo, tiende a permanecer en reposo y si está en movimiento, tiende a conservarlo. De esta forma, un cuerpo que inicialmente se movía con la Tierra (la piedra en la torre) continua con este movimiento a menos que lo interrumpa una fuerza. Lo mismo se aplica al asunto de los pájaros y al cañón de Tycho Brahe.

Esta Ley de Inercia de Newton, no es más que el principio establecido por Galileo muchos años antes, y que impide reconocer el estado del movimiento de la Tierra.

Sin embargo, las otras dos leyes de Newton, establecen cómo las interacciones entre los cuerpos (fuerzas) producen efectos medibles en la forma cómo se mueven los cuerpos, incluyendo cambios de velocidad o aceleración, que es su efecto más común.

Fuerzas ficticias

Si alguna vez has viajado en un vehículo que de pronto se detiene, habrás experimentado algún tipo de fuerza que parece tirar hacia adelante. De igual manera, cuando dicho vehículo arranca súbitamente, se notara un tipo de fuerza que parece halar desde atrás.

Estos son ejemplos de lo que los físicos llaman “Fuerzas Ficticias”. Es decir, no son fuerzas que se producen por la interacción con otros agentes (como dicen las leyes de Newton), más bien se producen por estar en un vehículo que esta acelerado o desacelerado. Gracias a los cambios de velocidad (aceleraciones) que experimenta el vehículo, se puede inferir que el mismo se encuentra en movimiento; y la aparición de fuerzas ficticias es consecuencia (DEL CAMBIO DEL ESTADO DE...) de dicho estado de movimiento (DEL SISTEMA).

Pero los vehículos en marcha, no son los únicos sistemas en los que aparecen fuerzas ficticias. Aquellos sistemas en rotación o movimiento circular también muestran los efectos de las fuerzas ficticias. En esos casos, se puede mostrar que dichas fuerzas dependen de la rapidez de la rotación; así sus efectos son apenas perceptibles para rotaciones lentas, y muy notables en sistemas con mayor rapidez de rotación.

Veamos un ejemplo. En la figura 2 se observa un carrusel o tío vivo (“caballitos” en jerga popular), visto desde arriba. Se supone que gira

en dirección contraria a las manecillas del reloj y hay dos personas sobre él, mientras rota, en los puntos A y B. Observe que A está más lejos del eje de rotación que B. Ahora, A lanza una pelota en línea recta hacia B, para que este último la atrape. Para sorpresa de A, la pelota parece haberse desviado de su trayectoria, curvándose hacia la derecha, por lo que B no puede atraparla. Un fenómeno similar observa B, cuando intenta lanzar la pelota hacia A; se nota una desviación a la derecha.

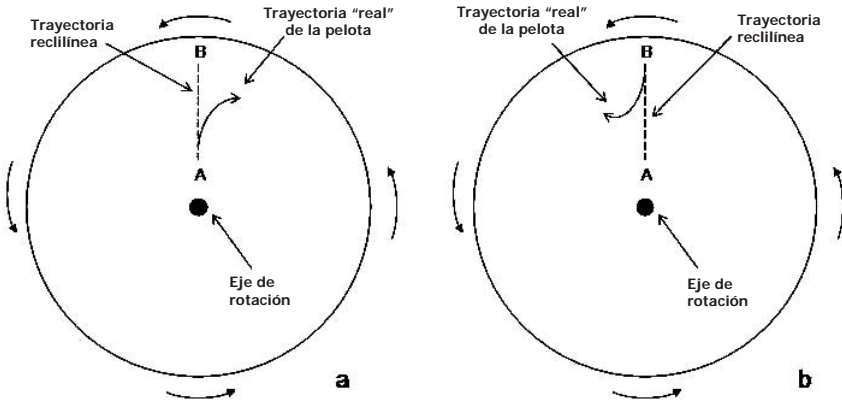


Fig. 2. a) El observador A lanza una pelota hacia B, pero observa una desviación a la derecha por el efecto Coriolis b) El observador B lanza una pelota hacia A y nota una desviación a la derecha (a la derecha de B) por efecto Coriolis. Ambos casos muestran la presencia de una fuerza ficticia actuando sobre la pelota.

Para estos observadores, es como si una “fuerza misteriosa” halara la pelota hacia la derecha (Tal como la “fuerza” que tira o hala a la persona en el vehículo). Esto es lo que se conoce como Efecto Coriolis, llamado así en honor de Gaspard Gustav Coriolis (1792-1843), quien estudió este fenómeno con detalle. El efecto Coriolis no es más que la acción de una fuerza ficticia debido al sistema rotatorio en el que se realiza el experimento.

Coriolis descubrió que esta “fuerza” dependía no solamente de la velocidad de rotación del sistema y su dirección, sino también de la velocidad del cuerpo (la pelota) y su dirección. Por eso nuestros observadores presenciarán un efecto similar si el carrusel girara a favor de las manecillas del reloj, solo que la desviación sería hacia la izquierda.

Fue este fenómeno que utilizó Foucault, para estudiar la rotación de la Tierra.

Foucault y su Péndulo

A pesar de estar omnipresente en todos los sistemas rotatorios, el efecto Coriolis no es fácil de detectar si la rotación es lenta y la velocidad del cuerpo es pequeña. Pero si logramos “prolongar” el movimiento de un cuerpo por mucho tiempo, el efecto podría ser percibido.

En 1848, el físico Francés Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868) observó el peculiar comportamiento de un péndulo, cuando la base del mismo giraba. Esto le dio la idea de utilizarlo como medio para “observar” la rotación de la Tierra. En esencia, un péndulo consiste de una masa que cuelga de un hilo, más o menos inextensible, de tal manera que oscila en torno a una posición de equilibrio. El péndulo utilizado Por Foucault (1850) consistía en una masa de 5 kg atada a una cuerda de 2 metros de longitud unida a un punto de sujeción que le permite oscilar libremente en cualquier dirección. (figura 3)

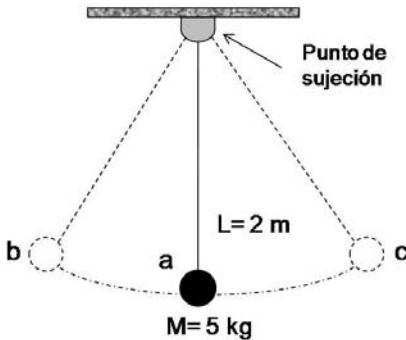


Fig. 3. El péndulo de Foucault parte de su posición de equilibrio (punto a), luego se desplaza hasta el punto b donde se libera. La masa oscila hasta el punto c, desde donde, pasando por el punto a, vuelve a alcanzar el punto b. El ciclo se repite una y otra vez, hasta que debido a la fricción con el aire y el punto de sujeción, el sistema termina por quedar en reposo.

Se espera que el péndulo oscilara manteniendo siempre la misma dirección. En la figura 4a vemos la dirección de oscilación, vista desde arriba. Observe el incesante movimiento de vaivén, desde la posición inicial (i) hasta la final (f). Sin embargo, las observaciones cuidadosas de Foucault le permitieron ver un comportamiento como el mostrado en la figura 4b. Observe cómo la dirección de oscilación cambia, girando hacia la derecha. Aunque la figura muestra el efecto exagerado, es innegable el cambio en la dirección de oscilación, o plano de oscilación como se le llama.

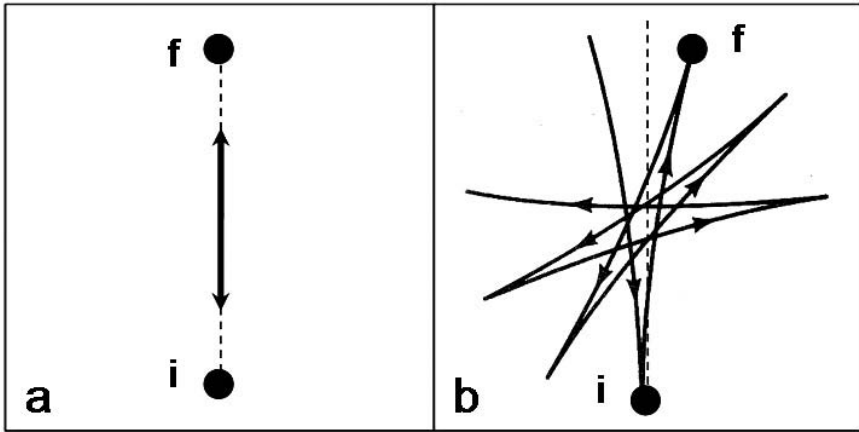
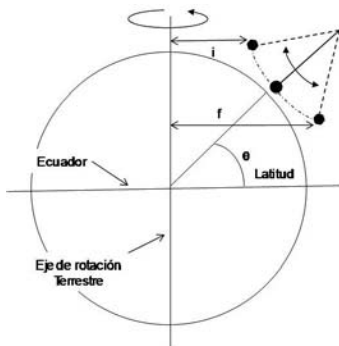


Fig. 4. Las oscilaciones de la masa del péndulo de Foucault, vista desde arriba. a) el plano de oscilación debería permanecer fijo entre la posición inicial (i) y final (f). b) Por efecto Coriolis se observa una desviación a la derecha de la masa oscilante. Observe las dos posiciones inicial y final, no se ubican sobre la misma línea. El efecto se repite en las sucesivas oscilaciones del péndulo.

En el hemisferio sur es similar, pero con los giros hacia la izquierda.

El efecto observado por Foucault, no es más que el efecto Coriolis, debido a la rotación de nuestro planeta, demostrando así que nuestra Tierra rota bajo nuestros pies. Observe el paralelismo entre las figura 4 y 2.

Uno podría imaginar el péndulo de Foucault (en forma exagerada) como se muestra en la figura 5. Observamos que en cada oscilación la masa se acerca o se aleja del eje de rotación, tal como la pelota de la figura 2, por lo tanto experimentará el mismo tipo de efecto. Aunque es muy pequeño, este efecto se hace visible tras varias horas de oscilación. La latitud (ángulo en la figura) es otro elemento que



hay que tomar en cuenta para el correcto funcionamiento del péndulo; se espera que el efecto alcance su máximo en los polos (norte o sur), pero que no sea observado en el Ecuador.

Fig. 5. Observe el péndulo de Foucault en un movimiento que lo acerca y lo aleja del eje terrestre, entre las posiciones "i" y "f". La desviación a la derecha es la misma de la pelota de la figura 2, cuando la pelota se alejaba y acercaba al eje de rotación.

En 1851, Foucault hizo una presentación pública de su péndulo, haciendo oscilar una masa de 26 kg colgando de un cable de 67 metros, en el Panteón de París. Fue la primera vez que tuvimos una prueba contundente e irrefutable de la rotación de la Tierra. Desde 1995 este péndulo está de nuevo en el Panteón (figura 6).



Fig. 6. Pendulo de Foucault en el Panteón de París. (<http://www.salves.com.br/foucault.htm>)

Ahora, podemos tomar las palabras de Galileo, en el sentido de que aunque no lo parezca, “Eppur si Mouve” (y sin embargo se mueve).

Construyendo un Péndulo de Foucault

El péndulo de Foucault es una presentación espectacular y majestuosa, del poder de la Ciencia, poniendo en evidencia lo no evidente; dilucidando uno de los grandes misterios de la antigüedad.

A pesar de ello, la construcción de un péndulo de Foucault presenta una seria de retos técnicos de no poca dificultad.

Aquí, tomaremos como referencia algunas de las dificultades de las que dan fe un grupo de físicos de la Universidad de Buenos Aires (Argentina), liderados por el Dr. Ricardo Cabrera, durante la construcción de su propio péndulo de Foucault.

Entre las principales dificultades se destaca la masa utilizada. Una esfera que debía ser lo más uniforme posible. Esto se hizo difícil por la forma de construcción (fundición), que dejaron algunas irregularidades y “burbujas” en su interior. Tras varios ensayos se logró obtener con suficiente uniformidad, aún así hubo que hacerle varias ajustes en los talleres de tornería. “Tanto fue así que, durante la torneada, la esfera perdió 8 kg: fue necesario tornearla hasta que se logró una superficie esféricamente aceptable. Entró a la tornería con 34

kg, y salió con los 26 que tiene ahora. “Allá quedaron 8 kg de viruta y otros 80 de lágrimas nuestras”, nos comenta el Dr. Cabrera.

Otro problema es el cable a utilizar, el mismo tendía a estirarse y retorcerse durante las oscilaciones. La causa eran las fibras de que estaba confeccionado. Al final luego de varias oscilaciones y estirados, se muestra muy poca rotación de la masa unida al cable, aunque persiste en mucha menor proporción. El Dr. Ricardo Cabrera, nos dice: “Tanto en el punto de suspensión como en la cuerda es necesario un período de asentamiento para que el sistema funcione correctamente. Basta pensar en la cuerda de acero, de especial rigidez: vaya a saber uno cuánto tiempo permaneció enrollada en un depósito. Los primeros días, la esfera tenía un movimiento de espín errático y desmedido, que nos ponía los pelos de punta. Hoy ya prácticamente no gira”.

Las pérdidas de energía por efecto de la brisa y la fricción en el sistema de sujeción, se han disminuido bastante, pero es un problema que está pendiente por resolver. De cuando en cuando se necesita dar un pequeño impulso al péndulo para que no se detenga. “nuestra ambición es construirle un sistema de recuperación de energía que le permita mantener la amplitud constante. Actualmente tarda en detenerse unas 6 ó 7 horas. En general, a las 3 ó 4 horas le damos un empujón para que oscile más vistosamente. El proyecto y el diseño de la segunda etapa ya están encaminados”. Nos dice esperanzado, el Dr. Cabrera.

Estos y otros detalles, que parecerían insignificantes, pueden dar al traste con la fascinante demostración del Péndulo de Foucault. Aun así, dicen los colegas argentinos, el proyecto ha resultado todo un éxito, y se espera pronto hacer las mejoras necesarias para perfeccionar su sistema. En total, el proyecto ha costado cerca de tres mil dólares y diez años de trabajo, pero ha valido cada centavo y cada minuto, por la apreciación de unos de los fenómenos más extraordinarios en la historia de las ciencias.

¿Un Péndulo de Foucault en Panamá?

¿Podría una herramienta científica tan potente como el Péndulo de Foucault tener posibilidades de ser albergado en nuestro país? Es una idea excitante para los científicos que viven en este país. Ahora,

no podemos llevarnos solo por la emoción que tal idea nos causa, debemos ser realistas en cuanto a posibilidades y factibilidad.

Tomemos el ejemplo de los colegas argentinos: diez años y tres mil dólares. Tales cantidades de dinero y tiempo, no parecen tan fuera de nuestro alcance. Sin embargo, los detalles técnicos que hemos mencionado pueden ser de preocupación, aquí no se cuenta con industria siderúrgica para resolver los problemas que pudiese presentar la masa uniforme, pero aún así, podría encargarse el trabajo por medio de empresas ubicadas en nuestro país. De igual manera podría pensarse para el cable necesario.

El sistema de sujeción y restitución plantearía un problema técnico para científicos e ingenieros, en quienes creemos podría recaer tal responsabilidad. Basta con seguir los lineamientos generales de la teoría y examinar los planos técnicos de los péndulos ya existentes (disponibles en Internet).

Todo lo anterior nos hace confiar en la posibilidad de construir el péndulo de Foucault en nuestro país. Creemos que es posible resolver los problemas técnicos que surjan, ya que contamos con el personal técnico y científico necesario. Sin embargo, será la coordinación de varias instituciones (públicas y privadas) colaborando estrechamente lo que podría convertir esto en una realidad, ¿será esto posible? Dejando de lado diferencias y teniendo un deseo real de realizar el proyecto, la respuesta será: Sí.

Hasta aquí hemos sido bastante positivos en cuanto a las posibilidades, pero ¿Es factible? Panamá se encuentra entre los 7° y 9° de latitud Norte. Recordemos lo importante que es la latitud en el funcionamiento del Péndulo. Para esta latitud, los cálculos muestran que, en condiciones ideales el péndulo cambiará su dirección a razón de cerca de 2,1° por hora. O sea que no tendríamos un desplazamiento apreciable (unos 10°) hasta después de 5 horas. Luego de 10 horas de observación solo habríamos visto avanzar unos 20°, y así sucesivamente. Una vuelta completa (360°) después de 171 horas y 26 minutos; algo así como 7 días de observación continua. Comparemos esto con el caso de Francia y Argentina. Este último cambia su dirección a razón de unos 8,5° por hora (una vuelta completa en 42 horas y 20 minutos).

El caso francés es de cerca de 11,3° por hora (una vuelta completa luego de 31 horas y 52 minutos). En ambos casos los resultados son observables tan solo pasado una o dos horas, mientras que nosotros no seríamos capaces de notar nada hasta después de más de 5 horas, si no se presentan inconvenientes.

Este último párrafo contiene información aproximada sobre los resultados obtenidos, sin embargo deja claro que en el caso de nuestro país, aunque posible, el péndulo de Foucault, puede no resultar del todo factible, dada la ubicación de nuestro país, muy cercana al Ecuador. Invito a que revisen los cálculos y se estudien los detalles, pero no espero resultados mucho más alentadores que los presentados aquí. Está la tarea de quienes deseen corroborar lo dicho hasta ahora.

Conclusión

Durante siglos se debatió sobre la movilidad o inmovilidad de nuestro planeta. Jean Foucault resolvió la disputa con un experimento simple y directo. Un fenómeno que el describió así: *“El fenómeno se desarrolla con calma; es inevitable, irresistible... Viéndolo nacer y crecer, nos damos cuenta de que no está en la mano del observador acelerarlo o frenarlo ... Todo el mundo, en su presencia ... se queda pensativo y callado durante unos instantes y por lo general se va con una sensación más apremiante e intensa de nuestra incesante movilidad en el espacio”*.

Es lamentable que la posición geográfica, privilegiada en muchos aspectos, parezca no apta para albergar tan ingenioso dispositivo. Aún así, el péndulo Foucault nos muestra el triunfo de la razón sobre las simples percepciones, el triunfo de la ciencia sobre la tradición. En cualquier lugar donde se haga Ciencia y donde se busque la verdad, el péndulo de Foucault se erige como dando testimonio de esta búsqueda. Todo museo de ciencia de importancia, incluso el salón de la asamblea general de la ONU, posee uno de estos baluartes. Cada oscilación del péndulo es un silencioso homenaje al maestro italiano, convicto y condenado por hacer Ciencia y no seguir la tradición. Quizás sea justo decir que el péndulo de Foucault oscila al ritmo de aquellas palabras silentes “Eppur... se mouve”.

Referencias

1. Alonso, M & Finn, E. Física I: Mecánica. Fondo Educativo Interamericano. México, 1986.
2. Eisberg, R & Lerner, L. Física Fundamento y Aplicaciones (Volumen I). McGraw – Hill. Mexico, 1990.
3. El MUNDO. Anomalías en el Péndulo de Foucault. <http://www.elmundo.es/ciencia/pendulo/index.html>.
4. Galilei, Galileo. Dialogo sobre los sistemas máximos, Jornada segunda. Editorial Aguilar Argentina. Argentina, 1975.
5. Guillen, M. Cinco ecuaciones que cambiaron al mundo. Debolsillo. España, 2007.
6. Historias de las ciencias. El péndulo de Foucault. <http://historias-de-la-ciencia.bloc.cat/post/1052/135875> 2007
7. Moledo L. & Magnani, E. Diez Teorías que Conmovieron al Mundo (I): De Copérnico a Darwin. Capital Intelectual. Argentina, 2006.
8. Ricardo Cabrera. El Péndulo de Foucault. <http://neuro.qi.fcen.uba.ar/ricuti/foucault/foucault.html>. 2006
9. Schurmann, P. Historia de la Física (tomo I). Editorial Nova. Argentina, 1957.
10. Wikipedia. Péndulo de Foucault. http://es.wikipedia.org/wiki/P%C3%A9ndulo_de_Foucault.

Biografía

- Licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología de la Universidad de Panamá, (1997).
- Profesor de Educación media con especialización en Física de la Universidad de Panamá (1998).
- Ejerce la docencia a nivel medio en colegios públicos y privados de la República.
- Artículos publicados:
 1. La Física y las Ciencias Naturales (2001).
 2. ¿Cuál es el origen de nuestro campo magnético? (2003).
 3. El Pentaquark (2004).
 4. Por debajo del límite Doppler: El enfriamiento Sísifo (2005).
 5. Interferencia bifotónica en un divisor de haces (2006).
 6. El V estado de la materia: El condensado de Bose-Einstein (2007).
- Los Elementos de la Física, es el primero de una serie de textos orientados a la enseñanza de la Física básica realizados en colaboración con el Dr. Alexis Mojica y el Mgtr. Vicente Forero.

Observatorio Astronómico Nacional para Panamá

Por: *Leomar Acosta Ballesteros*

Introducción

La historia de la civilización humana, tiene registrado cómo el hombre se ha ocupado de los fenómenos astronómicos desde el comienzo mismo de la civilización; sin embargo, aún hoy se escucha frecuentemente la pregunta: ¿qué utilidad tiene esta Ciencia?

Para los entendidos en la materia, es evidente la respuesta: resulta notable la presencia e influencia de la Astronomía tanto en la vida cotidiana como en el desarrollo cultural de la humanidad; pero tal visión no es suficientemente comprendida. La religión y la Astronomía son las únicas constantes en las civilizaciones antiguas.

En todas las culturas, la principal actividad relacionada con los astros, es la determinación del tiempo (desde su medición hasta su registro), la confección de calendarios (se fijaban las fechas propicias para las cosechas y las festividades) y las mareas. Por lo tanto, la cronología tiene una vinculación importante con la Astronomía; y sin ella, ciencias como la Historia hubiesen adolecido de grandes dificultades. Existen dos eventos astronómicos donde se refleja esta idea (ver figura 1). El primero son los eclipses. Los eclipses sirven

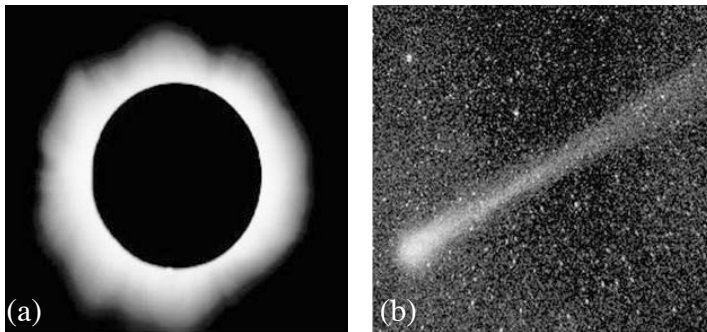


Fig. 1. Ejemplo de fenómenos astronómicos que han influido en la historia del hombre. (a) Eclipse Solar. (b) cometa Hale –Bopp descubierto el 23 de julio de 1995, por Alan Hale y Thomas Bopp.

de referencias a eventos históricos como las batallas decisivas de la antigüedad, son fenómenos tan espectaculares y únicos que durante su aparición, en momentos claves, han alterado nuestra historia. Tal es el caso del famoso eclipse del 28 de mayo del 584 a.C., en que la aparición de un eclipse total en el lugar exacto de la Batalla del Río Halys condujo a la paz entre Aliates y Ciaxares, después de 5 años de encarnizada lucha. Este fue también, el primer eclipse predicho de la historia, predicción realizada por Tales de Mileto, inaugurándose así la ciencia de la predicción de los eclipses. El segundo evento, lo representan los cometas. A lo largo de la historia, las civilizaciones de todo el mundo han sentido fascinación por los cometas, y los han visto con asombro, miedo e incertidumbre. Las referencias más antiguas de los cometas, hacen alusión a ellos, como “terribles bolas de fuego” que sembraron el terror. César Augusto se convirtió en emperador de Roma justo cuando apareció un cometa en el cielo, y esto fue considerado como una bendición de los dioses para su reinado.

A continuación, se presentan los aspectos más importantes de un proyecto denominado Observatorio Astronómico Nacional, el cual es parte de las inquietudes de un grupo de profesionales que deseamos aprovechar el **2009, “Año Internacional de la Astronomía”**, como cobertura para sentar las bases de un Observatorio Nacional de Astronomía. Este proyecto pretende hacer extensivo el gusto por el conocimiento y la cultura al mayor número de personas, sin importar edad, nivel sociocultural o ideologías políticas. También desea cambiar la percepción en general de las personas con respecto a la Ciencia y en este caso la Astronomía.

La Astronomía y su importancia

La astronomía (del griego: αστρονομία = άστρον + νόμος, etimológicamente la “Ley de las estrellas”) se define como la ciencia que estudia al universo físico más allá de la atmósfera terrestre, y particularmente los procesos, ubicación, propiedades de la materia y la energía en el universo. Es la ciencia que se encarga del estudio de los astros, y especialmente de las leyes que rigen sus movimientos y composición.

La importancia de la Astronomía, en la historia de la humanidad ha sido muy marcada y recordada, es la ciencia más antigua de todas y la que más desarrollo le ha permitido a la humanidad.

La Astronomía es la única ciencia, que junto con la religión, son ligadas a cualquier tipo de civilización humana (ver figura 2), a cualquier tipo de cultura humana conocida en la faz de la tierra. Su desarrollo es impresionante, tanto que a pesar de que a veces es asociada con otro tipo de prácticas pseudo-científicas, como la astrología, siempre se ha mantenido en punta, llevándonos a portentosos desarrollos tecnológicos.



Fig. 2. Vestigios astronómicos de las primeras civilizaciones en América y Asia. **(a)** El Caracol, templo observatorio de Chichen Itzá, México. Esta estructura era un observatorio con sus puertas alineadas para ver el equinoccio primaveral, las declinaciones de la Luna y los otros acontecimientos astronómicos sagrados a Kukulcan, el dios serpiente emplumado, del viento y el aprendizaje. Los Mayas utilizaron las sombras dentro del observatorio para decir cuándo ocurrirían los solsticios. El conjunto de Chichen Itzá, fue construido 1000 a.C. **(b)** El Chankillo fue construido durante el colapso de uno de los mayores centros religiosos de los Andes, el Chavín de Huántar, entre el año 200 y el 300 a.C. Según los arqueólogos Iván Ghezzi, de la Universidad Católica de Perú, y Charles Ruggles, de la Universidad de Leicester, del Reino Unido, existen evidencias de lo que sería el observatorio solar conocido más antiguo del mundo: “Las torres de Chankillo nos proporcionan una prueba de las primeras observaciones solares y de la existencia de avanzados cultos al Sol, los cuales precedieron casi 2.000 años a los del Cuzco incaico”, afirman los arqueólogos. Ubicado a unos 15 kms al sur de Casma, a unos 400 kms. de Lima (Perú). Su antigüedad es de unos 2300 años. **(c)** La Osa Mayor en una versión del Libro de las Estrellas Fijas. El libro es de la autoría del gran Abd ar-Rahman As-Sufi, o simplemente Al-Sufi (903-986). De origen persa (nació en Teherán), realizó la mayor parte de su trabajo en Bagdad, la ciudad más prestigiosa y erudita de la época. Fruto de este esfuerzo fue su obra principal, El Libro de las Estrellas Fijas (Kitab Suwar al-Kawakib ath-Thabita), en el que amplió el Almagesto de Ptolomeo. catalogando 1018 estrellas.

La Astronomía se podría dividir en cuatro grandes ramas:

- 1.- **Astrofísica:** estudia el origen, evolución y destino de los cuerpos celestes. Utiliza como ciencia auxiliar especialmente a la Física y las Matemáticas. Analizan principalmente las radiaciones electromagnéticas en los objetos.
- 2.- **Astrometría:** estudia las posiciones y movimientos de los astros.
- 3.- **Mecánica Celeste y Cosmología:** estudio del universo como un todo, principalmente su estructura.

- 4.- Radioastronomía: estudia las radiaciones electromagnéticas emitidas por los cuerpos celestes. En este sentido se asocia mucho a la astrofísica.

Aportes de la Astronomía al conocimiento y tecnología humana:

- 1.- En la navegación: fijación de las posiciones del Sol y las estrellas para la orientación y determinación de las coordenadas terrestres de un móvil y de los puertos, trazado de rutas, confección de mapas. En un principio la Astronomía se utilizó para la navegación marítima, aunque actualmente se utiliza una red de satélites, en este siglo se aplican los mismos principios en la navegación aérea y espacial.
- 2.- El desarrollo de instrumentos precisos de navegación, desde el astrolabio (dispositivo que mide la altura del Sol sobre el horizonte), hasta controladores de ruta de las naves interplanetarias. El nacimiento y desarrollo de la Astronáutica y la Aeronáutica está ligado estrechamente al progreso de las investigaciones astronómicas y al avance de la tecnología. Cohetes, estaciones espaciales, laboratorios orbitales y sondas, son algunos de los artefactos que forman parte del espectro de esa disciplina. Los objetivos de las investigaciones que se llevan a cabo en Astronáutica y especialmente la determinación de las órbitas de las naves, son el campo de la Mecánica Celeste, una de las ramas más antiguas de la Astronomía. Paralelamente, el desarrollo y lanzamiento de satélites artificiales, es quizás el aspecto más sobresaliente de la tecnología aeroespacial, derivado de principios Físicos deducidos en la Astronomía.
- 3.- La Tecnología: los instrumentos, diseñados en primera instancia, para su uso en la Astronomía, se adaptaron para otras disciplinas y finalmente fueron incorporados a la vida cotidiana (relojes, computadoras, detectores digitales, etc.).
- 4.- La Física y las Matemáticas: la Astronomía tiene interrelación con las otras ciencias, en particular con la Física y la Matemática; el Cosmos es un lugar excelente para verificar la universalidad de las leyes físicas obtenidas en nuestro planeta: su generalización y prueba es uno de los objetivos de la Astronomía. Muchos descubrimientos de procesos naturales son el resultado de

investigaciones astronómicas, a partir de las cuales luego se lograron entender ciertos fenómenos de la materia tal como la conocemos en la Tierra (la energía termonuclear, por citar un ejemplo). Los matemáticos, por su parte, tuvieron durante varios siglos en la Astronomía su campo de aplicación, la Mecánica Celeste. La Mecánica Celeste es quizás el mejor exponente de la relación entre ambas ciencias. Además, el preciso conocimiento de sus leyes, es fundamental en el desarrollo de todo lo vinculado con el desplazamiento de satélites y de naves espaciales.

- 5.- La Geografía, Geofísica, Climatología, Meteorología, Biología y Sismología: estas ciencias se nutren permanentemente de los avances de la investigación astronómica. Un caso particular de estrecha interrelación lo constituyeron en los últimos años la Astronomía y la Biología, a través de los esfuerzos dedicados en favor de la búsqueda de posibles señales de vida extraterrestre, el análisis de las condiciones de vida terrestre en otros mundos y también en la verificación de las leyes biológicas en el espacio exterior.
- 6.- La Literatura y el Cine: su influencia se hace sentir en los relatos de ciencia ficción. Los nuevos descubrimientos astronómicos amplían la imaginación de escritores y directores.

Los Astrónomos, tanto antiguos como modernos, tuvieron y tienen la tarea de investigar el universo y contribuir con el conocimiento humano. La forma de llevar a cabo esta tarea, es utilizando herramientas como los telescopios y radiotelescopios localizados en observatorios. Los observatorios son los sitios donde reposan los instrumentos de laboratorio de los astrónomos, los cuales son sus laboratorios de investigación.

Un Observatorio Nacional para Panamá

Un observatorio astronómico es una localización utilizada para observar eventos del Cosmos. Puede incluir instrumentos como el caso de los modernos, pero también puede ser a simple vista como el de las primeras civilizaciones. Pueden ser terrestres (ver figura 3) o posicionados en orbitas para evitar interferencias o turbulencias atmosféricas (ver figura 4). Dependiendo de la porción del espectro electromagnético que estudian, se clasifican en ópticos (luz visible)

o radio telescopios (ondas electromagnéticas). Los observatorios astronómicos, mejoran nuestro entendimiento del universo, han permitido descubrir nuevos astros, sus estudios permiten varían las dimensiones del cosmos a medida que se va acumulando más y más información y se desarrolla una compleja y exquisita tecnología para procesarlos, etc. Como en toda disciplina científica, resultan indispensables, buenos instrumentos y observatorios, para lograr avances.



Fig. 3. El observatorio de Páranla. Es un observatorio astronómico situado en Cerro Paranal a 2.635 m de altitud y 120 kilómetros de sur de Antofagasta, Chile. Es operado por el European Southern Observatory. Posee cuatro telescopios separados de 8.2 m. que pueden combinarse para formar un quinto instrumento, el VLTI, el Very Large Telescope Interferometer.

Los observatorios actuales, utilizan telescopios mucho más eficientes, que el utilizado por Galileo para observar las lunas de Júpiter. Tienen excelentes mecanismos de relojería, para seguir los astros y los eventos astronómicos en el firmamento, junto con base de datos computarizados de objetos, donde se reduce el tiempo requerido para encontrar las referencias de un objeto. Existen combinaciones de cámaras CCD y filtros ópticos, con telescopios de mediano tamaño, con el fin de recabar imágenes de estrellas muy tenues. Esto incrementa la eficiencia del observatorio.

Este tipo de proyectos queda plenamente justificado por los siguientes enfoques:

- 1) Enfoque divulgativo y entretención, buscando promover el conocimiento del más amplio muestrario de teorías y objetos astronómicos.
- 2) Enfoque observacional, que atiende básicamente a la realización de observaciones astronómicas dirigidas a profesionales del campo como al público en general.

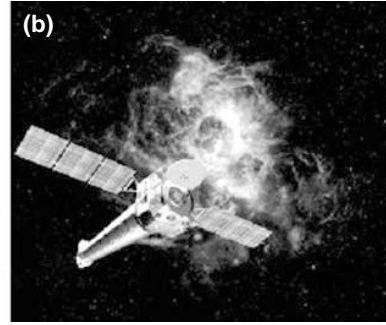
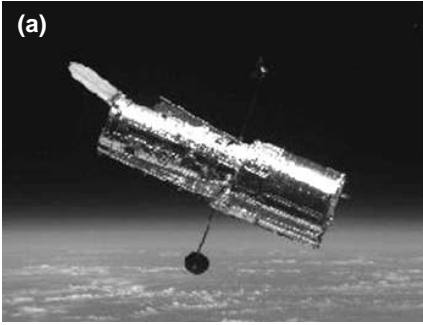


Fig. 4. Telescopios Espaciales. (a) El telescopio espacial de Hubble es un telescopio espacial que fue llevado en órbita por un trasbordador espacial en abril de 1990. Su nombre proviene del astrónomo americano Edwin Hubble. Aunque no es el primer telescopio espacial, el Hubble es el más grande y más versátil. Es una herramienta vital de la investigación y aumentó el interés del público por la astronomía. El TGV es una colaboración entre la NASA y la Agencia Espacial Europea. **(b)** El Chandra X-ray Observatory, es un observatorio de rayos x, lanzado por la misión de trasbordador STS-93 de la NASA, el 23 de julio de 1999. Fue nombrado en honor del físico Indio-Americano Subrahmanyan Chandrasekhar quien determinó el límite total para que las estrellas enanas blancas se conviertan en estrellas de neutrón. “Chandra” también significa “Luna” o “luminous” en sánscrito.

- 3) Enfoque evolutivo, que se dirige básicamente a la reproducción de los procesos de construcción de los modelos astronómicos.
- 4) Enfoque historicista, que se basa fundamentalmente en el desarrollo de los aspectos históricos y en la evolución de las ideas astronómicas.
- 5) Enfoque medioambiental al estar dirigido -también- hacia la toma de conciencia de la necesidad de “rescatar los cielos nocturnos de las garras de la contaminación lumínica” y preservarlos limpios para generaciones futuras.
- 6) Enfoques complementarios. En este sentido son muy fructíferos los relacionados con la cultura clásica (mitologías de los cielos, por ejemplo) para comprender el valor que en nuestra cultura occidental, representó la observación de los cielos, a la par que se rompe el absurdo de la separación ciencias-letras.

De todos los enfoques expuestos, sin duda los enfoques observacional y divulgativo, son los más destacables, porque la observación permite recoger datos, lo cual representa la semilla de las investigaciones, y la divulgación, es otra especie de semilla, que acerca al público en general, y sobre todo a los estudiantes, con la Astronomía y la ciencia aplicada, creando más interés en los estudiantes por la ciencia. Los alumnos y el público en general, tienen una buena impresión, en sus

mentes, cuando ellos entienden el funcionamiento y uso del telescopio. Los avances técnicos del telescopio no desaniman a las personas no-científicas, como es el caso de los aceleradores de protones, el cual es un instrumento fascinante, pero solo para un porcentaje muy pequeño de la población mundial.

El planteamiento y ejecución de un Observatorio Nacional para Panamá, crea algunos problemas como son la localización, el costo de la inversión inicial y de su mantenimiento.

Su localización tiene que reunir las siguientes características:

- No es necesario un lugar de gran elevación.
- Fácil acceso para el personal.
- Mínima contaminación lumínica.

El costo de la inversión inicial, estará distribuido de la siguiente forma:

<i>Item</i>	<i>Costo Unitario</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Sub-total</i>	<i>Descripción</i>
Telescopios ¹	17000	1	17000	Telescopio reflector automatizado de 16" con control por computadora, corrección de coma y seguimiento de objetos celestes
Cámaras CCD	1300	2	2600	De 1,4 Mpixels, alta resolución, campo amplio y con bajo ruido térmico, programa para capturar y procesar imágenes.
Computadoras	1500	3	4500	Para procesar y controlar en tiempo real telescopios y datos. Procesador de tecnología de doble núcleo, 2 Gb de ram, 160 Gb de disco duro.
Fotómetro y filtros	3000	1	3000	Instrumentos para la medición del flujo luminoso de estrellas variables.
Domo	20000	1	20000	De 10 metros de ancho, con su abertura correspondiente y controlado electrónicamente.
Varios	3500	1	3500	Instalación eléctrica, cerca, mobiliario, etc.
		Total	50600	

Los costos de mantenimiento, dependerán del lugar escogido para su emplazamiento, el consumo eléctrico de los instrumentos, del ritmo de trabajo y la forma de acceso al mismo. Esto requiere un estudio más detallado.

Conclusión

La Astronomía es la única ciencia en donde se reúnen el público y a los investigadores, para observar desafíos en las fronteras de la exploración científica. Un ejemplo claro existe en los cometas, muchas veces descubierto por aficionados y estudiado por los astrónomos.

Un proyecto de esta magnitud es relativamente barato para un país como Panamá, tomando en cuenta la inversión inicial y mantenimiento, en comparación con los beneficios que puede aportar sobre el conocimiento y la transformación del pensamiento del público en general, además proyectará a Panamá internacionalmente, colocándola junto a las naciones que hacen aportes en la Astronomía. Es necesario mencionar que la Astronomía y los conocimientos derivados de ella, han ayudado al desarrollo tecnológico de países como la India y México. No está exenta de riesgos, como todas las empresas humanas. También representa un entorno de conocimientos multidisciplinarios (combina diferentes profesionales, desde Educadores divulgadores hasta Astrónomos e Ingenieros) y aplicados como lo son la instalación y configuración de este tipo de proyectos, la logística y la consecución de financiamiento para su creación y funcionamiento.

La Astronomía puede aportar a nuestro país muchas cosas, pero sólo el Observatorio Nacional de Astronomía podrá materializarlas.

Referencias

- Amateur Astronomy, a comprehensive and practical survey. Mallard Press, 1989. printed in United States.
- Historia de los Eclipses. <http://www.asaaf.org/eclipseanular/historia.htm>
- Astronomía árabe. <http://www.danielmarin.es/hdc/astrologiaarabe.htm>
- Mayan Astronomers by Dora Musielak. <http://www.kuxansuum.net/page8.php>
- Chankillo, Perú: El observatorio solar más antiguo conocido. <http://gruponexus.wordpress.com/2007/03/02/chankillo-peru-el-observatorio-solar-mas-antiguo-conocido/>
- Meade Instruments Corporation. <http://www.meade.com/>
- La Silla Paranal Observatory: The Paranal Facilities. <http://www.eso.org/sci/facilities/paranal/>
- The Very Large Telescope Project. <http://www.eso.org/projects/vlt/>

BIOGRAFÍA

Leomar Acosta

TÍTULOS

- Maestría en Física de la Materia Condensada: Universidad de Paris XI, Francia, Julio, 2007.
- Maestría en Docencia superior: Universidad Latina de Panamá, sede de Veraguas. Junio, 2005.
- Postgrado en Docencia superior: Universidad Latina de Panamá, sede de Veraguas. Junio, 2005.
- Licenciatura en Física: Universidad de Panamá, Panamá. Abril, 2003.
- Bachiller en Ciencias: Instituto Urracá, Provincia de Veraguas, Panamá. Enero 1994.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

- Profesor de Física (2000-2001). Escuela Náutica de Panamá. Albrook, Panamá.
- Técnico del Centro de Investigaciones con Técnicas Nucleares (Enero 2001 - Marzo 2003). Universidad de Panamá. Panamá. Campus Central.
- Profesor de Física. Centro Educativo Stella Sierra, Arraiján Panamá. Marzo - Diciembre 2003.
- Profesor de Física. Colegio José Bonifacio Alvarado, Soná. Provincia de Veraguas. Marzo - Diciembre 2004.
- Profesor de Física. Instituto Profesional y Técnico de Veraguas. Provincia de Veraguas. Marzo del 2005, hasta Septiembre de 2006.
- Profesor de Física Instituto Urracá. Provincia de Veraguas. Marzo del 2005, hasta el presente.
- Profesor de Física. Universidad Latina de Panamá, sede de Santiago. Provincia de Veraguas. Marzo del 2004, hasta Septiembre de 2006.

Vigilando a Encélado

Por: *Mario Rodríguez Martínez*

EL planeta Saturno como una de las tantas maravillas del Sistema Solar, ha impactado tanto al hombre desde la época en que fue visto por primera vez a través del telescopio de Galileo Galilei¹ y desde la primera vez en que la estructura de sus anillos como un “fino disco” fue observada por Christiaan Huygens². Es el segundo planeta más grande y masivo del Sistema Solar. Sus anillos se extienden hasta los 265,500 km medidos desde su centro y cuenta con al menos 56 lunas conocidas aunque el número exacto no es preciso todavía. Encélado, una de estas extraordinarias lunas, ver figura 1, posee secretos que poco a poco han sido descubiertos por la misión *Cassini-Huygens*³.

Una de las misiones espaciales más importantes actualmente es la misión *Cassini-Huygens* que entró en órbita alrededor de Saturno el 1º de julio de 2004. Desde entonces a la fecha, el conocimiento científico aportado sobre Saturno y sus lunas en particular Encélado ha sido enorme, lo que ha permitido entender más sobre la formación de los anillos de este planeta, tal es el caso del **anillo E** dentro del que precisamente se encuentra Encélado. Durante su viaje por Saturno, Cassini completará 74 órbitas con 44 vuelos cercanos a Titán, la luna más grande de este planeta, y numerosos vuelos cercanos a otras lunas formadas por hielo como es el caso de Encélado.

En la mitología griega, Encélado hijo de *Gaia (Tierra)* fue un gigante derrotado en la guerra con los dioses del Olimpo por los rayos de Zeus, sin embargo, en el mundo saturnino la realidad es otra, ya que esta luna apenas tiene un radio 250 km (poco más del doble de la

-
- 1 Galileo Galilei (1564-1642). Matemático, Físico, Filósofo y Astrónomo Italiano que jugó un papel importante en la revolución científica.
 - 2 Christiaan Huygens (1629-1695). Astrónomo, Matemático y Físico Alemán fue el primero en sugerir que Saturno estaba rodeado por un anillo, usando un telescopio de mejor resolución que el de Galileo.
 - 3 *Cassini-Huygens* es una misión conjunta de la agencia espacial estadounidense (NASA, por sus siglas en inglés), la agencia espacial europea (ESA) y la agencia espacial italiana (ASI) cuya misión principal es estudiar al planeta Saturno y sus lunas.



Figura 1. Imagen de Encélado tomada por Cassini el 9 de marzo de 2005. Encélado con apenas 250 km de radio, de prácticamente el doble de longitud del Canal de Panamá desde el océano Atlántico hasta el Pacífico, es una luna que muestra impactos y grandes grietas en su superficie (créditos: JPL/NASA/Cassini).

longitud del canal de Panamá recorrido desde el océano Atlántico hasta el Pacífico) y cuya composición atmosférica se muestra en la Tabla 1.

Moléculas	Porcentaje
H₂O (agua)	91%
CO₂ (Dióxido de carbono)	3.2%
N₂ ó CO (Nitrógeno)	4.0%
CH₄ (Metano)	1.6%

Tabla 1. Composición química de la atmósfera de Encélado. Estos datos fueron obtenidos con el espectrómetro de masas para elementos neutros y iones (INMS por sus siglas en inglés) abordo de la nave Cassini (Waite, J. H. et al. 2006).

Aunque no se sabe cómo se formaron los anillos de Saturno, los científicos apuntan seriamente a 2 direcciones. La primera posibilidad es que en las primeras etapas de formación una de sus lunas entró en una órbita inestable y debido a las grandes fuerzas gravitacionales que Saturno ejerció sobre la misma, ésta fue destruida formando los anillos como hoy los conocemos. En este mismo sentido una alternativa podría ser que un gran meteorito o cometa la golpeó al grado de destruirla dando formación a estos anillos. La segunda posibilidad estriba en que los anillos simple y sencillamente son parte del material original nebular del que Saturno se formó. Es difícil discernir entre estas dos posibilidades, sin embargo, las misiones que el hombre ha mandado para estudiar estas regiones de nuestro Sistema Solar poco a poco aportarán pistas en el conocimiento de estos y otros enigmas.

Los 7 anillos de Saturno, separados uno del otro, son estructuras formadas de partículas de hielo y polvo de 3 metros de tamaño en

promedio y con un grosor que varía entre los 200 y 3,000 metros⁴. En la Tabla 2 se muestra un breve resumen de los tamaños que guardan estas estructuras.

Nombre	Distancia desde el centro de Saturno (R_s)	Ancho (km)
Anillo D	1.11-1.24	7500
Anillo C	1.24-1.53	17500
Anillo B	1.53-1.95	25500
División Cassini	1.95-2.03	4700
Anillo A	2.03-2.27	14600
División Roche	2.27-2.31	2600
Anillo F	2.33	30-500
Anillo Janus/Epimetheus	2.47-2.56	5000
Anillo G	2.82-2.90	5000
Anillo Pallene	3.50-3.53	2500
Anillo E	3.00-8.01	302000

Tabla 2. Principales anillos de Saturno. Aquí se muestran los tamaños de los principales anillos de Saturno y las divisiones conocidas entre ellos, donde $1R_s=60,268$ km es el radio de Saturno.

Encélado es una de las lunas más fascinantes de Saturno y las imágenes que el satélite *Cassini* ha presentado en los varios encuentros con ésta, así lo han demostrado. Desde su puesta en órbita, *Cassini* ha tenido al menos 4 vuelos muy cercanos con esta luna. Los tres primeros encuentros ocurrieron el 17 de febrero, 9 de marzo y el 14 de julio de 2005 y más recientemente el 12 de marzo de 2008. El primer vuelo mostró que Encélado actuaba como un obstáculo alterando el campo magnético de Saturno. El segundo vuelo confirmó tal alteración y además mostró que había una fuente muy cercana a Encélado que producía tales alteraciones. Con el tercer vuelo se confirmó que efectivamente había una fuente que inyectaba material neutro (básicamente vapor de agua y partículas de hielo que salían eyectadas al espacio, algo semejante a los géiseres conocidos en la Tierra). Dicha fuente se encontraba en el polo sur de Encélado distorsionando el campo magnético de Saturno. La figura 2 muestra precisamente imágenes en luz visible de esta pluma de material

4 Pagina web: "World book at NASA": http://www.nasa.gov/worldbook/saturn_worldbook.html



Fig. 2. Pluma de material, vapor de agua y partículas de hielo, observadas al polo sur de Encélado por Cassini. El material sale por grandes grietas que se encuentran justo en esta región (créditos: JPL/NASA/Cassini).

tomadas por *Cassini* conocidas como “*las rayas del tigre*” (*tiger stripes* en inglés). Estas “*rayas del tigre*” son depresiones típicamente de 500 m de profundidad, 2 km de ancho y hasta 130 km de longitud (Porco C. C. et al. 2006).

Por otra parte, la temperatura observada en el polo sur de Encélado demostraba ser del orden de 190° C bajo cero (~85 grados Kelvin). Este valor fue 15° C más alto del que se esperaba según modelos teóricos y que para los científicos es suficiente como para derretir el hielo justo debajo de la superficie de Encélado y proveer así de material (vapor de agua y partículas de hielo) que salen de esas regiones en el polo sur de esta luna.

El cuarto vuelo cercano a Encélado mostró todavía más detalles de esta pluma y además aportó información extra sobre la composición química del material eyectado. Esta pluma está constituida por vapor de agua, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono y adicionalmente compuestos simples y complejos orgánicos de carbono, lo que podría ser un entorno potencialmente importante para la vida. En la figura 3 precisamente se muestra una representación gráfica de la composición química en la pluma de Encélado. Es importante mencionar que gran parte de este material eyectado por Encélado es depositado en el anillo E a una tasa de más de 100 kg cada segundo.

Aunque han dejado de existir secretos de Encélado con las observaciones de *Cassini*, nuevas preguntas surgen en torno a ¿cómo puede esta luna mantener una fuente de calor en su interior?. Una propuesta al respecto sostiene que Encélado alberga probablemente

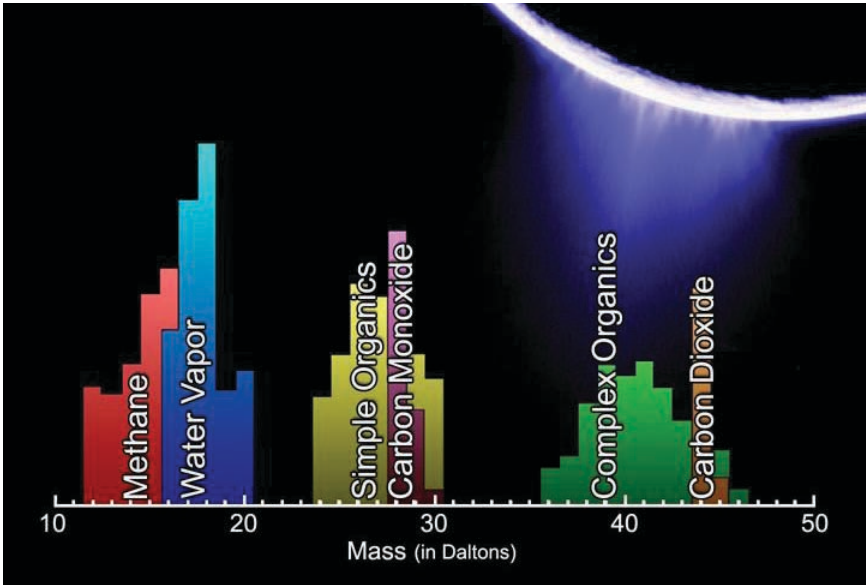


Fig. 3. Composición química de la pluma de material al polo sur de Encélado. Los materiales que destacan son: en rojo metano, en azul vapor de agua, en amarillo orgánicos simples de carbono, en morado monóxido de carbono, en verde complejos orgánicos de carbono y en café dióxido de carbono. La composición química en esta región puede ser potencialmente importante para la vida (créditos: JPL/NASA/Cassini).

roca fundida en su interior debido a decaimientos radioactivos. En la zona en la que entra en contacto el hielo superficial con la roca fundida se producen efectos de convección, como los que ocurren cuando se pone a hervir agua en un recipiente. El hielo se funde poco a poco debido al calor interno y la presión del vapor de agua que se genera busca una salida por un conducto (este puede ser un conducto tipo géiser o una gran grieta como las observadas por *Cassini*). Cuando el material es eyectado, arrastra consigo partículas de hielo y polvo, lo que da formación a las “*rayas del tigre*” observadas por *Cassini*. La figura 4 muestra un esquema de cómo este *modelo del géiser frío* funciona en Encélado.

Por los elementos expuestos anteriormente, Encélado es sin lugar a dudas una luna fascinante que no ha dejado de sorprendernos al igual que Titán. Tal vez un día el hombre pueda mandar misiones tripuladas para hacer observaciones y experimentos *in situ*, pero por el momento solo tendremos que conformarnos con mandar robots que busquen indicios de vida en estas enormes grietas. Seguramente

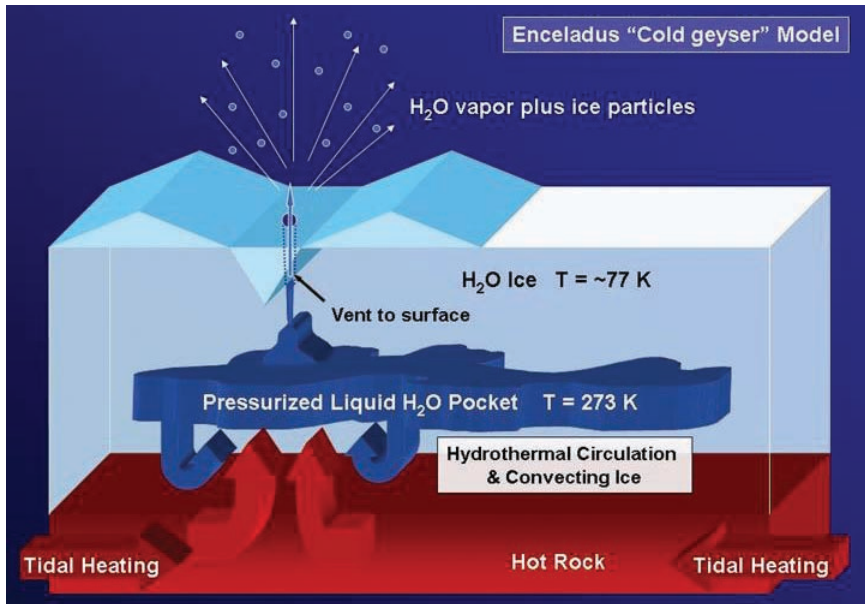


Fig. 4. Modelo del géiser frío. Roca fundida al interior de Encélado, cuyo calor interno posiblemente proviene de procesos de decaimientos radioactivos, hacen que por convección el material caliente suba a zonas donde se combina con el hielo que poco a poco funde y que el líquido presurizado busque una salida por un conducto (grieta), de tal forma que arrastra consigo partículas de hielo y polvo que son eyectadas como si fuese un géiser como los conocemos en la Tierra formando las "rayas del tigre" (créditos: JPL/NASA/Cassini).

nuevos descubrimientos están por venir y nuevas concepciones sobre cómo se originó la vida en el Universo también.

Referencias

- Khurana, K. K.; *et al.*; (2007); *Mass Loading of Saturn's Magnetosphere near Enceladus*, Journal of Geophysical Research, Vol. 112, pp. 1–12.
- Porco, C. C.; *et al.*; (2006); *Cassini Observes the Active South Pole of Enceladus*, Science, Vol. 311, No. 5766, pp. 1393–1401.
- Waite, J. H.; *et al.*; (2006); *Cassini Ion and Neutral Mass Spectrometer: Enceladus Plume Composition and Structure*, Science, Vol. 311, No. 5766, pp. 1419–1422.

Biografía

Mario Rodríguez Martínez, actualmente es estudiante de doctorado del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Su trabajo doctoral está enfocado en la Física de Plasmas Espaciales en Saturno y Júpiter (ondas e inestabilidades en estas regiones). Cursó una maestría en Astronomía en el Instituto de Astronomía de esa misma universidad entre el 2001 y 2003 y una licenciatura en Física entre 1995 y 2001 en la Facultad de Ciencias de esa misma institución. Ha participado como divulgador de la ciencia en calidad de anfitrión en el Museo de Ciencias Universum de la UNAM y ha impartido el módulo del Sistema Solar en el diplomado de Astronomía realizado en el Planetario Luis Enrique Erro del Instituto Politécnico Nacional en México D.F.

Sobre cómo vemos que crece El Universo

Por: **Julio César Garrido**

Departamento de Física

Universidad de Panamá

Introducción

EL tremendo auge en el interés de los ciudadanos hacia los eventos de la astronomía y la ingeniería genética es motivo suficiente para abordar de qué se trata y el porqué se sigue observando un interés creciente sobre estos fenómenos. El acceso masivo a información científica no necesariamente implica un interés por el volumen de fenómenos que ahora salen a relucir debido al empuje de la tecnociencia que se asume está para mejorar la calidad de vida.

Las cifras son contundentes en mostrarnos que la equidad y la justicia social se alejan de los principios que la universalizaron y no hay respuestas claras de por qué se gastan tantos millones en expediciones al espacio y en ampliar los sistemas de observación desde la tierra, situación que parece que no tiene la biología molecular. Sin embargo, si desde una arista el progreso tecno-científico produce un explosivo desarrollo industrial, desde el punto de vista de la comunidad de científicos, los márgenes de indagación se extienden enormemente. La ética de la ciencia y de la tecnología exige que, lejos de un positivismo tardío, la sociedad del conocimiento que se construye, amén de otros pilares como la humanística, tenga un reflejo en la equidad, el progreso, en una sólida apropiación social de la cultura, en general, y la científica como parte de ésta. La conciencia de lo que somos no es una pregunta vaga pues de no prestarle atención seremos presa del descontrol de esta mega información y sus tecnologías, aumentará la pobreza de nuestro ejercicio democrático, pero también debilitará nuestra individualidad frente a los fenómenos del planeta, nuestro sistema solar y frente a lo que llamamos universo.

La relación entre el hombre y el cosmos viene de antes de la antigüedad. (la **foto** en la página siguiente es de la National Geographic muestra el sitio neolítico observacional del 2500 a.C. llamado Stonehenge



en Gran Bretaña). Queremos mostrar la importancia de este siempre permanente nexos y aportar algunos elementos de juicio que dé a la crítica social, a la ciencia, elementos objetivos sobre nuestra estructura y sobre la naturaleza de la sociedad del conocimiento en la cual estamos.

Se ha tenido la oportunidad de abordar el problema de la vida y del universo a la luz de la llamada gran explosión con una clara reacción positiva por parte de los jóvenes. De igual forma se analiza hoy el tema del origen del universo, de la evolución de las condiciones para el nacimiento de las estructuras de los seres con vida y cómo precisamente, los descubrimientos hechos desde las sondas espaciales que han hecho variar lo que los científicos pensaban sobre el tema y cómo han nacido nuevas teorías al respecto. La idea es que estos nuevos conocimientos les lleguen también a los jóvenes y a la sociedad en general para que la indagación produzca amplitud de espíritu y un criticismo más activo y fundamentado en la gente. Si las ciencias no llegan a ella no podremos dar respuesta a lo que pasará en nuestra tierra, el sistema solar donde ella se ubica y, por supuesto, más allá. La escuela puede ser una base para profundizar en ciertos aspectos de la cultura, aunque mirar por un telescopio pueda parecer que volvemos a los tiempos de Galileo o algunos lo vean como muy alejado de las cosas tangibles de la rutina diaria. Por eso, el esfuerzo mundial que se hace a partir de los cuatrocientos años del nacimiento intensivo de la observación astronómica por Galileo, lanzado por la UNESCO y la Unión Internacional de Astronomía (IAU) siendo el 2009 la fecha de cumpleaños, marca más bien una mirada hacia el futuro y a dar respuestas a las interrogantes planteadas amén de otras que se enunciarán. Cuando los niños se introducen en los números, pocos

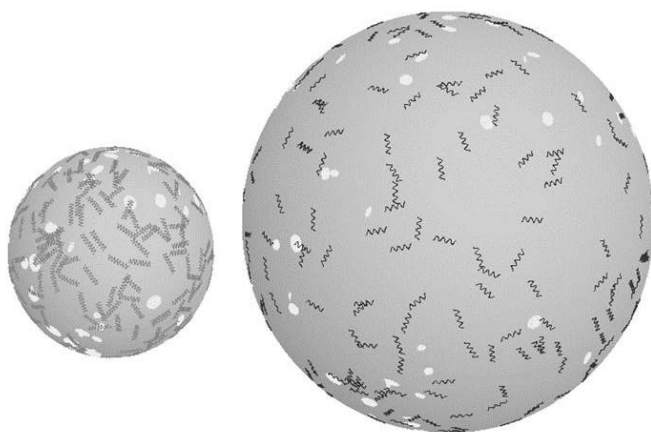
ven en ello la apertura a un nuevo mundo en la mente de éstos, sin que nadie exija que haya que ser un Piaget. Asimismo al introducirlos un poco más tarde a reconocer la Tierra y cómo ella se ubica en el sistema solar y en el universo, significa un buen paso al mundo de las ciencias naturales sin que ello implique que las letras, la filosofía o la política estén en otro nivel en la sociedad del conocimiento en la que estamos obligados a vivir.

Las argumentaciones sobre el origen de la vida no son nuevas, se vienen sucediendo, y el desarrollo experimental que se hizo durante el siglo pasado ha llegado a buenos segmentos del público. Esta es una indagación que se hace más allá de la fe y que se la hacen no pocos. No es, por supuesto, un ejercicio puramente teórico. Ni interesa relacionarla a los temas del antropomorfismo. El descubrimiento de la molécula ADN, en la base de las estructuras vivientes, elevó el debate científico sobre lo que es la vida pero introdujo, simultáneamente, una enorme cantidad de elementos pseudo científicos. Esta nueva situación, que crece a medida que se desarrolla la biología molecular y la medicina, encuentra también una participación intensa de las tesis creacionistas con una lamentable convivencia entre un alto desarrollo tecnológico y un neoconsevadurismo que tiende realmente a crecer.

En la época de los 50 y 60's, había dos teorías sobre cómo se originó nuestro universo. De una parte, la teoría cosmológica del universo en expansión mal llamada big-bang (no se sabe qué clase de bang fue) y la que se denominó la teoría del estado estacionario o de creación continua a partir de lo que se denomina *vacuum*, tanto de materia como de energía. Ambas intentaban explicar el origen de las nebulosas, las galaxias y las estrellas. Fue la primera teoría la que prevaleció de forma contundente cuando al inicio de la década de los sesenta se descubrió la radiación cósmica primigenia o sea la luz que viene como reliquia del inicio del crecimiento del universo, una huella de ese universo original. El descubrimiento, a fines de la década 90 por la vía de los telescopios espaciales, de la fluctuación o anisotropía de la radiación primigenia aporta nuevos elementos sobre el big bang. Además ambas se ocuparon de la llamada nucleosíntesis, es decir, de cómo se forman los elementos químicos, los que dieron origen a las moléculas de la vida. La observación astronómica de los

planetas se intensifica y, hasta se populariza, buscando dónde puede haber fundamentos para hablar de vida en ellos. La salida de Plutón como planeta, debido a sus características, despertó gran interés en la juventud y en la gente en general provocando un aumento de astrónomos aficionados, quienes también son bien considerados por las instituciones que investigan. En esto se observa una pista para inducir la enseñanza más amplia y actualizada de las ciencias naturales y lograr una mayor percepción de las mismas.

Por otro lado, se descubren en forma continua estrellas superiores, las más lejanas de nosotros, que ponen en evidencia algo inesperado, la **aceleración de la expansión del universo** a esas enormes distancias. Este reciente descubrimiento trae a la luz el problema de la existencia de una fuerza disgregadora o repulsiva actuando al contrario de la fuerza de atracción gravitatoria de los cuerpos. Se puede uno imaginar a las mismas galaxias como si fuesen puntitos de colores sobre la superficie de un globo que se infla y paulatinamente estos se van separando como las galaxias. Pero si a cierto tiempo usted percibe que los puntitos se alejan aceleradamente, cambiando constantemente su velocidad de alejamiento (ver **figura** abajo), entonces, cuando se extiende este ejemplo a las galaxias resulta que es una modificación a una importantísima ley establecida desde la década de los años 20. Esta última se refiere a la ley de Hubble que establece que el alejamiento paulatino a velocidad constante entre las galaxias es mayor mientras se esté más lejos de ellas. Observar este comportamiento se puede lograr si se le adapta al telescopio un aparato que pueda detectar los



cambios en la luz (de azul a rojo) que emiten las galaxias. De modo que cuando indagamos de dónde viene y hacia dónde va el Universo, nos encontramos con dos comportamientos de expansión bien demostrados que llevan a indagarse el cómo terminará ésta. Sobre este punto hay que ser cautelosos y evitar especulaciones, no sin reconocer que la ciencia tiene métodos para analizar esta indagación.

1. El Universo: Un habitat ajustado

¿Qué pasaría si hacemos ajustes a las constantes que describen las leyes del universo? El tema del valor de las constantes que caracterizan el comportamiento de la tierra, el sistema solar, las estrellas y el Universo ha adquirido mucha importancia debido tanto a las observaciones astronómicas vía telescopios, satélite y desde la tierra. Muchas de ellas son perfectamente asequibles por la vía de la información digital. El perfeccionamiento de sus mediciones no hace más que mejorar cada vez más y, en muchos casos, son realmente importantes tanto para la tecnología como para las explicaciones teóricas. Las constantes que describen los fenómenos de la naturaleza toman décadas para ser establecidas experimentalmente de forma fiable y con una altísima precisión. No son valores asignados sino que sobre la base de la investigación aparecen para dar fundamento a las hipótesis que llevan a las explicaciones científicas. Sin embargo, las constantes realmente fundamentales no son muchas y siempre subyacen en el contenido de las grandes leyes que rigen la gran maquinaria que es nuestro universo.

En años recientes, ha crecido el interés por múltiples relaciones entre parámetros que indican claramente la necesidad de mantener los valores de estas constantes por los cambios de escenario que producen si se asume que varían un poco. Por ejemplo, hay experimentos satelitales para comprobar si la ley de Newton que rige la gravedad se describe por los parámetros que son los conocidos. Las constantes de interacción gravitatoria G , la de la fuerza nuclear g que es la que rige lo que pasa en el núcleo, aquella de la fuerza llamada débil g_w , responsable de la radioactividad, la electromagnética g_{em} , son las que caracterizan los fenómenos físicos propios de las cuatro interacciones fundamentales en la naturaleza. Los resultados de la ciencia señalan

el hecho de que antes del inicio del universo primordial, antes del llamado tiempo de Planck, las teorías físicas modernas, la de las únicas cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza, no tienen validez. Pues bien, al hacer énfasis sobre la conservación de las cuatro fuerzas fundamentales de la física, el físico Reeves¹ considera que éstas son inmutables, ya que en el marco de la teoría de la gran explosión han presidido la elaboración de la complejidad del Universo. Las propiedades de estas leyes son, por lo demás, asombrosas pues sus formas algebraicas y sus valores numéricos parecen sumamente ajustados. Lo demuestran las simulaciones matemáticas: si las leyes fueran levemente distintas el universo jamás habría salido del caos inicial. Aunque se puede hacer la pregunta del porqué la naturaleza es así, la consideración de que las cosas pueden ser ciertas de otra manera es también válida.

Hagamos observar, por puro interés, que hay quienes utilizan el argumento que allá, antes de la gran explosión en la denominada era de Planck, no todas las constantes funcionan de la misma forma debido a la presencia de los llamados **agujeros de gusano** que se ocupan de conectar regiones muy lejanas del universo las cuales tendrán otros valores de algunas de las constantes. Ahora resulta que los ajustes finos se complican. Es bueno saber que los llamados **puentes de Einstein-Rosen**, introducidos en su momento por estos autores, juegan un rol similar de conectar, pero con un sentido más bien geométrico que físico.

La masa de las estrellas M_s , del sol M_o , del universo M_u , asimismo, los números de partículas o átomos de hidrógeno N_h , de helio N_{he} , de deuterio N_d , de bariones N_b también son parámetros que describen fenómenos importantes que intervienen en la posibilidad de existencia de la vida. El nacimiento reciente de una nueva rama de investigación

1 Simmonnet D., 1997. "La más bella historia del mundo: Los secretos de nuestros orígenes". Ed. Andrés Bello.España.

Nota: es el resultado de un coloquio que abarca las tres grandes fases de nuestros orígenes, organizado por la jefa de redacción del prestigioso semanario L'Express, Dominique Simmonnet y en el que participan sobre el UNIVERSO, Huber Reeves, astrofísico canadiense de las Universidades de Montreal y Paris, autor de una docena de libros. Sobre la VIDA, desarrollado por el biólogo Joel de Rosnay, exdirector general del Instituto Pasteur de Paris y actual director de la Ciudad de las Ciencias. Y sobre el HOMBRE, expuesto por el antropólogo Yves Coppens, profesor del College de France, codescubridor de Lucy y autor de varios libros.

en la ciencia como la exobiología no es otra cosa que la búsqueda de respuestas sobre la vida en los planetas, en las galaxias y, en general, en nuestro universo. Siempre es importante aclarar que la noción de vida no necesariamente está ligada a la vida inteligente. También se trata de investigar moléculas, procesos, estructuras que conducen a la vida en general.

La variación fina de estos parámetros, conducen a situaciones que no permitirían la formación de átomos pesados para la vida o a la imposibilidad de formación de estrellas tipo solar o de galaxias, o sistemas planetarios inadecuados a la vida. Por ejemplo, un pequeño cambio en la fuerza débil haría que algunos neutrones se desintegren creando alrededor del mismo número de protones y neutrones en cuyo caso todos ellos se ligarían en un núcleo de helio generando un universo de 100% de helio sin suministrar el hidrógeno combustible para los procesos de fusión en las estrellas. En ninguno de estos casos extremos tendríamos la existencia de estrellas y de la vida tal como la concebimos basada en la química del carbono. Este ajuste fino de parámetros necesarios para obtener las condiciones de existencia de la vida es el que ha dado fundamento al debate sobre el denominado principio antrópico. Uno de estos grandes debates se dio en el seno de la Academia de Ciencias Morales y Políticas de Francia². Está claro que existe otra enorme cantidad de parámetros que se relacionan de esta manera por lo que en ningún instante se trata de combinatoria de números como algunos intentaron hacer creer mediante programas de computadoras. Es más sólido e interesante.

La historia de los 15 mil millones de años de evolución cósmica, comprimida a un año (tome 1 día equivalente a 41 millones de años) se contaría de la siguiente forma:

1 de enero: comienza el big bang

1 de abril: la formación de la vía láctea

9 de septiembre: la formación del sistema solar

25 de septiembre: aparece la primera célula viviente

9 de octubre: aparecen la bacteria y las algas azules

2 Trinh Xuan Thuan (2001). Astrophysics Laboratory, University of Virginia, USA. "La place de l'homme dans l'Univers". Academie des Sciences Morales et Politiques de France. Ver además Science et Avenir (2000)-Hors Serie No124. "Le sens de la vie-Le principe antropique". Rapports et Colloques 20 fevrier 2001.France. <http://www.asmp.fr>

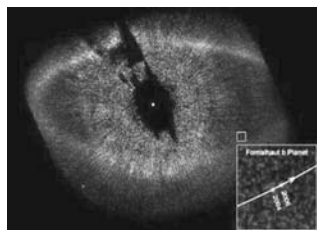
- 1 de noviembre: surge el sexo entre microorganismos
- 19 de diciembre: surgen los primeros peces
- 21 de diciembre: surgen los primeros insectos
- 23 de diciembre: surgen los primeros árboles
- 27 de diciembre: las primeras aves
- 28 de diciembre: los primeros dinosaurios con solo cuatro días de existencia

La evolución del hombre se daría en los últimos 30 minutos, contamos el tiempo de esta manera que al final de cuentas está dentro de lo que palpamos:

- 31/dic 22h30min: entran en escena los primeros hombres
- 31/dic 23h59min: las primeras pinturas en cuevas
- 31/dic 23h 59min y 49seg :desarrollo de la astronomía
- 31/dic 23h 59min y 59seg: surge Cristo y Buda

Hay que prestar atención al tema de lo que algunos (Bostrom N., 2002)³ hoy prefieren llamar Efectos de Observación Selectiva para tomar alguna distancia del término Principio Antrópico, aunque al final de cuenta, este último, ha permanecido como tema de indagación, independientemente de las versiones que se tengan de él. Simplificando, se señala que hay que cuidarse de jugar con las constantes, con las cifras, sobre todo ahora que se dispone de herramientas sofisticadas y asequibles de cálculo numérico. Por ejemplo, existen partidarios de la tesis de que como el universo tiene alrededor de 10^{32} estrellas, nos daría muy poca expectativas de sostener la vida o bien que sólo la tierra abriga la vida inteligente por lo que el propio universo y la tierra son el resultado del diseño divino. Es un tema de la escolástica como variante de la ciencia.

Los recientes avances tecnológicos han llevado al descubrimiento de **decenas de planetas** solo en nuestro entorno (ver la **foto** de Nature 10-2008, el planeta Formahaut en el cuadrado), lo que apunta a que el número de ellos es inmensamente



3 Bostrom N., 2002. "Anthropic Bias: Observation, Selection Effects in Science and Philosophy". Ed. Routledge. New York. Ver Circovich Milan (2003), Book Review on Anthropic Bias's Nick Bostrom. Ed. Routledge. Rev. Foundation of Science. Vol 8, No4, págs 417-423. Netherlands.

grande y aumenta la probabilidad de vida en el Universo. De allí, el sustancial aumento del interés en la búsqueda de **planetas**.

La hipótesis de la existencia de vida inteligente u otras civilizaciones fuera de la tierra es un tema atractivo para el intelecto y es un propósito de investigación de astrónomos y astrofísicos, por supuesto y de los nuevos exobiólogos en el cual se invierten muchos esfuerzos y fondos. Hubo un cierto momento en que el escepticismo de los planificadores que llevó a suspender los fondos a estos esfuerzos. Una vez más, la ética jugó un importante rol y, si bien esta decisión no podría ser calificada necesariamente de reprochable, sigue siendo, como afirmamos al principio, una realidad que gravita sobre la equidad. Una relación famosa que guía a algunos grupos es la llamada Formula de Drake que da el número N de civilizaciones tecnológicas, la que se lee de forma simple ya que es una multiplicación de factores, cada uno de los cuales se van precisando a medida que conocemos más sobre ellos, esto es:

- N= Número de civilizaciones tecnológicas en nuestra galaxia
- X Promedio de formación de estrellas en nuestra galaxia
- X Fracción de estas estrellas que tienen sistemas planetarios
- X Número de planetas con ambiente adecuado para el desarrollo de la vida
- X Fracción de estos planetas que en verdad tienen vida
- X Fracción de estos planetas con vida inteligente
- X Fracción de especies de vida inteligentes capaces de establecer comunicación
- X Tiempo promedio de una civilización tecnológica

Existe el punto de vista, por otro lado, de quienes ven el problema de la vida a través de la Información que porta la inteligencia y se basan en la existencia de un ente matemático portador de toda la información de un sistema, en donde las partículas del universo y el observador intervienen en la realidad de éstas y en sus propiedades, lo cual podría ser aplicado al universo entero. O sea que el universo crea al hombre pero el hombre a través de la observación trae el universo a la realidad. John Wheeler (Wheeler J., 2001⁴) afirma que “el universo

4 Wheeler J.A., Tegmark M. (2001) “100 year of the quantum”, Scientific American. Vol. 284. págs. 68-75.

comenzó pequeño en el big bang, creció en tamaño, dando lugar a la vida, a los observadores y a los equipos de observación. Los equipos de observación, a su vez, a través de procesos cuánticos elementales que finalizan en ellos, participan en una realidad tangible de eventos que ocurrieron mucho antes que hubiese vida en alguna parte”. Dada la importancia de este científico, lo cual no necesariamente fundamenta la veracidad o no de la tesis, lleva a ver esta última a más que ser vista como una entelequia, es un área de reflexión que incorpora la física cuántica con la gravitación. Existe la versión de la **“suma sobre todas las historia”** que se sintetiza a través de un razonamiento sencillo y determinista: para ir de un estado inicial de un sistema a uno final, existen miles de formas diferentes llamadas trayectorias y bien definidas, cuya suma nos debe dar el cambio de estado y que puede ser aplicada al Universo ya que todas las historias son de igual probabilidad o equiprobables. Tal teoría debe contener una completa explicación auto-consistente del porqué el Universo tomó la dirección que tomó sin recurrir a ningún argumento probabilístico.

2. El carbono a la base de la vida

En 1952, el astrónomo Fred Hoyle⁵ usó argumentos antrópicos para predecir un nivel excitado del núcleo del carbón con energía de cerca de 7.7 MeV. Este delicado balance de constante física fue necesario para que el carbón y otros elementos químicos más allá del elemento litio en la tabla periódica pudiesen ser cocinados en la estrellas. Este es un ejemplo del uso del concepto de ajuste fino para el logro de una predicción científica que tuvo relevancia en su época. Debemos dejar claro que cuando se habla de vida en este caso se refiere a la evolución de la materia en el universo en el periodo llamado de la nucleosíntesis y en la que se dio la aparición de moléculas complejas que están en la base del ADN y de otras más, que son el fundamento de la vida en general. Esta visión es parte de lo que hoy se llama la nueva rama de la ciencia denominada también astrobiología, pero no es exactamente como la ven los biólogos que la investigan desde otros ángulos muy diferentes, aunque ambos usen la misma bioquímica.

5 Hoyle Fred (1982). “The Universe Past and Present Reflexions” Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 20, pág. 16.

Hoyle examinó a fondo los mecanismos nucleares involucrados en los fundamentos de la vida y encontró que éstos parecían ser inadecuados. El electrón interviene en el proceso de creación de los elementos pesados. Como su masa es más pequeña que la diferencia de masa entre el protón y el neutrón se produce la desintegración lenta en la que el neutrón se transforma en un protón más un electrón y queda un sobrante de energía pura que se asocia a una bella partícula llamada neutrino del tipo electrónico.

Quizás se vea más claro si analizamos la intervención de Fred Hoyle en las teorías de **la formación del carbono en las estrellas**. El carbon, así como el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno están en la base de los compuestos orgánicos relacionados con

El carbón se produce en las estrellas por el proceso 3 α

$2 \text{He}^4 \rightarrow \text{Be}^8$
 $\text{He}^4 + \text{Be}^8 \rightarrow \text{C}^{12}$

Estado para la vida con C^{12} teórico: 7.7Mev

Estado para la vida con C^{12} : experimental 7,66 Mev

la vida los cuales se “cocinan” mediante reacciones nucleares en las estrellas. El átomo de berilio juega un rol intermediario para la manufactura del carbón que garantiza la producción de la vida, pues el mecanismo básico consiste en una fusión de dos núcleos de helio para dar uno de berilio al cual se funde otro núcleo de helio dando lugar al carbono.

Sin embargo, esto no es suficiente como mostró Fred Hoyle quien usando cálculos standares de la teoría nuclear examinó los estados de energía del núcleo del carbón, percatándose que se requiere un estado de 7.7 en unidades llamadas de mega-electrovoltios para la vida basada en el carbono. Sin embargo, al no poder obtenerse este estado con las técnicas de cálculos normales debió hacer recurso al argumento antrópico sobre la necesidad del estado 7.7 para la existencia de la vida. Esta predicción de Hoyle basada en sus convicciones sobre los procesos de creación de la molecula ADN, complementaba su tesis de formación de la vida en las nubes galácticas producto de la explosión de las estrellas. En un experimento efectuado por miembros de su grupo, se encontró que este estado excitado resultó ser de 7.66 MV.

Nada ofrece más respeto en la Ciencia que una predicción y en este caso Hoyle usó la teoría nuclear estándar. Pero hay algo muy significativo: sin el estado de 7.7 MeV del carbón, la vida basada en el carbón no existiría! (aunque es posible la vida basada, por ejemplo, en el silicio en algún otro universo).

La edad del universo nos indica los tipos de estrellas que existen. Fueron necesarios 3×10^{12} años para la formación de la primera estrella, unos 13×10^{12} años para que las **supernovas** dispersen suficientes elementos pesados para dar estrellas como el sol y unos 17×10^{12} años para que pudiesen aparecer plantas con vida. El sistema sol-luna-tierra requirió propiedades muy especiales para que se pudiese dar vida en la tierra: la gravedad en la superficie, el período de rotación, el campo magnético terrestre, la interacción con la luna, la rata de cargas eléctricas en la atmósfera, el nivel de ozono, la actividad sísmica, la relación oxígeno/nitrógeno en la atmósfera y múltiples otras condiciones se requirieron para generar probabilidades de vida.

En la evolución de estos resultados, la experiencia nuclear moderna (Weinberg S., 2003⁶) permite lograr abundancias de carbón por la vía de otros elementos y otros estados diferentes al predicho, aunque no se puede negar la sutileza de esta brillante predicción. Además, la predicción se hizo dentro de la búsqueda de una teoría sobre el origen de la vida y no como producto del perfeccionamiento de las técnicas nucleares. Se sabe que las estrellas después de su periodo de vida explotan, algunas como supernovas, y diseminan tanto el carbono como otros átomos en el espacio. Esta lluvia de átomos y moléculas pueden caer en atmósferas y superficies de planetas y asteroides, y son propicias para crear los elementos bioquímicos que están a la base de la molécula de ADN.

3.La inflación del universo

La historia de nuestro universo primigenio comienza (obviando la época pre-planckiana) con la fase denominada de **inflación cósmica** (o inflacionaria) descubierta en 1980 (Guth A., 1997⁷). Como en

6 Weinberg S. (2003). "El sueño de una teoría final: La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza". Ed. Biblioteca de Bolsillo CRITICA. Barcelona.

7 Guth A.(1997). "Was cosmic inflation the 'bang' of the big bang" Rev. on line The Beam line, No27, pág. 14. Stanford Linear Accelerator. Stanford University.

economía, un crecimiento desmesurado y en corto tiempo de precio es un crecimiento inflacionario. Así mismo lo hace la superficie de una burbuja de jabón que simula un espacio de dos dimensiones. Como vimos, la historia de la inflación del Universo tiene otras épocas que le siguen a la inflación cósmica como la ley de Hubble y otras variantes de crecimiento que mencionaremos como:

- la inflación caótica,
- el principio de mediocridad
- la selección natural cósmica la inflación eterna.

El comportamiento del universo en su proceso de crecimiento inflacionario, ocurre una expansión exponencial y la vigencia de la ley de Hubble. Este descubrimiento hecho en 1917 por astrónomos norteamericanos, Humanson y Slipher para mencionar un par, ya se conocía antes de que Einstein introdujera la constante cosmológica. pero la primera guerra mundial impidió el intercambio de conocimientos.

La ley de Hubble (Weinberg S, 1980)⁸ que nos dice que el universo crece de tal manera que las galaxias se alejan, cada una de cualquier otra, con una velocidad proporcional a la distancia entre ellas, lo mismo que le pasaría a nuestras hormiguitas sobre el globo. Estas no son solo hipótesis sino que derivan de teorías y de resultados del experimento, aunque no necesariamente cuentan con una confirmación final, lo cual deberá esperar mayor elaboración en sus fundamentos físicos y afinamientos experimentales o, seguro, algún gran descubrimiento.

La teoría de la gran explosión de Leimatre, Gamow y Friedmann abrió el campo para una nueva cosmología llevando a una serie de teorías y resultados experimentales. La, hasta entonces exitosa, teoría de Bondi, Gold y Hoyle de un universo estacionario en el cual se crea el vacío cuántico para que las partículas aseguren la expansión de universo, dejó de ser una teoría alternativa. Hubble solo requirió de 24

8 Weinberg S. (1980). “Los tres primeros minutos del universo”. Alianza Editorial. España.

Nota: este libro tuvo un gran éxito porque en él se le dio forma de manera divulgativa a lo que hoy se conoce como la teoría standard de la evolución del universo y de las partículas. Es decir describe, en forma sintética y simple, el estado del arte de la física fundamental en ese año. Weinberg es premio Nobel de Física por el descubrimiento, junto con el pakistaní Abdus Salam, de la teoría que unificó el electromagnetismo con las fuerzas responsables por la radioactividad a las que se denomina en conjunto interacciones electrodébiles.

galaxias distantes para establecer su ley siendo la constante de Hubble un parámetro establecido por múltiples técnicas observacionales sin que exista un consenso sobre un valor dominante.

Es un hecho histórico conocido que cuando el ingeniero ruso Friedmann le mostró sus cálculos basados en la propia teoría de gravitación de este y en la que encontró por primera vez que el universo se expandía, la respuesta fue negativa (varios años después cambiaría de opinión). También mostró que una alternativa era que el universo luego de expandirse hasta alcanzar una cierta densidad de materia podía o bien seguir expandiéndose o bien colapsar. Los desarrollos experimentales actuales muestran que es la primera variante la que describe la situación actual del universo, según la teoría de la gran explosión.

Nos tomaremos algunas líneas para ver un poco lo que significa este abrupto crecimiento del Universo, llamado inflación cosmológica y algunas de las variables que intervienen, expresadas, por supuesto en forma simple y aritmética. Como lo dice el propio autor (Guth A., 1997⁸) empleando una cierta imagen: *“la inflación es un fuego que nace salvaje y que inevitablemente se expande por el bosque tan extensamente como la oportunidad que existe que comience”*. Claro, tanto más fácil sea la chispa que enciende las praderas cuanto más intenso y amplio será el fuego. Siempre salta a relucir Lucrecio (Cirkovich M., 2003⁹) quien, siguiendo a su maestro pre-socrático Epicuro, escribió la conocida frase: *“nada puede ser creado de la nada”*. Epicuro en realidad lo que hace es enunciar que no se necesita recurrir ni a los dioses ni a lo no material para explicar la existencia. *“Solo existen átomos y vacío”*, agrega.

9 Cirkovich Milan M.(2003) “Ancient origin of modern anthropic cosmological argument” *Astronomical and Astrophysical Transaction*. Vol. 2. No 6. págs. 879-886.

Nota: Epicuro de Samos fue un crítico de la filosofía de Aristóteles y Platón favoreciendo la esfericidad de la tierra. El poeta Lucrecio, ya en los tiempos romanos, refleja sus ideas en su libro *De Rerum Natura*. Textualmente escribe “el sol es nuevo y de reciente data es la naturaleza de nuestro universo” o sea casi como la formulación moderna del argumento antrópico en vez de un pasado temporalmente infinito. Lo breve de la historia humana es extraña frente al hecho de una existencia eterna del mundo. Aunque ingenua y sin información, Lucrecio asumió, usando la reducción a lo absurdo, que el universo es finito y relativamente de corta edad.

Por eso es bueno que veamos un poco la noción de vacío o *vacuum* que tiene una enorme importancia para las leyes fundamentales de la física. La ilustración anónima a la izquierda data de la edad media y muestra al astrónomo observando el mundo desde fuera de él. La superficie esférica sostiene todas las estrellas que permanecen fijas según Aristóteles.



En realidad hablar de densidad de algo no es nada desconocido. Por ejemplo, densidad de población o densidad de materia, una es gente por unidad de área de terreno y la otra es masa por unidad de volumen, vemos la relación. Y que sería una cosa como la densidad de vacío? Pues, como sucintamente, es energía negativa por unidad de volumen.

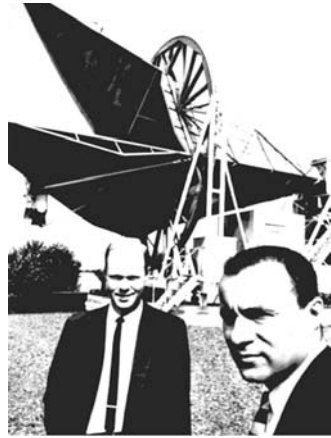
Lo que popularmente se llama teoría del big bang fue antecedido por la inflación cósmica. Pero nadie pudo explicar qué fue lo que explotó. Si fue como tal y ¿por qué era tan homogéneo, tan diferente a un estallido? Esta teoría postula, sin explicación, que una bola de fuego llenaba todo el espacio desde el principio y que la temperatura era igual en todas partes, un inicio con un mismo horizonte. Se pudo demostrar que a pesar de que el universo primigenio debió iniciarse con una explosión, ésta resultó mucho más homogénea a grandes escalas (imagine un fuego artificial cercano al centro y luego Ud. ve cómo, a grandes distancias de él, el destello se vuelve homogéneo). Ésta tuvo una acogida extraordinaria científicamente hablando y algunas fases de sus consecuencias son brevemente descritas aquí.

Hay dificultades para explicar cómo se inició la gran explosión. El big bang fue mucho más homogéneo, a grandes escalas, que el resultado de una explosión¹⁰, que aquí se ven en una **foto** de los Bell's Laboratories) resultó un vestigio de lo que sucedió en los tres primeros minutos desde el nacimiento del universo, resulta

10 Penzias A., Wilson R, 1965. Cosmic Background Radiation. *Astrophysical Journal* 142, pág. 419

sorprendentemente homogéneo hoy en día y tiene la misma temperatura en todas las direcciones por donde Ud. lo mire con un radio-telescopio, con una precisión de una parte en 100,000.

Veamos cómo aplicar lo que se llama **densidad crítica d_c** , la cual se deduce de la teoría de Einstein y veámosla cuando la gravedad era lo suficiente fuerte para poder revertir la expansión pudiendo, por ejemplo, provocar la gran contracción.



La ciencia nos dice que si la **densidad de masa d_m** es menor que la densidad crítica $d_m < d_c$, definida por la propia estructura del universo, el universo se expande. Se estila introducir un parámetro cómodo escrito con la letra griega omega Ω . Es un parámetro muy difícil de medir. Pero la experimentación ha avanzado y su valor actual se ha establecido entre 0.1 y 2. Verdaderamente nuestro universo debe ser inestable, oscilando abajo y arriba de uno. Arriba de uno el universo crece rápido al infinito y abajo de uno decrece hasta llegar a cero. Así pues para que se mantuviera firmemente estable, omega debería mantenerse con un valor archipequeño. Este reciente descubrimiento trae a la luz nuevamente el problema de la existencia de una fuerza disgregadora o repulsiva actuando al contrario de la fuerza de atracción gravitatoria de los cuerpos.

El mecanismo que produce una explosión correcta se propone (Guth A.1997)¹¹ que sea la inflación cósmica. Ella es posible físicamente por la existencia de estados de la materia que tienen una alta densidad de energía y que no pueden disminuir rápidamente. Los físicos, en esa extraña manía de ponerle nombre a todo, le denominan estado de “falso vacío” y por “vacío” se designa el estado de energía más bajo posible y por “falso” se desea expresar que es temporal la situación de este estado. Observe que hay montañas rusas que cuando Ud. está arriba descendiendo en el carro, se entra luego en una zona

11 Guth A.1997 ibid

donde se cae muy lentamente por un cierto tiempo (similar al falso vacío). Luego su gravedad lo hace caer en una parte de la rampa muy inclinada, casi vertical, y se mueve rápidamente hacia el punto más bajo (que sería similar al verdadero vacío que postula la teoría). La presión negativa (como la que se observa en la succión de un volumen) del vacío falso crea un campo gravitatorio que compensa a la fuerza de la inflación. El astrónomo medieval podría decir que los entes fuera del mundo lo atraen hacia fuera compensando la atracción de los entes dentro de la esfera aristotélica de las estrellas.

Anotemos el hecho observacional actual que la radiación milimétrica de fondo ha sido observada con mucho mayor detalle por el famoso satélite de COBE (Cosmic Background Explorer) lanzado en 1989 como colaboración internacional.

En la **foto** de la NASA se observa la etapa de la construcción de este aparato. Pero es interesante que el mismo satélite también observó que esta radiación fluctúa con una amplitud, como las olas, de una parte por 100 000. Durante la inflación la gravedad actuó de tal forma que aceleró la expansión del universo.



No nos preocupemos tanto por la fórmula. Si la inflación comienza por allá por las dimensiones de los 10^{-24} cm, imagine, de un tamaño de cien billones de veces más pequeño que un protón. Durante nuestro falso vacío casi constante, resulta que la energía total crece en un exorbitante factor de 10^{75} , inflando el espacio y el tiempo. Ahora, si le recordamos al lector interesado que la fuerza gravitatoria es negativa, es ella con la cual se compensa entonces semejante crecimiento de la energía de la materia durante la inflación.

Por otro lado miremos las tesis, de cierto gran éxito, de un universo caótico inflacionario (Linde A., 1983¹²) las que predicen la existencia de un número potencialmente ilimitado de “burbujas” no

12 Linde Andrei (1983). “Chaotic Inflation” Physics Letters, vol. 129B No3,4,pág. 177.

Nota: Linde, científico ruso germinó sus teorías en el Instituto Lebediev de Moscú y trabaja actualmente, con su esposa también física, en la Universidad de Stanford, USA.

interactuantes en un gran universo, formadas durante la inflación, denominadas más precisamente multiuniverso. Y resulta notorio que en cada burbuja se puede tener diferentes valores de las constantes físicas fundamentales y evolucionan desde diferentes condiciones iniciales. Así que los ajustes finos requieren de diferentes precisiones según la burbuja. Estas ideas han tenido una resonancia positiva. Este es un escenario natural en las tempranísimas etapas de la evolución que sugiere que una inflación múltiple es una inevitable consecuencia de las condiciones caóticas iniciales en el universo temprano.

En realidad, el vacío propiamente dicho está lleno de fluctuaciones cuánticas, o sea, con ondulaciones de energía no nulas que tienen todas las frecuencias y direcciones posibles. Nosotros no las detectamos porque son cortas y microscópicas. Además, parece que hay distintas formas de interpretar el uso de cantidades con denominaciones expresivas como el denominado **inflatón** (regiones diferentes tienen tamaños y tasas de expansión distintas, dependiendo del valor inicial del inflatón, ver figura a la izquierda) o el **instantón** (es una partícula inicial en el fondo de la figura a la derecha, del tamaño de un grano que se asume se torna por sí mismo automáticamente en un universo inflacionario).

Su enorme y sorprendente simplicidad, en ciertas construcciones (Linde A.,1988)¹³, es que no necesita de las complicaciones de una gravitación con sus características cuánticas y otras complejidades que se consideran en los tiempos pre-plankianos. Además, resuelve los problemas críticos que hay previos al comienzo de la expansión o inflación.

Por ejemplo, una pregunta que se le puede hacer a esta versión es ¿qué sucede con la formación de las galaxias?, las que necesitan de

13 Linde Andrei (1988). "Life after inflation" Physics Letters B.Vol.211 No.1,2. pág. 29.

Nota: el tema de las teorías de la inflación tiene un detalle que se conoce poco debido a la guerra fría. Occidente no le prestó atención a la gran discusión que se daba en los medios académicos en la Unión Soviética sobre el planteamiento efectuado, en 1979, por Alexei Starobinski quien presentó la primera versión realista, pero muy complicada, de la teoría inflacionaria basada en anomalías cuánticas de la gravedad y causó mucha discusión por dos años. En 1981, Alan Guth presentó su modelo inflacionario concebido como una serie de transiciones de fase. En 1982, Andrei Linde introdujo la inflación caótica debido a que los campos escalares pueden tomar valores arbitrarios, pero que no requiere gravedad cuántica. Eliminar las homogeneidades no impide, en este modelo, la formación de las galaxias porque, al quitarlas, la inflación crea otras inhomogeneidades.

inhomogeneidades ya que la inflación tiende más bien a desplegarlas, a aplanar al universo. Resulta que la variedad de campos escalares crece en todas las formas y sobre los universos formados, a su vez se manifiesta, en cada uno, varios tipos crecimientos o disminuciones (como la superficie de un mar enrarecido). A partir de fluctuaciones, que se van amplificando unas y otras disminuyendo, el proceso continua dando siempre la posibilidad de formación de las galaxias. Esta versión de multiuniverso es una de las más aceptadas en el campo de la ciencia.

Partamos del hecho obvio que el universo debe tener hoy una densidad muy pequeña que varía con el tiempo por el proceso de expansión. Habría que presumir que el lugar donde vivimos estará probablemente involucrado en un inmenso y exponencial hoyo negro que contiene dominios inflacionarios o burbujas (Linde A., 1988)¹⁴. A nivel de la densidad, en los tiempos de Planck, allá justo al inicio, el espacio tiempo corriente no existe, afirma esta propuesta, debido nada menos que a la gran fluctuación de la métrica, noción relacionada a la teoría de gravitación de Einstein que define la forma del espacio-tiempo. Sostiene esta teoría que en el universo inflacionario, la vida puede existir eternamente. Aunque supongamos que la vida aparece una y otra vez en diferentes dominios, podríamos esperar que la vida exista sin fin en nuestra parte del universo o que al menos podamos enviar alguna información a aquellos que viven en otros dominios.

Todos los universos pertenecientes a este meta-universo tienen generalmente valores diferentes. Una vez nucleado el universo, se entra en nuestro conocido estado inflacionario. Nosotros seríamos una de la extensa cantidad de civilizaciones. Además, constatamos que no somos una civilización muy especial de entre estos universos, con un apreciable valor de la constante cosmológica que empuja hacia la rápida expansión de nuestro horizonte por lo que mejor es pensar que somos una civilización promedio. A este enfoque se le denomina Principio de Mediocridad (Vilenkin A.,1999)¹⁵. Esta teoría también llama la atención sobre la producción de elementos pesados los cuales, como se vio, son dispersados por las grandes explosiones de

14 Linde Andrei (1988) ibid

15 Vilenkin Alexander (1999)

las supernovas. Nos interesa realmente que se vea la importancia del vacío en estas construcciones dada su realidad física y los resultados que ha dado en otras ramas de la física.

Cada una de las burbujas sería habitada por un extenso número de civilizaciones. Si algunas tienen una omega pequeña no se formarían galaxias, así que la probabilidad de medir estas omegas sería cero ya que no habría nadie para observarlas. Ahora, la idea del ajuste fino podría cambiarse a una versión más cuantitativa (Weinberg S. 1987)¹⁶ que resulta del cálculo de probabilidades como, por ejemplo, la probabilidad de encontrar un omega Ω en un cierto pequeñísimo rango de valores que sea proporcional al número de civilizaciones que pueden medir el valor de omega en este estrecho intervalo. Sumamente razonable para limitar lo que parece obvio, esto es, la estrecha posibilidad de existencia de una civilización. De modo que si pertenecemos a una de las civilizaciones típicas podemos esperar estar en el reducido paquete cerca del valor máximo de omega. Esto justifica la validez del Principio de Copérnico que afirma que nuestra posición en el espacio no es especial. Todo viso de antropomorfismo, que hace una treintena de años se mencionaba, queda simplemente sepultado.

4. Un pequeño viaje

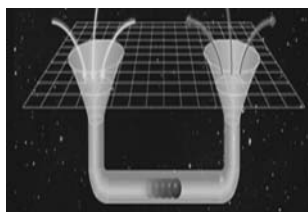
Por último, hagamos un rápido viaje como el realizado por M. Circovich y N. Bostrom¹⁷. Ellos analizan la posibilidad de que el mundo observado sea apenas uno de los múltiples universos que pueden existir, como vimos, y cuya existencia es la única oportunidad de sobrevivencia indefinida de vida inteligente. Para ello cabe un cuestionamiento, si los progresos recientes en cosmología pueden verdaderamente sustentar la conjetura de que existen particularidades donde se pueden resolver los procesos de información dentro de nuestro dominio o burbuja, que sean finitos y a nuestro alcance.

16 Weinberg S. (1987). "Anthropic bound on the cosmological constant" Phys. Rev. Lett. 59, 2609.

17 Bostrom N., Circovich M.M. (2000). "Cosmological Constant and the Final Anthropic Hypothesis" Astrophysics Space Science. Vol. 274, págs.675-687. arXiv:gr-qc/9906042v1.

La cosmología moderna les permite establecer las tres grandes etapas en la evolución de un dominio cosmológico de la que hemos hecho ya mención.

El **gráfico** muestra el esquema de un agujero blanco donde todos los objetos de un universo entran por un agujero negro y salen a otro universo a través de un puente llamado de Eintein-Rosen.



Parten al inicio de la cosmología inflacionaria. Luego le sigue el proceso de expansión observado actualmente que sigue la ley de Hubble en el que la velocidad de alejamiento de las nebulosas es proporcional a la distancia a ellas. Pero lo más reciente de fines de los noventa (Perlmutter S., 1998)¹⁸ es la mencionada aceleración en la expansión del universo a grandes distancias. Remarcamos, el gran descubrimiento de las estrellas supernovas del tipo I muestra que la constante cosmológica tiene un valor inesperado diferente a cero, aunque cercano a la unidad. Y esto cambia toda la situación. El cálculo aduce a una tercera etapa de crecimiento acelerado (también de tipo exponencial), época hacia la cual se calcula que nos acercamos

Cada dominio no tiene más remedio que cesar el posterior procesamiento de información en el universo inflacionario futuro. Esto significa que solo hay un tiempo disponible en su universo antes de que se establezca esta fase de crecimiento exponencial que debe ser suficiente para que la evolución de la vida inteligente y el avance tecnológico permita el desarrollo y aplicación de una “transportación”

18 Perlmutter S. et al. (1999) “Measurements of relative density and cosmological constants from 42 high redshift supernovae” The astrophysical Journal, vol 517, pags. 565-586. June.

Nota: la supernovae más vieja o sea la más lejana SN1998eq o Albinoni (compositor barroco), según sus descubridores, explotó hace cerca de 10 billones de años a una distancia que se estima en 18 billones de años luz y fue descubierta el 15 de octubre de 1998, en Hawái, por el astrofísico Saul Perlmutter con un grupo de 31 científicos. Es una supernova de gran brillo y luminosidad del llamado tipo Ia, las que aparecen una vez cada mil años en una galaxia típica. Se observó un grupo de 42 estrellas supernovas tipo Ia de las más rápidas y se combinaron estadísticamente con 18 supernovas del tipo Ia más lentas realizadas por otros grupos. Examinando un conjunto de estas estrellas concluyeron que el horizonte del universo es 2.2 más grande que lo establecido. Pero lo más importante es que descubrieron que el universo está acelerando de modo que debe existir un proceso de auto repulsión que lleva a pensar que la constante cosmológica no es cero como normalmente se asumía. La constante cosmológica resultó que no es cero, el gran descubrimiento!, con una confianza de 99% para sus valores absolutamente mayor que cero. Algunos expertos consideran este descubrimiento como el mas grande de fines de siglo.

inter-universo a través de los hoyos blancos (u otra forma). Los denominados hoyos blancos, es a través de ellos que se haría el viaje hacia otro universo que no esté en fase de culminar con la existencia inteligente. No solamente son los que se interesan por las estaciones espaciales multinacionales, sino amplios sectores, que se preguntan hacia dónde nos iremos después de las consecuencias del cambio climático en la tierra.

Biografía

Doctor en Ciencias Físicas de la Universidad de París.

Profesor titular de la Universidad de Panamá.

Miembro de la Sociedad Panameña de Astronomía y Astrofísica.

Las explosiones más poderosas del Universo y la astronomía en rayos gamma

Por: **José Ignacio Cabrera Martínez**

Profesor de la Facultad de Ciencias de la UNAM

DURANTE la mayor parte de su historia, la astronomía se ha dedicado al estudio del cielo mediante la luz que nos llega de los diferentes objetos. Se trata de lo que los astrónomos llaman el *óptico*: la luz visible. La luz en general (y en particular la luz visible para el ser humano) se puede entender como un fenómeno ondulatorio, al igual que las ondas del sonido, o las ondas que se generan en un estanque de agua cuando se deja caer un objeto en él, o las ondas que viajan a lo largo de la cuerda de una guitarra.

Todas las ondas de comportamiento armónico (como aquellas que hay en la luz o en la cuerda de una guitarra) tienen dos características bien definidas: una frecuencia y un tamaño o longitud. La longitud es la distancia entre dos crestas (los puntos más altos de las ondas) o dos valles (sus puntos más bajos, como se puede ver en la figura 1). Además, al multiplicarse la frecuencia por la longitud de onda, se obtiene la velocidad a la que viaja la onda.

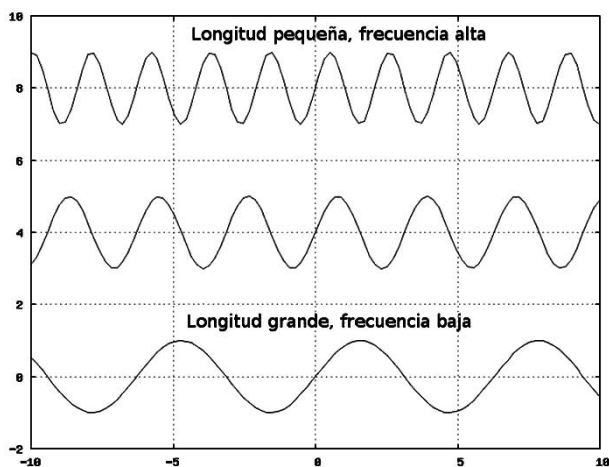


Fig. 1. Ejemplos de ondas con diferentes longitudes y frecuencias.

En el caso de la luz esto es particularmente interesante, ya que la luz viaja a una velocidad constante de 300000 km/s en el vacío. Para que dicha velocidad se mantenga constante, cuando la frecuencia es pequeña, la longitud de onda deberá ser grande, y viceversa. Entonces, para el caso de la luz, si una onda tiene una longitud grande, necesariamente debe de tener una frecuencia baja, o si la frecuencia es alta, entonces la longitud de la onda debe de ser pequeña.

Considerando lo anterior, se puede clasificar a las ondas de luz en grandes grupos, con base en su longitud o frecuencia. Así, el conjunto de todas las ondas de luz (también llamado espectro electromagnético) se puede dividir en ondas de radio, con un tamaño que va de kilómetros a metros; microondas, las cuales tienen tamaños de centímetros a milímetros; luz infrarroja (lejano y cercano) que tiene tamaños que van de décimas de milímetro a milésimas de milímetro; la luz visible, que en promedio tiene un tamaño de aproximadamente medio milésimo de milímetro; luz ultravioleta, que va de diezmilésimas de milímetro a cienmilésimas de milímetro; los rayos X los cuales van de cienmilésimas de milímetro a milmillonésimos de milímetro; y, finalmente, los rayos gamma, que tienen las longitudes de onda más pequeñas y las frecuencias más altas.

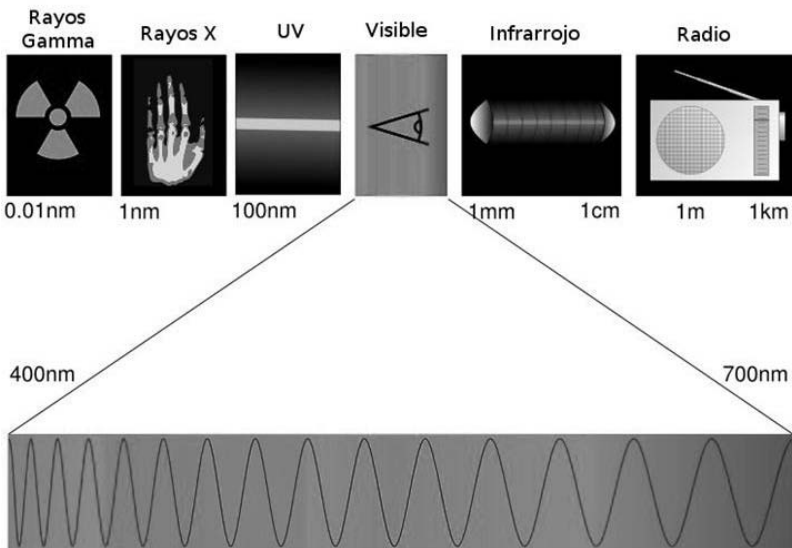


Fig. 2. El espectro electromagnético en el cual se muestran ejemplos de las diferentes ondas características de cada grupo en unidades que van de km a nm. 1nm=0.00000001m.

Como se mencionó antes, en la mayor parte de la historia de la astronomía solo se ha estudiado a la luz visible que nos llega de los objetos. Sin embargo, en los últimos 70 años esto cambió de una manera radical, cuando los astrónomos tuvieron las herramientas necesarias para poder explorar el universo en otras longitudes del espectro electromagnético. En la década de 1930 se construyeron los primeros radiotelescopios, con los cuales se tuvo una visión diferente del universo. En los radiotelescopios no se obtienen fotografías de los objetos estudiados como ocurre con los telescopios tradicionales, sino que se obtiene la información en forma de números que luego se interpretan mediante gráficas. Pero el desarrollo de los telescopios que ven en diferentes longitudes de onda no se detuvo ahí. A finales de la década de 1970 y principios de la de 1980, se desarrolló la tecnología necesaria para construir instrumentos capaces de registrar la información de los rayos X. Estos se diferencian de los telescopios tradicionales y de los radiotelescopios porque deben de estar fuera de la atmósfera, en órbita, ya que la atmósfera no permite que los rayos X lleguen a la superficie terrestre. Con estos nuevos telescopios ha cambiado la visión de numerosos objetos celestes y se han abierto muchas interrogantes en múltiples ámbitos de la astronomía.

La última parte del espectro electromagnético, los rayos gamma, se comenzó a estudiar hace relativamente poco tiempo. La historia de la astronomía en rayos gamma, en sus inicios estuvo motivada por el espionaje y por cuestiones militares. Ello se explica porque este tipo de ondas electromagnéticas solo se genera en eventos muy violentos que liberan grandes cantidades de energía, como las explosiones producidas por las armas nucleares. En la década de 1960, es decir en plena Guerra Fría, tanto la Unión Soviética como los Estados Unidos realizaban pruebas de armamento de destrucción masiva, típicamente bombas de hidrógeno. En esos años se firmaron acuerdos para limitar las pruebas de ese tipo de armas. Los norteamericanos crearon entonces el proyecto militar *VELA*, para saber cuándo los soviéticos probaban algún arma nuclear sobre la superficie del planeta o en la atmósfera. El proyecto básicamente consistía en la puesta en órbita de satélites equipados con instrumentos para la detección de rayos gamma (satélites *VELA*). Estos se colocaron aproximadamente a la mitad de la distancia entre la Tierra y la Luna, es decir, a más o menos 190 mil

kilómetros desde la Tierra. Si se compara esta distancia con aquella a la que se colocan normalmente los satélites de telecomunicaciones, los climatológicos y otros (entre 400 y 600 km de la superficie de la Tierra), se puede observar que los satélites *VELA* estaban ubicados en una órbita relativamente lejana. Al encontrarse tan lejos de la superficie, se aseguraba que cada satélite podía monitorear de manera confiable un hemisferio del planeta. Así, con los dos satélites sería posible mantener bien vigilada toda la superficie del planeta.

Los satélites *VELA* estaban equipados con instrumentos (como por ejemplo detectores para radiación) que normalmente se utilizan en los llamados laboratorios de “física de altas energías”. Ese tipo de instrumentos tuvo un rápido desarrollo en los años de la Segunda Guerra Mundial y durante la Guerra Fría, debido a su importancia para el desarrollo de armas nucleares. Dicho vínculo se mantiene aún hoy: los instrumentos y las técnicas para experimentos de altas energías siguen estando muy ligados con el desarrollo de estas temibles armas. Por tal razón los detectores de rayos gamma tuvieron un fuerte crecimiento.

Los satélites *VELA* estuvieron varios años en operación, registrando la información proveniente de nuestro planeta. Sin embargo, a mediados de la década de 1960, comenzaron a recibir pulsos de rayos gamma provenientes del espacio. Durante varios años, estos datos se mantuvieron como información clasificada, pues era secreto militar. Los datos se guardaban en el laboratorio de Los Alamos en Nuevo México (en el mismo laboratorio donde se construyó la bomba atómica). Fue tan sólo en 1973, cuando se hizo pública la información de estos pulsos de rayos gamma, en un artículo de Ray W. Klebesadel *et al.* publicado en la prestigiosa revista *The Astrophysical Journal*. Los eventos registrados tenían una duración de tan sólo unos segundos. A pesar de todo, esta fortuita medición de rayos gamma provenientes del espacio exterior marcó el inicio de la astronomía en rayos gamma. A partir de entonces, a estos pulsos de rayos gamma se les llamó en inglés *Gamma Ray Burst*, término que puede traducirse al español como *Estallidos de Rayos Gamma*.

Una pregunta que se plantearon los científicos al medir ese primer flujo registrado de rayos gamma fue de dónde provenían tales emisiones.

Se sabía que no era de la Tierra, pues no era posible que la radiación originada en un lado del planeta hubiese quedado registrada por ambos satélites, ya que cada uno vigilaba un hemisferio distinto. Otra opción era que los rayos gamma provinieran del Sol. Esta posibilidad también se descartó, pues se encontraron varias objeciones. Si un satélite se hallaba a la sombra de la Tierra, era difícil que la emisión de rayos gamma pudiera atravesar el planeta e iluminar al satélite. Tampoco era probable que la luz del Sol siguiese un camino extraño para llegar al satélite, como podría ser reflejándose en la Luna: es muy difícil que los rayos gamma puedan ser reflejados. Por estas y otras razones se concluyó que los rayos gamma provenían del espacio exterior.

Si estas emisiones de radiación vienen del exterior una pregunta inmediata ¿dónde se producen? Pues como se menciono antes, la radiación gamma solo se genera en eventos muy violentos y energéticos, como por ejemplo en una explosión nuclear. Por tanto es interesante averiguar qué tipo de evento astronómico es capaz de producir estos Estallidos de Rayos Gamma.

Después del descubrimiento de los primeros estallidos, se fueron detectando más y más. Muchos astrónomos y físicos comenzaron entonces a estudiar de manera muy activa las características de esos eventos. Para ello fue necesario construir “telescopios de rayos gamma” que pudieran arrojar más información. Al igual que los telescopios de rayos X, los telescopios de rayos gamma tienen que estar fuera de la atmósfera, pues al interactuar con las partículas que hay en ella, van perdiendo energía e información. En la década de 1980, los científicos soviéticos pusieron en órbita el instrumento *Konus*, equipado con los detectores adecuados para registrar rayos gamma y obtener información de ellos. Por otra parte, tanto físicos como astrónomos comenzaron a proponer posibles explicaciones para los Estallidos de Rayos Gamma. Así, los modelos para explicar su origen fueron creciendo y madurando.

En la década de 1990, se puso en órbita el satélite *Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)* equipado con varios instrumentos para el estudio no solo de los Estallidos de Rayos Gamma, sino de todo tipo de radiación gamma que pudiese llegar. Este satélite estuvo en el espacio por 10 años, y recopiló una gran cantidad de información.

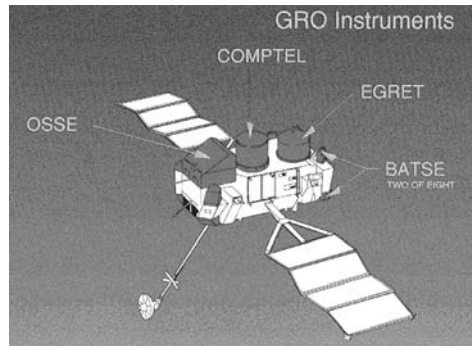


Fig. 3. El Compton Gamma Ray Observatory y sus principales instrumentos para detectar rayos gamma: EGRET, BATSE, COMPTTEL y OSSE.

El CGRO hizo importantes descubrimientos para la astronomía. En primer lugar, mostró que los Estallidos de Rayos Gamma eran mucho más frecuentes de lo que se pensaba. Ahora se sabe que ocurre aproximadamente uno por día. En segundo lugar, se descubrió que existen dos tipos de estallidos: los llamados estallidos largos, cuya duración es mayor a dos segundos, y los estallidos cortos, que tienen una duración menor a dos segundos. La existencia de estos dos grupos indica la existencia de dos procesos diferentes para producir un estallido. Además, se descubrieron en nuestra galaxia fuentes de rayos gamma de muy alta energía. Hasta hoy se desconoce qué procesos ocurren en esas regiones para producir rayos gamma de muy alta energía (de longitudes de onda inimaginablemente pequeñas).

Las observaciones del *Compton Gamma Ray Observatory* ayudaron a entender muchos aspectos de los Estallidos de Rayos Gamma, lo cual sirvió para descartar numerosas hipótesis sobre los procesos que los generan. Sin embargo, muchas de las grandes dudas seguían en pie. Se mantenía vigente, por ejemplo, una de las preguntas clásicas de la astronomía: ¿A qué distancia de nosotros se localizan estos eventos? Esta pregunta generó un gran debate entre la comunidad científica. Una corriente aseguraba que los procesos que generan estos estallidos ocurrían en nuestra galaxia, mientras que otra tendencia aseguraba que dichos procesos no podían ser “locales” (término usado en este caso para referirse a los eventos que ocurren en la Vía Láctea).

Un argumento muy fuerte para afirmar que los Estallidos de Rayos Gamma eran externos a nuestra galaxia fue el mapa del cielo con la ubicación de estos objetos hecho por el CGRO. En dicho mapa se ve que los estallidos ocurren en todas partes del cielo. Si fuesen eventos

internos de la Vía Láctea, entonces ocurrirían con mayor frecuencia en la parte principal de la galaxia, donde hay más estrellas y objetos. En el mapa, esta parte correspondería al eje horizontal en centro de la elipse (ver figura 4). Sin embargo, como se observa en la misma figura, los estallidos se registran en todas las regiones del mapa.

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts

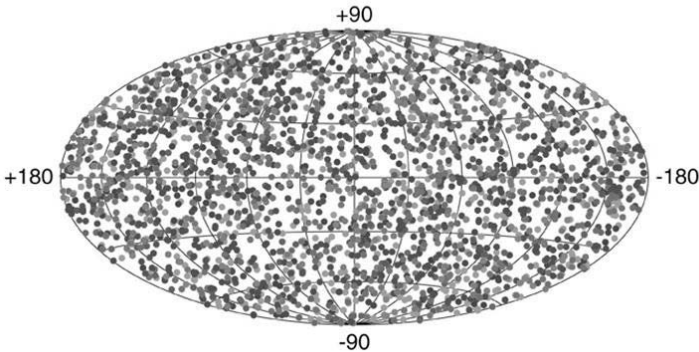


Fig. 7: Mapa del cielo (tal y como se vería desde el centro de la galaxia) realizado por el instrumento BATSE a bordo del CGRO después de 10 años de operaciones. En él se registraron 2704 Estallidos de Rayos Gamma. Cada punto corresponde a la ubicación de un estallido. Como se puede apreciar, estos eventos ocurren en todas partes del cielo y nos llegan de todas direcciones. No están limitados únicamente a la parte principal de la Vía Láctea, que en la imagen corresponde al eje horizontal que va de +180 a -180.

La controversia sobre la ubicación y la distancia a la que se encuentran los estallidos no era fácil de resolver, ya que dichos eventos tienen una duración muy corta (de apenas unos segundos), por lo cual la información que se obtiene de ellos es muy limitada. En este sentido, los Estallidos de Rayos Gamma no son como las estrellas o las galaxias, que para fines prácticos están a disposición de los astrónomos siempre que deseen apuntar hacia ellos sus telescopios. Para el caso de los estallidos, después de unos instantes la fuente de luz se apaga, y por esta razón no es posible utilizar muchas de las herramientas tradicionales de la astronomía para determinar la distancia. Los telescopios de rayos gamma describen la posición del evento de una forma muy imprecisa (*i.e.* tienen baja resolución). Resultaría entonces de gran utilidad combinar su uso con el de otros telescopios que apunten hacia el mismo estallido para poder recabar la mayor cantidad posible de información.

El problema consiste en que la primera información que llega a los satélites es en rayos gamma. La baja resolución de los instrumentos para estos rayos no permite determinar bien la posición del evento en el cielo, lo cual hace complicado poder apuntar otros telescopios hacia una dirección precisa. Para poder entonces dirigir los otros telescopios, es necesario que lleguen otros tipos de luz, además de los rayos gamma. Ya se sabía que, en ocasiones, después del pulso de rayos gamma puede llegar luz en bandas menos energéticas (con una longitud de onda mayor). A esta luz se le suele llamar en inglés *afterglow*, que en español se puede entender como el brillo remanente o retardado. Esto no siempre se observa, pero es sumamente importante.

La controversia sobre la ubicación y la distancia fue resuelta en 1997, cuando se realizó de manera fortuita una observación simultánea de un evento conocido como GRB970228¹. Este estallido fue observado tanto por el *CGRO* como por un telescopio de rayos X llamado *Beppo-Sax*. La información obtenida en rayos X permitió determinar la distancia a la que ocurrió, que lo ubicó fuera de nuestra galaxia.

Dicho todo lo anterior, cabe una pregunta: ¿Para qué sirve conocer la distancia a la que ocurre un estallido? Cuando se determina la distancia es posible conocer la energía que dicho evento emitió. Haciendo este ejercicio, se obtuvieron resultados muy sorprendentes. Con la energía que midió el satélite para algunos eventos cuya distancia se pudo determinar de la misma manera que para GRB970228, se obtenía una cantidad de energía emitida en forma de luz ¡¡¡mil veces mayor a la que puede emitir una galaxia en un momento!!! Es decir, se encontró que un estallido de rayos gamma es ¡¡¡mil veces más brillante que una supernova!!! Por tanto, estos Estallidos de Rayos Gamma son los eventos astronómicos más luminosos que se conocen hasta la fecha.

La pregunta que surge entonces es ¿qué son o qué producen los Estallidos de Rayos Gamma, tanto largos como cortos? La respuesta,

1 La clasificación corresponde a un código que se utiliza para todos estos eventos. GRB significa *gamma ray burst*; los dos primeros números (97) se refieren al año en que ocurrió el estallido; los dos números que les siguen (02) indican el mes y los últimos (28) señalan el día. Si en un día se registra más de un evento, entonces se le asigna una letra: el primer evento llevará añadida una letra A, el siguiente la B, y así sucesivamente.

con lo que sabemos hasta hoy, es en verdad sorprendente. Primero veamos el caso de los estallidos largos.

Los astrónomos nos han explicado que cuando una estrella con una masa ocho veces mayor (o más) que la de nuestro Sol llega a la fase final de su vida² termina en una gran explosión, que por unos instantes puede ser tan brillante como una galaxia. A estas explosiones se les llama supernovas, y la luz producida por ellas puede verse por días o semanas. Después de la explosión, en el núcleo de estas grandes estrellas, si este tiene la masa suficiente, queda un objeto llamado “compacto” (bautizado así por su altísima densidad de masa). El “compacto” puede ser una estrella de neutrones (objeto cuya gravedad es tan fuerte que los núcleos atómicos colapsan con los electrones y solo queda un material constituido únicamente por neutrones), o puede ser un agujero negro (un objeto aun más denso que la estrella de neutrones donde no se sabe qué le pasa a la materia y además la gravedad es tan intensa que ni la luz puede escapar de este objeto).

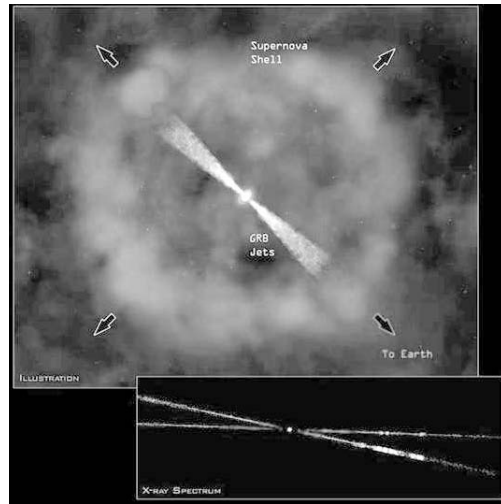
Cuando una estrella tiene una masa 25 veces mayor a la de nuestro Sol (o mayor que eso), esta estrella terminaría su vida en forma de una supernova pero, como su masa es tan grande, en su núcleo se formará un agujero negro. Sin embargo, la gravedad será tan intensa en esta región que no todo el material que conforma a la estrella saldrá expulsado en la explosión. Parte de ese material caerá de nuevo al centro de lo que era la estrella en el momento en que se esté formando el agujero negro, lo que producirá una enorme liberación de energía, igual o mayor a la que emitiría normalmente una supernova. El material que caiga de nuevo al centro no lo hará directamente, sino dando vueltas al centro de gravedad del sistema.

Se formará así un disco en los instantes que nace el agujero negro. Este disco evita que la energía salga en todas direcciones, y de hecho solo permite que salga en dos haces similares al haz de una linterna. Entonces toda la energía de este proceso queda confinada a estos dos haces. Esa energía y los restos del material saldrán de la región donde

2 En realidad, la vida de una estrella pequeña como el sol es de aproximadamente diez mil millones de años, mientras que una estrella con la masa equivalente a ocho soles como el nuestro vive menos de cien millones de años. Es decir, entre más masa tenga una estrella, más corta será su vida.

se forma el hoyo negro a velocidades muy cercanas a la de la luz en el vacío. Su velocidad será tan alta que alcanzarán rápidamente al resto del material que salió eyectado en la explosión. Al momento de alcanzarlo, ambos chocan de una manera muy violenta, tan violenta que es en este punto donde se generan los rayos gamma y rayos X de alta energía. A medida que avanza, el haz va perdiendo energía y así cada vez genera luz de mayores longitudes de onda, hasta que pierde toda su fuerza (ver figura 4). La región donde se forma el

Fig. 4: Representación artística de un Estallido de Rayos Gamma Largo. En el centro de la imagen se observa el disco que se forma con el material que no alcanza a salir, y cómo dos chorros salen de la región central. En los extremos se ve cómo los chorros alcanzan al material que salió en la primera fase de la explosión generando un choque en el cual se generan los rayos gamma y rayos X, En el panel de abajo se muestra la emisión en rayos X.



agujero negro tiene un tamaño de apenas unas decenas de kilómetros, mientras que la región de choque entre el material eyectado por la formación del agujero negro y el material que salió en la primera fase de la explosión tiene un tamaño comparable al sistema solar. Dentro de todo este proceso, la generación de rayos gamma solo durará unos segundos. Aunque este modelo teórico tiene algunas inconsistencias, nos permite entender *grosso modo* parte de lo que ocurre en los estallidos largos.

En el caso de los estallidos cortos, no hay una estrella masiva. Se cree que lo que ocurre es la fusión de dos objetos compactos. Se sabe que existen objetos binarios, tales como parejas de estrellas. Incluso se ha observado la existencia de parejas de estrellas de neutrones orbitando una alrededor de la otra. Por ello, no es descabellada la idea de que dos objetos compactos se fusionen. En este caso se tienen dos objetos compactos (una pareja de estrellas de neutrones o de agujeros negros

o incluso una pareja de estrellas de neutrones y agujero negro) girando uno alrededor de otro. Por la fuerza de gravedad y otros procesos se van acercando uno a otro poco a poco, hasta que llega el momento en que ambos objetos chocan. Entonces ocurre un proceso muy parecido al que se describió para la muerte de una estrella masiva: primero, los dos objetos se desgajan mutuamente por fuerzas de marea; después se forma un solo objeto compacto, que da nacimiento a un agujero negro. Se forma asimismo un disco de material alrededor de esta región y este material cae de nuevo al agujero negro que se está formando. Al caer, libera enormes cantidades de energía que salen en dos haces. En el caso de los estallidos cortos es mucho más difícil determinar su distancia, debido a su muy corta duración. De hecho, apenas en julio del 2005, se logró determinar la distancia para uno de estos estallidos. Al igual que en el caso de los estallidos largos, el modelo de los estallidos cortos aún tiene muchas inconsistencias, pero nos da una primera idea de lo que puede ocurrir para producir estos eventos.

En la actualidad, existen varios satélites dedicados a observar los Estallidos de Rayos Gamma, a fin de tener más información sobre ellos y poderlos utilizar para conocer nuestro universo a grandes distancias, pues la luz que nos llega de estos eventos nos puede ayudar a entender las regiones donde se formaron, las regiones por donde atravesaron los rayos de luz entre el estallido y nosotros. Por esta razón, los Estallidos son una herramienta increíble para el estudio del universo a distancias increíblemente grandes. Hace unos cuantos meses, en marzo de este año, un estallido (GRB080319B) fue tan potente, que la luz de menos energía que llegó a la Tierra podía observarse como una estrella débil a ¡¡simple vista!! sin necesidad de un telescopio ni de otro instrumento más que los ojos. Sin embargo, el evento ocurrió a una distancia tan grande que a la luz le tomó viajar desde esa región hasta nosotros más de la mitad de la edad del universo, lo que convierte a este evento en el objeto astronómico más lejano jamás observado a simple vista. Por esto, si fuese poco, el estallido más lejano que se conoce (GRB050904) fue tan lejano que los rayos gamma de este evento tardaron en recorrer la distancia entre nosotros y el objeto casi el ¡¡¡90 por ciento de la edad del universo!!! la cual se estima en unos 13400 millones de años.

Por todo ello, se dice que, después del nacimiento del universo, estos eventos hasta son ahora (sin duda alguna) las explosiones más poderosas en el universo. Aún quedan muchas incógnitas y dudas sobre los Estallidos de Rayos Gamma. En los años por venir, y con telescopios con nuevas tecnologías que sin duda aparecerán en un futuro, se tratará de responder a esas cuestiones. Además, muy probablemente, surgirán nuevas sorpresas y nuevas dudas, pues la astronomía en rayos gamma apenas comienza y con seguridad nos enseñará muchas cosas sobre este universo.

Referencias

- Kaneko, Y., Preece, R. D., Briggs, M. S., Paciesas, W. S., Meegan, C. A., & Band, D. L. 2006, ApJS, 166, 298
- Klebesadel, R. W., Strong, I. B., & Olson, R. A. 1973, ApJL, 182, L85
- Zhang, B. & Mészáros, P. 2004, International Journal of Modern Physics A, 19, 2385

Biografía

- Licenciatura en Física. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maestría en Ciencias. Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Maestría en Ciencias. Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Profesor de asignatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Doctor en Astronomía. Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México con la tesis "*Implicaciones astronómicas y cosmológica de los estallidos de rayos gamma y sus crepúsculos*".
- Algunas publicaciones en revistas especializadas de astronomía y astrofísica sobre GRBs (estallidos de rayos gamma).

¿Qué son los agujeros negros?: Mentiras y verdades

Por: *Kaven Yau Wong*

EN los últimos años muchos hemos escuchado, aunque sea alguna vez, el término agujeros negros u hoyos negros. Generalmente nuestro primer contacto con las palabras agujeros negros es a través de películas futuristas o de ciencia ficción. Se le ha visto en muchas facetas: un monstruo que se traga toda materia que esté lo suficiente cerca de él, una puerta que nos lleva a universos paralelos o a regiones lejanas de nuestro propio universo, un túnel que permite viajar en el tiempo, una fuente poderosa pero peligrosa de energía... las opciones parecen infinitas.

Debido al carácter lúdico de las películas, generalmente no sabemos dónde termina la realidad y dónde comienza la ficción. Muchos de las ideas expuestas en las películas son exageraciones, especulaciones o creaciones ingeniosas de los guionistas, con pocas bases científicas.

No busco ir a ninguno de los extremos: ni darle información tan detallada y precisa que haga falta ser un especialista en la materia para ser entendida, ni simplificar tanto la información que lleve a conclusiones erróneas. Mi principal objetivo en este artículo es darle información precisa, pero sencilla de los agujeros negros. Espero que con la lectura de este artículo, usted se anime a leer más sobre este apasionante tema y, sobre todo, que pase un momento ameno, salpicado de humor y ciencia.

Sin lugar a dudas, un agujero negro es el objeto más oscuro de todo el universo: no podemos “verlo”, no sabemos lo que ocurre adentro, incluso muchos astrofísicos están de acuerdo con que las leyes físicas cambian por completo dentro de un agujero negro.

Sin ánimos de sacrificar demasiada precisión por sencillez, podemos decir que un agujero negro es una región del espacio en el cual el

espacio-tiempo está tan curvado que nada de lo que entra puede salir. Dicha región se denomina agujero negro y su frontera recibe el nombre de horizonte de sucesos.

Deformando el espacio

Clásicamente hablando, todo objeto que tiene masa atrae a otros cuerpos con masa. Esta fuerza se le llama fuerza gravitatoria y fue descubierta por Isaac Newton. Incluso, ahora mismo usted está atrayendo la revista que está leyendo. Pero como nuestra masa es muy pequeña, los efectos de la fuerza gravitatoria son mínimos y no son perceptibles, salvo algunas excepciones como el campo gravitatorio de la Tierra, el de la Luna y la del Sol. El campo gravitatorio terrestre es responsable de que los objetos caigan al suelo; el de la Luna, de la marea alta y la marea baja; el del Sol, que la Tierra gire alrededor de él produciendo las estaciones del año. Esto parecería suficiente para decir que un objeto con mucha masa sería capaz de “atrapar todos los objetos que pasen lo suficientemente cerca”, produciendo un agujero negro.

Sin embargo, este modo de pensar no permite explicar por qué la luz tampoco puede escapar de un agujero negro, pues si la luz no tiene masa, no debe ser afectado por un campo gravitatorio. Por lo tanto, preferimos decir que un objeto con masa deforma o curva el espacio y podemos aplicarle los conceptos de gravitación a la luz, aun cuando no tiene masa.

La pregunta lógica sería: ¿a qué nos referimos con deformar el espacio? De manera sencilla, podríamos decir que en un espacio curvado, la distancia más corta no es una línea recta. ¿Cómo es esto posible? La siguiente fábula nos dará una idea de a qué nos referimos.

El pingüino Quique, que vive en el Polo Sur, decide ir a visitar a su amigo Rubencho, un topo que le gustan los deportes extremos y que está explorando el Polo Norte. Después de nadar en línea recta por aproximadamente veinte mil kilómetros llega al Polo Norte, donde su amigo Rubencho lo recibe. Cuando Quique le dice que nadó veinte mil kilómetros para ir a visitarlo, Rubencho se revuelca en el piso y se ríe a carcajadas porque, según él, sólo se necesita viajar unos doce mil kilómetros para llegar del Polo Sur al Polo Norte. Quique

no entiende, porque él ha viajado en línea recta, que es la distancia más corta. Rubencho le dice que ha dado todo un rodeo y que él lo habría hecho atravesando la Tierra.

Como Quique no le cree, Rubencho le propone regresar al Polo Sur, pero cada uno por su vía. Quique regresa nuevamente nadando y llega a su casa, donde se sorprende que su amigo no ha llegado. Después de esperarlo por muchos años, Rubencho por fin aparece. “¿Cómo es que llegaste tan temprano?” pregunta Rubencho. Quique le responde que hace años que llegó. “¡No es posible! ¿Cómo es posible que hayas llegado antes si he cavado sin descansar desde que salí del Polo Norte?”, pregunta Rubencho. Quique sonríe y contesta: “Quizás por eso llegué primero: yo no tuve que cavar”.

Moralejas: Primero, si vivimos en un espacio curvado, tomamos curvas pensando que son líneas rectas (El pingüino siempre creyó que viajaba en línea recta). Segundo, la “verdadera” línea recta no siempre es el mejor camino (el topo llegó mucho más tarde y con mucho más esfuerzo que el pingüino). Y créanme, ¡sólo algunos humanos no siguen la ley del menor esfuerzo! ¡La ley del menor esfuerzo (para ser más preciso, menor acción) es un principio fundamental de la naturaleza!

Ya tenemos una idea de lo que es la curvatura del espacio pero, ¿cómo ocurre eso? La respuesta reside en la masa de los cuerpos celestes. Toda masa deforma el espacio que le rodea. Por suerte para nosotros, aun con masas bien grandes, las deformaciones son muy débiles. ¡Imagínese que está tirándole una bola de béisbol a un amigo y que un pájaro que está pasando modifique el espacio de tal manera que la bola se curva hacia arriba y termine golpeándolo en el ojo!

En todo el artículo, cuando hablemos de una canica, nos referiremos a esas canicas que son del tamaño de una moneda de diez centavos. Imaginemos que tenemos una esponja del tamaño de una cancha de baloncesto y de un metro de espesor. Si no colocamos nada encima y tiramos una canica, la canica se desplazará en línea recta a través del colchón. Pero si colocamos ahora un balón de fútbol en la esponja y tiramos la canica, observaremos que la trayectoria de la canica dejará de ser recta. ¡Colocar una masa ha hecho que el “espacio” de

la canica se haya deformado! Definitivamente la línea que sigue la canica no es recta, al menos para nosotros, pero no hay duda que es la ruta del menor esfuerzo ¡Viva la ley del menor esfuerzo!, perdón, quise decir, principio de la acción mínima.

Como la masa del balón es pequeña, se podría considerar que la trayectoria de la canica era “casi recta”. ¿Y si cambiamos el balón por una bola de acero del tamaño del balón? Sin lugar a dudas, si lanzamos nuevamente la canica, la curva se hace evidente para nosotros. Y nos damos cuenta ahora de lo siguiente: si la canica pasa muy cerca de la bola de acero, termina juntándose con ella. Decimos que la bola ha “atrapado” la canica. ¡Ya nos estamos acercando a la idea de un agujero negro! Un agujero negro debe ser precisamente eso, una masa tan grande que modifica al espacio tan fuertemente que todo lo que se aproxima lo suficiente a éste es atrapado sin tener la esperanza de salir.

También nos damos cuenta que si pasa con más rapidez es más difícil que la bola termine atrapando la canica que si pasa con menor rapidez. Esto nos trae problemas, porque según lo que dijimos de los agujeros negros, “todo lo que entra a esa región queda atrapado”. Pero, si la canica va muy rápido, no quedará atrapada. ¡Para escapar de ser atrapada por la bola, sólo es cuestión de lanzar la canica con la suficiente rapidez!

Pero resulta ser que se ha descubierto que existe un límite en la rapidez que puede tener un cuerpo, y es la rapidez de la luz: trescientos millones de metros por segundo (un tres seguido de ocho ceros). Para darnos una idea de lo rápido que es esto, si pudiésemos viajar a esa rapidez, podríamos darle siete vueltas y media a la Tierra en un segundo.

Un agujero negro es, por lo tanto, una gran masa comprimida en un espacio pequeño, que curva el espacio a su alrededor tan fuertemente que existe una región donde todo lo que entre en dicha región, sin importar qué sea ni cuál sea su rapidez y recordando que nada puede sobrepasar la rapidez de la luz, quedará atrapado. Ni siquiera la luz puede escaparse. Si determinamos hasta dónde puede llegar la luz sin que quede atrapada por el agujero negro, ese límite se llama horizonte

de sucesos. Dicho de otra manera, una vez pasamos el horizonte de sucesos, entramos en el agujero negro y quedamos atrapados sin remedio en él.

El tamaño de un agujero negro

Inconscientemente hemos pasado un hecho por alto: cambiamos un objeto con poca masa (el balón de fútbol) por un objeto de más masa, pero del mismo tamaño (la bola de acero). Si en vez de eso hubiésemos puesto una bola de fútbol gigantesca de la misma masa que la de la bola de acero, nos daremos cuenta que la canica choca (y quizás se escape) con la bola antes de que llegue al “horizonte de sucesos”. Por eso se necesita que haya mucha masa en un espacio pequeño.

El tamaño máximo que puede tener un agujero negro para una masa dada está determinado por el llamado Radio de Schwarzschild. Éste nos indica que es más fácil tener agujeros negros si hay más masa. Pero los resultados son asombrosos: ¡para hacer que la Tierra se convierta en un agujero negro, toda la Tierra debe comprimirse hasta ser no más grande que el tamaño de una canica! Dentro de esa canica estaría la masa de toda la Tierra: la masa de todos nosotros, los ríos, los mares, el suelo, los árboles, todo... Para darnos una idea de cuánto es eso, la canica tendría la masa de aproximadamente $6,0 \times 10^{21}$ (un seis seguido de veintiún ceros) camionetas *pick up*, considerando que cada *pick up* tuviese una masa de una tonelada. Como ya se habrá dado cuenta, son cantidades difíciles de imaginar y de estudiar.

Para un agujero negro del tamaño de la Tierra, se necesitaría la masa de aproximadamente setecientos veinte mil veces la masa de la Tierra. Pero si pudiésemos arrancarle a ese agujero negro un pedazo del tamaño de una canica, ésta tendría la masa de “sólo” doce mil millones (un doce seguido de nueve ceros) de camionetas *pick up*. Si todavía cree que este número es grande, compárelo con el ejemplo anterior. Se dará cuenta que hay muchas menos camionetas ahora. Así que no se deje engañar por los vendedores, ¡el tamaño sí importa!

Por último, analicemos lo que los astrofísicos denominan agujeros negros supermasivos. Son agujeros negros gigantes y se presume que se encuentran en el centro de las galaxias, responsables de que las galaxias permanezcan juntas. El tamaño de estos agujeros puede

rondar por los cientos de miles de millones de metros (un número seguido de once ceros). Para darse cuenta de qué tan grande sería eso, tendríamos que poner unas diez millones de Tierras uno al lado de la otra para cubrirlo de extremo a extremo. La masa de ese agujero negro tendría la masa del orden de diez billones (un diez seguido de doce ceros) de veces la masa de la Tierra. ¡Pero aquí viene la sorpresa! Si pudiésemos arrancarle un pedazo del tamaño de una canica, la canica tendría la masa de ¡unos seis frijoles! ¡No más camionetas de una tonelada ni cifras extravagantes! Dicho de otra manera, nosotros podríamos construir un agujero negro juntando frijoles, dado que tuviésemos suficientes frijoles para eso. Es una lástima que no tengamos tantos: considerando que cada uno tuviese una masa promedio de un gramo, necesitaríamos aproximadamente 1×10^{41} frijoles (un uno seguido de cuarenta y un ceros).

Deformación del tiempo

Discutir la deformación del tiempo debido a un agujero negro puede ser una tarea muy complicada, por lo que solamente mostraré el concepto, sin intentar explicar las razones que sustentan el fenómeno.

Imagínese que usted y un amigo quieren estudiar un agujero negro y llevan su nave espacial a un lugar bastante cercano a un agujero negro. Después de lanzar una moneda al aire, a su amigo le toca ser lanzado hacia el agujero negro, lentamente. Conviene en que cada segundo ustedes se enviarán una señal de luz. Al principio, todo parecerá normal y cada segundo ambos recibirán su señal de luz. Pero a medida que su amigo se aproxima al agujero negro, usted se dará cuenta que el intervalo entre señal y señal va aumentando. Pero usted confía en que su amigo está enviando una señal por segundo, ¡por lo que usted debe concluir que el tiempo cerca del agujero negro transcurre más lentamente que afuera del agujero negro!

De igual manera, su amigo verá lo contrario: a medida que él se acerca al agujero negro, él observará que el tiempo entre las señales disminuye. Como él también confía en usted, ¡él debe concluir que el tiempo en un lugar fuera de un agujero negro transcurre de manera más rápida!

Por lo tanto, el tiempo cerca de un agujero negro transcurre más lentamente que en un lugar lejano a un agujero negro.

El nacimiento de un agujero negro

Ya sabemos bastante de los hoyos negros pero, ¿cómo se forman? Se proponen varias alternativas.

La primera y más conocida de las posibilidades es la de los agujeros negros estelares: se forman cuando muere una estrella de más de ocho veces la masa de nuestro sol. Para saber cómo ocurre, debemos saber qué ocurre dentro de una estrella.

Como todos sabemos, una estrella se caracteriza por ser una fuente de luz. La luz es producida por reacciones nucleares dentro de la estrella. Con tantas explosiones violentas dentro de la estrella, la materia se dispara hacia fuera, pero es frenada por la acción de la fuerza de gravedad, que atrae a las partículas hacia el interior de la estrella. Pensemos en esta actividad como ejemplo: tomamos una bola de ping-pong e intentamos mantenerla flotando, soplando debajo de ella. Nosotros estamos realizando la función de las explosiones, intentando tirar la pelota de ping pong hacia fuera de la Tierra. Sin embargo, la Tierra la atrae de vuelta con su campo gravitatorio y se forma un equilibrio que hace que nuestra pelota de ping pong quede suspendida en el aire. De igual manera, esto hace que los gases que son expulsados durante las explosiones dentro del núcleo de una estrella tampoco se escapan, sino que forman la corona solar.

Pero llega un momento en que el combustible de la estrella se acaba, y con éste también se acaban las explosiones. En nuestro ejemplo, es como si se nos acaba el aire: la bola caerá hacia la Tierra, golpeándola. Eso mismo ocurre con los gases de las estrellas: como hay quien contrarreste la acción de la fuerza de gravedad de las estrellas, los gases se precipitan hacia el centro de la estrella y rebotan en su superficie desde todas las direcciones. Las partículas que rebotan en la superficie generalmente chocan contra otras partículas haciendo que éstas salgan de la estrella, creando una explosión muy luminosa conocida como supernova.

El efecto del choque de las partículas contra la superficie es fácil de adivinar: si tomamos un pan y lo golpeamos por todos lados a la vez, reducirá su tamaño sin reducir su masa y se hará más denso.

Algo similar ocurre con una estrella, donde la estrella se hace más pequeña. Si la estrella, a fuerza de golpes, llega a ser más pequeña que lo que indica su Radio de Schwarzschild, ésta se convertirá en un agujero negro (recuerde, el Radio de Schwarzschild es el tamaño máximo que puede tener un cuerpo de una masa dada para convertirse en agujero negro).

La otra posibilidad son los llamados agujeros negros, propuestos por Stephen Hawking. Son pequeños agujeros negros del tamaño de una canica, o incluso mucho más pequeños, que se formaron debido a irregularidades durante el origen del universo.

Finalmente, la otra posibilidad son los agujeros negros supermasivos. Como ya se mencionó, se localizan en el centro de las galaxias y su origen es desconocido.

Tipos de agujeros negros

Existen varios tipos de agujeros negros. El más sencillo es el de Schwarzschild, un hoyo negro que no gira sobre sí mismo y generalmente tiene forma esférica. A pesar de que no se espera que existan muchos agujeros negros de Schwarzschild, es un modelo sencillo de estudiar y sirve como base para estudiar agujeros negros más complejos.

En la práctica es mucho más probable encontrarse con agujeros negros de Kerr, los cuales sí giran. Su forma es un poco achatada en los polos, como la Tierra. Los agujeros negros que se forman a partir de la muerte de una estrella gigante tienden a formar este tipo de agujero, pues después de la explosión el agujero negro resultante conserva el giro de su estrella madre.

Los agujeros blancos son una especie de agujero negro al revés: en vez de “tragarse todo lo que entra”, “vomita todo lo que tiene”. Aunque teóricamente posibles, no han sido observados en la práctica. Debido a esto, los astrofísicos especulan que los agujeros blancos pueden estar en otro tiempo o en otro espacio.

Si tomamos los conceptos de agujero negro y agujero blanco, podríamos pensar en conectar ambos conceptos. Después de todo,

¿de dónde puede venir la masa que bota un agujero blanco? Un agujero de gusano está formado por un agujero negro conectado a un agujero blanco. De esta manera, mientras en un extremo, el agujero negro cumple la función de “tragar materia”, en el otro extremo el agujero blanco cumple la función de “excretar materia”. ¡No en vano se le ha puesto el nombre de gusano! Aunque teóricamente posibles, no se han detectado agujeros de gusano y en lo personal, dudo que logren encontrar un agujero de gusano pronto. Hace falta encontrar primero un agujero blanco y después demostrar que está unido a un agujero negro.

Cazando agujeros negros

Después de todo lo que hemos hablado, ¿cómo hacen los astrofísicos para “ver” un hoyo negro, si éstos no se pueden ver? La respuesta consiste en no “verlo” directamente, sino indirectamente, es decir, observando sus efectos. Si cambiáramos nuestro Sol por un agujero negro de la misma masa, el movimiento de los planetas no se alteraría. Si pensamos que cada planeta fuese una estrella que emitiese luz propia y observamos que “misteriosamente” gira alrededor de un centro desconocido, podríamos encontrar la masa del “objeto desconocido” (esto se realiza midiendo qué tan fuerte es la fuerza gravitatoria) y determinar si su masa y tamaño corresponden a un agujero negro.

Otra manera de identificar un agujero negro es mediante la detección de rayos X. Los agujeros negros en sí no emiten rayos X hacia el exterior, pero si hay materia cerca del horizonte de sucesos del agujero negro, ésta será triturada de manera tan violenta que emitirá rayos X. Para darnos una idea de cómo ocurre esto, piense en los rayos X como el destello que produce una explosión. La diferencia es que aquí la explosión que ocurre es tan fuerte que se emiten rayos X, una forma muy potente de luz, que es invisible para nosotros.

En el sistema binario Cygnus X-1 se encontró uno de los primeros candidatos para agujeros negros y se detectó gracias a la técnica de detección de rayos X. En astrofísica, un sistema binario consiste en dos cuerpos celestes que están ligados por la fuerza gravitatoria ejercida entre ellas. Un sistema binario de dos estrellas se vería como

una pareja dando vueltas en una pista de baile oscura, cada uno con una vela sobre la cabeza. ¡Pero Cygnus X-1 sólo tiene una estrella visible! Es como si en el baile se apagara una de las velas: mediante el movimiento de la otra vela podríamos deducir que la persona no está bailando sola. Pero el objeto invisible se traga el gas de su compañera y éste, antes de traspasar el horizonte de sucesos, explota tan violentamente que emite rayos X. Mediante la medición de los rayos X, los astrofísicos han podido determinar el tamaño del objeto invisible, y llegaron a la conclusión que era ridículamente pequeño (no más de trescientos kilómetros de lado a lado) para la cantidad de masa que tiene. En ese entonces, el término agujero negro todavía era una novedad, pero hoy en día ¡La frase agujero negro suena inmediatamente!

Ficciones, realidades y curiosidades

Muchas ideas fantásticas están envueltas entre la oscuridad de los agujeros negros. Son precisamente estas ideas las que hacen tan apasionante su estudio. Como su interior promete un mundo nuevo donde las leyes de las físicas pueden cambiar radicalmente, también es una puerta abierta a la imaginación. Revisemos algunas de ellas.

El viaje en el tiempo

Sin duda, la idea más atractiva de un agujero negro es la del viaje en el tiempo. Si pudiéramos entrar en un agujero de gusano, podríamos salir en otro lugar en el pasado. Si pudiésemos construir artificialmente un agujero de gusano, podríamos viajar hacia el tiempo que queramos, pues el agujero blanco, que es la salida, se lo colocaríamos en un tiempo pasado. Teóricamente es posible, pero tenemos varios problemas: ¿se acuerdan de nuestro amigo Rubencho, el topo? Alguien debió pensar en cómo haría Rubencho para soportar el calor del centro de la Tierra. ¡Buen punto! En nuestro caso, ¿cómo haría nuestro viajante para sobrevivir a la fuerza gravitatoria de los agujeros negros? Si las fuerzas cerca del horizonte de sucesos son tan potentes que hasta los átomos son destrozados, ¿qué se espera de nosotros? ¿Y cómo sobreviviríamos la enorme radiación que emite un agujero negro? Y una de las cosas más importantes, ¿cómo crearíamos el agujero de gusano?

Pero hacer posible el viaje en el tiempo no es el único problema: una vez sea posible, si es que algún día será posible, tenemos problemas de consistencia. El problema más lógico sería la paradoja del matricida: si una persona viaja en el tiempo y mata a su madre antes de que él nazca, ¿cómo podrá nacer el matricida para poder matar a su madre?

Otra paradoja es la de la creación a partir de la nada: supongamos que mil años después alguien logra inventar una máquina del tiempo. Dos mil años después, alguien viaja a nuestra época y trae todos los planos necesarios para construir una máquina del tiempo. Entonces, como ya la máquina del tiempo existe en nuestra época, entonces ya no habrá necesidad de inventarla mil años después. ¡Pero alguien tuvo que haber inventado la máquina del tiempo para que este viajero nos trajera la receta!

El viaje hacia el futuro, en cambio, sí es algo más factible y se puede considerar que teóricamente ya tenemos una máquina para viajar al futuro. Bastaría con acercarse a un agujero negro, pero a una distancia prudente, dar un par de vueltas alrededor de él y después salir de la zona. Recuerde que el tiempo transcurre más lentamente en regiones cercanas al agujero negro, ¡por lo que significa que usted estaría viajando hacia el futuro! Usted vería que todo el mundo hacia fuera del agujero negro corre más rápido, como cuando adelantamos una película.

Teletransportación

Otra idea muy tentadora para los agujeros negros sería acortar el camino entre lugares distantes del universo. Nuevamente el candidato para esta hazaña sería un agujero de gusano: ¡Nos metemos a un lado del espacio por un agujero negro y salimos por otro lado por un agujero blanco localizado en el otro extremo del universo! Para nuestro amigo el topo Rubencho, sería tener un canal ya construido a través de la Tierra por el cual pasar y llegar al Polo Sur mucho antes que su amigo Quique, el pingüino. Pero presenta un problema parecido al viaje hacia el pasado: la construcción, uso y control del agujero de gusano. En especial, ¡a nadie le gustaría entrar como un ser humano por un lado del agujero de gusano para salir del otro lado como polvo estelar!

La fuente de energía

Es un hecho que en las inmediaciones de los agujeros negros, en especial cuando están tragando materia, se libera gran cantidad de energía. La propuesta que tienen algunos científicos futuristas sería crear estaciones para atrapar esa energía y utilizarla para fines más útiles. Por supuesto, esto es simple especulación y las dificultades son muchas: ¿Cómo atraparíamos esa energía? Y lo más importante, ¿Cómo “conseguimos” el agujero negro? Viajar hasta llegar cerca de uno sería una odisea, y construir nuestro propio agujero negro no es del todo seguro.

La aspiradora gigante

Mucha gente cree que si la Tierra se encuentra con un agujero negro, éste nos tragaría y desapareceríamos por completo de este universo. Sin embargo, no es tan cierto: un agujero negro miniatura podría traspasar la Tierra y seguir su camino sin “tragarse” toda la Tierra. Un agujero negro muy pequeño dejaría un hueco casi imperceptible en la Tierra, que al cabo de unos minutos (o quizás menos) se cerraría debido a las fuerzas internas del planeta. Pero no crea que es tampoco tan inofensivo: un cambio de los efectos gravitatorios en la Tierra podría causar grandes estragos sobre la Tierra, en especial sobre las aguas.

¿Realmente lograremos comprender algún día la naturaleza de estos enigmáticos monstruos oscuros? Su poder es grandísimo, pero no sabemos si realmente son héroes o villanos: solo el tiempo lo dirá.

Referencias bibliográficas

- Falcke, H. y Hehl, F., 2003. *The Galactic Black Hole: Lectures on General Relativity and Astrophysics*. Reino Unido: Institute of Physics Publishing.
- Nardo, D., 2004. *Black Holes*. Estados Unidos: Lucent Books.
- Philip's, 2002. *Philip's astronomy enciclopedia*. Reino Unido: Octopus Publishing Group.

Acerca del autor

Kaven Yau Wong nace el 16 de febrero de 1986 en Penonomé, Provincia de Coclé. En el 2003, obtuvo el título de Bachiller en Ciencias en la Escuela Secundaria Ángel María Herrera, Penonomé, Provincia de Coclé. En el año 2004, ingresó a la carrera de Licenciatura en Física de la Universidad de Panamá, donde se graduó con el índice más alto de la Facultad, en la promoción 2007-2008. Actualmente está terminando su Licenciatura en Matemáticas en la Universidad de Panamá mientras busca oportunidades de estudios de Doctorado en Física Teórica. Labora como profesor de tiempo parcial en la Universidad Tecnológica de Panamá.

El Sistema Internacional de Medidas

Por: **Eduardo Flores Castro**

Catedrático de Física – Universidad de Panamá

Ibianis@cwpanama.net

LA Revolución Francesa (1789) en su afán de normar todos los órdenes de la sociedad, estableció el Sistema Métrico Decimal para reglamentar todas las unidades de medida. Este sistema tenía dos características intrínsecas: debía ser con base en diez y todas las unidades deberían estar fundamentadas en la unidad de longitud, es decir en el metro (del griego *metron*, que quiere decir medida). Además, el nuevo sistema debía estar sólidamente fundamentado de tal forma que fuese acogido por todas las naciones del mundo y que no sufriera cambios fundamentales con el devenir de los años. Esto se ve reflejado en su lema que rezaba: “**Para Todos los Pueblos, Para Todos los Tiempos**”.

En 1855, Justo Arosemena con su visión de estadista, en su célebre obra *El Estado Federal de Panamá, manifiesta* señala: “Ningún perjuicio resulta de obligar al Estado de Panamá a seguir el sistema métrico en la República en los asuntos oficiales, y tanto menos, cuando que ese sistema es hoy el decimal francés, que no se variará por hallarse fundado en principios científicos”.

Siglo y medio después que Don Justo hiciera esta observación, en diciembre de 2007 sale publicada en gaceta oficial (Nº 25945), La Ley Nº 52 de 11 de diciembre de 2007 que regula las actividades metrológicas en la República de Panamá. Esta ley en su **Artículo 3** señala: “Se establece como sistema nacional de unidades el Sistema Internacional de unidades de medida, para expresar las distintas magnitudes de medida en todo el territorio nacional”. En su **Artículo 8** indica que: “Se prohíbe emplear unidades de medidas distintas de las unidades legales establecidas por el Estado en los ámbitos de la actividad económica, de los servicios públicos, de la salud, de la seguridad pública, de los actos jurídicos y las actividades administrativas”.

La citada ley, da al país cinco años para hacer la transición al nuevo sistema de unidades, esto significa que dentro de cinco años será obligatorio, entre otras normativas, la venta de productos en kilogramos en vez de libras, en metro en vez de yarda y en litros en vez de galón.

Hay que velar que no se cometan faltas al intentar utilizar el Sistema Internacional, la primera es que a partir de 1960, el nombre del antiguo Sistema Métrico Decimal es Sistema Internacional con el símbolo **SI**. Entre otras de las faltas que se cometen al intentar utilizar el Sistema Internacional tenemos: llamarle kilo al kilogramo, utilizar para metro mts en vez de m, utilizar para segundo seg en vez de s, escribir kilómetro con mayúscula (Km) en vez de escribirlo con minúscula (km), y muchas otras más.

Es importante que conozcamos la historia para poder valorar el presente y direccionar el futuro. La evolución de las unidades de medidas encierra una fascinante historia. De las siete unidades fundamentales deseamos compartir con los lectores de la Revista Cultural Lotería, el devenir de tres de ellas: el metro, el kilogramo y el segundo.

El Metro

En 1670, el párroco francés **Gabriel Mouton** sugiere que la unidad de medida de la longitud debería definirse con base en las dimensiones de la Tierra y estar dividida en fracciones decimales. No fue hasta la Revolución Francesa, 120 años después cuando por fin se hizo posible crear un sistema de medidas con fundamentos científicos.

En 1790, el obispo **Carlos de Talleyrand**, propuso ante la Asamblea Nacional Francesa que el patrón de unidad fundamental de longitud se obtuviera de la naturaleza y de esta manera podría ser aceptada por todas las naciones y convertirse así en una unidad universal. Él propuso que la nueva unidad de medida se definiera como: **la longitud de un péndulo, que situado en la latitud 45°, oscilase con un semiperiodo de un segundo**. La iniciativa fue aprobada por la Asamblea Nacional el 8 de Mayo de 1790, y Luís XVI invitó formalmente al Rey de Inglaterra a colaborar en la determinación de la nueva medida.

La idea era buena, sin embargo ya en la época se podía detectar que el periodo de un péndulo varía de un lugar a otro, debido al cambio de la intensidad del campo gravitatorio. Además de este argumento, Inglaterra no respondió a la solicitud de participar en el establecimiento de un sistema de medidas, por razones políticas. Debido al aislamiento de Francia en su intento, tuvo que recurrir a otra estrategia.

Segunda definición del Metro

Diez meses después, el 19 de Marzo de 1791, la Academia de Ciencias de París propuso la substitución del péndulo por otra medida procedente de la naturaleza. El metro sería la **una diezmillonésima parte de un cuarto del meridiano terrestre**. Ese mismo año, la Asamblea Nacional aprobó el cambio y el proyecto de medición presentado por la Academia. La nueva unidad se llamaría **METRO** (del griego *metron*, que quiere decir medida) y se dividiría en fracciones decimales: el decímetro (la decena parte del metro), el centímetro (la centésima parte del metro) y el milímetro (la milésima parte del metro).

Ante la imposibilidad de medir todo un cuarto de meridiano, desde el Polo Norte al Ecuador, la solución era medir un trozo y calcular matemáticamente el valor del total. El arco de meridiano escogido en la propuesta de la academia fue el comprendido entre Dunkerque, cerca del mar del Norte francés y Barcelona, en la costa mediterránea de la península Ibérica.

Entre las razones no explicitadas por la que se acogió la definición geodésica del metro, era que la operación implicaba un intento de la Academia de Ciencias para hacer sentir su utilidad a la Nación en tiempos que se planteaba su disolución como residuo del viejo régimen. Otra razón era que incluir Barcelona internacionalizaría la nueva medida, que ya no sería solamente francesa. El reino de España, importante en el concierto europeo, a falta de Inglaterra, participaría desde el principio en el proyecto.

Los trabajos de medir la distancia de Dunkerque, en el norte de Francia, a Barcelona, en España, duraron seis años. En 1793, con la medida aún por precisar, se construyó un patrón provisional que daba la medida del metro a partir de datos geodésicos incompletos.

Materialización del Metro

En 1795, Francia adoptó oficialmente el sistema de medidas basado en el metro: El Sistema Métrico. Para familiarizar al pueblo con la nueva medida, se construyeron dieciséis metros-patrones grabados en mármol y se colocaron en diferentes puntos de París. En la actualidad se puede apreciar uno de ellos en la **36 de la rue de Vaugirard**.

En 1799, se materializa el metro en una regla de platino y se convierte éste como el patrón oficial. Pese a la adopción oficial del sistema métrico, ni siquiera los franceses lo usaron enseguida. Napoleón tuvo que permitir que se siguiera usando el viejo sistema medieval de medidas (1 toesa = 1,95 m), pero a la vez ordenó que el nuevo sistema se enseñara en las escuelas. De esta forma, 45 años después (1840), un nuevo decreto declaró ilegal el viejo sistema de unidades. De esta forma, el Sistema Métrico Decimal se convirtió en el único legal en Francia.

Primera Conferencia General de Pesas y Medidas

Con el objeto de dar carácter internacional a las medidas producto de la Revolución Francesa, se convocó en 1889 la primera Conferencia General de Pesas y Medidas, se decidió materializar la definición geodésica y fijar el metro por una barra de aleación de 90 % Pt y 10 % Ir para aumentar la dureza y con sección en forma de “X” con un plano en su sección baricéntrica. Este prototipo de platino iridiado quedó celosamente guardado, bajo tres llaves, en Sèvres, del cual se repartieron una serie de copias en distintos países.

El Metro y la Guerra

Después de la Primera Guerra Mundial, las naciones se percataron de la vulnerabilidad que significaba definir el metro a través de un artefacto. Debido a esto, la séptima Conferencia Internacional de Pesas y Medidas celebrada en 1927, aprobó como definición suplementaria definir el metro basada en términos de la longitud de ondas de luz. Esta definición fue: el metro es la **longitud igual a 1 553 164,13 veces la longitud de onda de la luz roja del cadmio** ($\lambda_{\text{Cd,R}} = 6,438\ 469\ 6 \times 10^{-5}\ \text{m}$); a la temperatura de 15 °C, presión atmosférica de 760 mm de Hg, aire seco conteniendo 0,03 % CO, y valor del campo gravitatorio de 9,806 65 m/s².

El Metro y la Física Atómica

La definición del metro a través de un prototipo que se conservaba en Sèvres, Francia, perduró durante 71 años. No fue hasta la 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada en 1960 cuando el metro se define por primera vez con precisión y reproductividad extraplanetaria. En esta conferencia el metro se definió como: **1 650 763,731 veces la longitud de onda del fotón emitido en una transición del nivel $2p^{10}$ al nivel $5d^5$, del átomo de Kriptón 86 en el vacío.**

Definición actual del Metro

En 1983, la 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas, definió el metro a través de parámetros fundamentales de la naturaleza. La definición actual del metro es: **la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío en un lapso de $1 / 299\,792\,458$.**

Esta definición, también permite medir el metro mediante técnicas de interferometría láser; lo que permite reproducir el metro con una incertidumbre de 2×10^{-11} m.

El Kilogramo

Recién terminada la Revolución Francesa, la unidad de longitud, el metro ya había sido tomado de las dimensiones de la Tierra; por lo que se sugirió relacionar la unidad de masa con la unidad de longitud. Para este estudio, la Academia de Ciencias integra la comisión conformada por el químico y físico francés **Antoine Lavoisier**, y el mineralogista francés **René Haüy**. En 1793, con la idea de relacionar el metro con la unidad de masa, se propuso que la nueva unidad de masa se llamara *grave*, y estuviese definida como: **La masa de un decímetro cúbico de agua a la temperatura de congelación (0 °C).**

En 1799, las medidas para definir la unidad de masa fueron mejoradas por el francés **Louis Gineau** y el italiano **Giovanni Fabroni**. Debido a que no podían estabilizar a 0 °C la temperatura del agua líquida y que la máxima densidad del agua sucede a 4 °C, la definición de grave fue modificada para especificar la temperatura de máxima densidad del agua. Es decir, que el grave quedó redefinido como: **La masa de un decímetro cúbico de agua a la temperatura de 4 °C.**

Pero como se hacían muchas mediciones de masas menores a un *grave*, el gobierno francés optó por adoptar como unidad de masa el *gramo*. Sin embargo, para definir una unidad de masa había que construir un *patrón*, cuya masa sería oficialmente un gramo y que se guardaría protegido para efectos de comparación y calibración. Resultó muy complicado tanto fabricar como utilizar un patrón de masa de un gramo, de modo que fue necesario utilizar como **patrón de referencia el equivalente a mil gramos, o sea un kilogramo**. En 1799, este patrón fue construido de platino, y depositados en los Archivos de la República Francesa. Una nueva ley a finales de este año, estableció que **los patrones de los Archivos eran los patrones definitivos de las medidas de longitud y de masa de toda la República Francesa** y, en consecuencia, las unidades de estas magnitudes ya no fueron definidas de otra manera sino por los patrones materiales de los Archivos.

En 1875, **la unidad de masa del sistema métrico se redefinió como el kilogramo** y se fabricó un nuevo patrón. En 1884, se fabricaron 40 patrones de kilogramo y 30 patrones de metro, con una aleación de 90 % de platino y 10 % de iridio y densidad aproximada de 21,5 g/cm³.

La primera Conferencia General de Pesas y Medidas, en 1889, decidió que el kilogramo patrón estaría definido como: **la masa contenida en un cilindro de 39 mm de altura y 39 mm de diámetro construido con una aleación de 90 % de platino y 10 % de iridio, conservado en el Bureau Internacional de Pesas y medidas ubicado en Sevres, París**.

Después que el kilogramo prototipo internacional fue depositado en la Bureau Internacional de Pesas y Medidas en 1889, sólo se ha acudido a él para verificar su masa en tres ocasiones: 1939, 1946 y 1988.

El Kilogramo del futuro

De las 7 unidades fundamentales del Sistema Internacional solamente el kilogramo no está definido a partir de un fenómeno físico reproducible, sino a partir de un artefacto, lo que representa las siguientes desventajas:

1. Es irremplazable.
2. Existe evidencia para suponer que el kilogramo patrón ha variado en unos 5×10^{-8} kg durante los últimos 115 años.
3. El ampere, la candela y el mole en su definición están relacionadas con el kilogramo, por lo que la incertidumbre asociada al prototipo afecta las medidas efectuadas en las magnitudes asociadas a las primeras.

Las propuestas de establecer una nueva definición para el kilogramos, supondría definirlo a partir de una constante universal. Una de las definiciones que se plantea se basa en la constante de Planck, lo que permitiría determinar el kilogramo a partir de un cierto número de fotones de determinada frecuencia. Otra propuesta de definición se basa en el número de Avogadro, lo que permitiría determinar el kilogramo a partir de un número de átomos de un elemento.

El segundo

Históricamente el segundo, fue definido con base en el periodo de rotación de la Tierra sobre su eje. En el siglo XVII, la invención de los relojes de péndulo hizo posible el registrar el segundo con cierta precisión.

En 1793, la Convención Nacional Francesa estableció un nuevo calendario, el cual consistía de 12 meses de 30 días cada uno, concluyendo con una vacación de 5 ó 6 días. Cada mes fue dividido en 3 semanas de 10 días. El día fue dividido en fracciones decimales, con 10 horas por día, 100 minutos por hora y 1000 segundos por minuto. De acuerdo con esto, **el segundo estaba definido como la fracción $1/1\,000\,000$ del tiempo de un día medio**. Este calendario fue abolido por Napoleón en 1806 a cambio del reconocimiento por la Iglesia de su autoridad como Emperador de Francia.

En la primera reunión del CGPM celebrada en 1889, se definió el “segundo” como la unidad de tiempo equivalente a **la fracción $1/86\,400$ del tiempo de un día medio** (86 400 es la cantidad de segundos que hay en 24 horas).

Para proporcionar más precisión a la unidad de tiempo, en 1960, la 11^a CGPM redefinió el segundo en términos del **periodo de revolución de la Tierra alrededor del Sol**. Es decir, que **un segundo sería igual a $1/31\,556\,925,974\,7$ del año tropical de 1900**.

El rápido desarrollo de relojes atómicos permitió redefinir el segundo con mayor precisión. En 1967, la 13^a CGPM estableció la actual definición de segundo, la cual señala que: **un segundo es igual a la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos del estado fundamental del isótopo 133 del átomo de cesio.**

En 1972, se adoptó un tiempo universal que utiliza la definición atómica de segundo, el cual recibe el nombre **UTC** (Tiempo Universal Coordinado). Este tiempo es un promedio de las horas marcadas por aproximadamente 200 relojes de cesio, 133 instalados en 55 lugares diferentes del mundo, consiguiendo una precisión del orden de 10^{-9} segundos por día.

La atracción gravitatoria de la Luna sobre los océanos y la fusión de los glaciares, produce que la Tierra gire cada vez más despacio, retrasándose en promedio 0,6 segundos por año. Para mantener la sincronización entre el reloj asociado a la rotación Tierra y los relojes atómicos, los científicos han acordado introducir un segundo adicional en ciertos años en el estándar oficial del Tiempo Universal Coordinado. Esto se hace después de analizar la variación de la rotación de la Tierra con respecto a cuerpos celestes lejanos. Desde 1972, se ha añadido un segundo adicional en 24 ocasiones.

Bibliografía

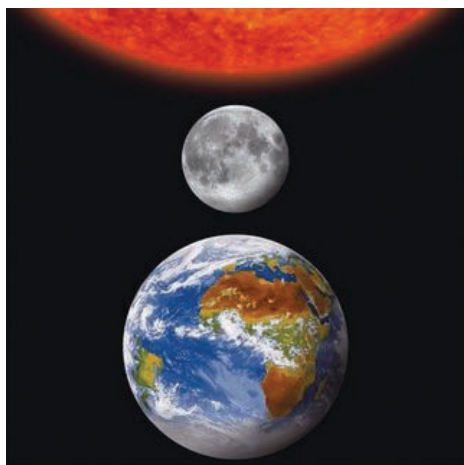
1. Flores, E; Moreno E y Rosales, N. Ciencias Físicas o Filosofía de la Naturaleza. Producciones Científicas S.A. Panamá 2008.
2. Ángel Almansa Pastor. Sistema Internacional de Medidas en Medicina. Grupo Editorial 33, España 2007.
3. Sistema Internacional de Unidades. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Colombia, 2002.
4. González, C y Vázquez, R. Metrología. MacGraw-Hill. México 2002.
5. Zavelski F. El Tiempo y su Medición. Editorial Mir, 1990.
6. IUPAC. iupac.chemsoc.org/reports/1993/homann/index.html

La Luna nuestro satélite

Por: **Eduardo Sáenz González**

Departamento de Física, Universidad de Panamá

LA Luna es el satélite natural del planeta Tierra, su distancia media al centro de nuestro planeta es de casi cuatrocientos mil kilómetros (384 400 km en promedio). Su diámetro es de menos de un tercio del terrestre, su superficie es una decimocuarta parte, y su volumen alrededor de una quincuagésima parte. Este satélite está compuesto principalmente de aluminio, silicio, calcio, magnesio y algunos otros elementos livianos; con una atmósfera constituida por helio, neón, argón, hidrógeno y algunas trazas de metano, amoníaco y dióxido de carbono. La magnitud de la aceleración gravitatoria (gravedad superficial) es de aproximadamente la sexta parte de la gravedad de la tierra ($1,62 \text{ m/s}^2$) lo que ocasiona que en la luna los objetos pesen un sexto de lo que pesan en la tierra.



Tamaño a escala de la tierra y la luna. La distancia de separación no está a escala.

El origen de la Luna

Al descubrir que la composición de la Luna era similar que la de la superficie terrestre se supuso que su origen tenía que venir de la propia Tierra. Un cuerpo tan grande en relación con nuestro planeta difícilmente podía haber sido capturado ni tampoco era probable que se hubiese formado junto a la Tierra. Así, la mejor explicación de la

formación de la Luna es que ésta se originó a partir de los pedazos que quedaron tras una cataclísmica colisión con un protoplaneta del tamaño de Marte en los albores del sistema solar (hipótesis de gran impacto). Esta teoría también explica la gran inclinación axial del eje de rotación terrestre que habría sido provocada por el impacto.

La enorme energía suministrada por el choque fundió la corteza terrestre al completo y arrojó gran cantidad de restos incandescentes al espacio. Con el tiempo, se formó un anillo de roca alrededor de nuestro planeta hasta que, por acreción, se formó la Luna. Su órbita inicial era mucho más cercana que la actual y el día terrestre era mucho más corto ya que la Tierra rotaba más deprisa (conservación del momento angular). Durante cientos de millones de años, la Luna ha estado alejándose lentamente de la Tierra, a la vez que ha disminuido la velocidad de rotación terrestre debido a la transferencia de momento angular que se da entre los dos astros. Este proceso de alejamiento continúa actualmente a razón de 38 mm por año.

Movimientos de la Luna:

La luna en su trayectoria tiene dos tipos de movimientos: uno de revolución (giro sobre su propio eje) y otro de traslación (giro alrededor de la tierra). La Luna tarda en girar una vuelta alrededor de la Tierra (movimiento de traslación) 27 días 7 horas 43 minutos si se considera el giro respecto al fondo estelar (revolución sideral), pero 29 días 12 horas 44 minutos si se la considera respecto al Sol (revolución sinódica) y esto es porque en este lapso la Tierra ha girado alrededor del Sol. Esta última revolución rige las fases de la Luna, eclipses y mareas lunisolares.

Como la Luna tarda el mismo tiempo en dar una vuelta sobre sí misma (movimiento de rotación) que en torno a la Tierra, presenta siempre la misma cara. Esto se debe a que la Tierra, por un efecto llamado gradiente gravitatorio, ha frenado completamente a la Luna. La mayoría de los satélites regulares presentan este fenómeno respecto a sus planetas. Así pues, hasta la época de la investigación espacial no fue posible ver la cara lunar oculta, que presenta una disimetría respecto a la cara visible. El Sol ilumina siempre la mitad de la Luna (exceptuando en los eclipses de luna), que no tiene por qué coincidir con la cara visible, produciendo las fases de la Luna. La inmovilización

aparente de la Luna respecto a la Tierra se ha producido porque la gravedad terrestre actúa sobre las irregularidades del globo lunar de forma que en el transcurso del tiempo la parte visible tiene 4 km más de radio que la parte no visible, estando el centro de gravedad lunar desplazado del centro lunar 1,8 km hacia la Tierra.

El hecho de que la Luna salga aproximadamente una hora más tarde cada día se explica conociendo la órbita de la Luna alrededor de la Tierra. La Luna completa una vuelta alrededor de la Tierra aproximadamente una vez al mes. Si la Tierra no rotase sobre su propio eje, sería muy fácil detectar el movimiento de la Luna en su órbita. Este movimiento hace que la Luna avance alrededor de 12° en el cielo cada día. Si la Tierra no rotara, lo que se vería sería la Luna cruzando la bóveda celeste de oeste a este durante dos semanas, y luego estaría dos semanas ausente (durante las cuales la Luna sería visible en el lado opuesto del Globo).

Sin embargo, la Tierra completa un giro cada día (la dirección de giro es también hacia el este). Así, cada día le lleva a la Tierra alrededor de 50 minutos más para estar de frente con la Luna nuevamente (lo cual significa que se puede ver la Luna en el cielo). El giro de la Tierra y el movimiento orbital de la Luna se combinan, de tal forma que la salida de la Luna se retrasa del orden de 50 minutos cada día.

Para notar el movimiento de la Luna en su órbita, hay que tener en cuenta su ubicación en el momento de la puesta de Sol durante algunos días. Su movimiento orbital la llevará a un punto más hacia el este en el cielo en el crepúsculo cada día.

Al desplazarse en torno al Sol, la Tierra arrastra a su satélite y la forma de la trayectoria que ésta describe es una curva de tal naturaleza que dirige siempre su concavidad hacia el Sol. La velocidad con que la Luna se desplaza en su órbita es de 1 km/s.

Debido a la excentricidad de la órbita lunar, la inclinación del eje de rotación de la Luna con respecto al plano de la eclíptica y al movimiento de rotación de la Tierra en el curso de una revolución sideral, se logra ver una extensión superficial mayor que la de un hemisferio del satélite, como si estuviese animado de ligeros balanceos de este a oeste y de norte a sur. Estos movimientos aparentes

se conocen con el nombre de libraciones y son tres: libraciones en longitud, libraciones en latitud y libración diurna. Debido a las libraciones se conoce un 9% más de la mitad de la Luna.

Órbita de la Luna

La Luna describe alrededor de la Tierra una elipse, y no un círculo como se piensa comúnmente, por lo que la distancia entre los dos astros varía y por ende la velocidad en la órbita también. Dado que la rotación lunar es uniforme y su traslación no, pues sigue las leyes de Kepler, se produce una Libración en Longitud que permite ver un poco de la superficie lunar al Este y al Oeste, que de no ser así, no se vería. El plano de la órbita lunar está inclinado respecto a la Eclíptica unos 5° por lo que se produce una Libración en Latitud que permite ver alternativamente un poco más allá del polo Norte o del Sur. Por ambos movimientos el total de superficie lunar vista desde la Tierra alcanza un 59% del total. Cada vez que la Luna cruza la eclíptica, si la Tierra y el Sol están sensiblemente alineados (Luna llena o Luna nueva) se producirá un eclipse lunar o un eclipse solar.

La órbita de la Luna es especialmente compleja. La razón es que la Luna está suficientemente lejos de la Tierra tal que la fuerza de gravedad ejercida por el Sol es significativa. Dada la complejidad del movimiento, los nodos de la Luna, no están fijos, sino que dan una vuelta en 18,6 años. El eje de la elipse lunar no está fijo y el apogeo y perigeo dan una vuelta completa en 8,85 años. La inclinación de la órbita varía entre 5° y 5° 18'. De hecho, para calcular la posición de la Luna con exactitud hace falta tener en cuenta por lo menos varios cientos de términos.

Asimismo, la Luna se aleja unos cuantos centímetros al año de la Tierra, a la vez que va frenando la rotación terrestre -lo que hará que en un futuro lejano los eclipses totales de Sol dejen de producirse al no tener la Luna suficiente tamaño como para tapan el disco solar-. En teoría, dicha separación debería prolongarse hasta que la Luna tardara 47 días en completar una órbita alrededor de nuestro planeta, momento en el cual nuestro planeta tardaría 47 días en completar una rotación alrededor de su eje, de modo similar a lo que ocurre en el sistema Plutón-Caronte. Sin embargo, la evolución futura de nuestro

Sol puede trastocar esta evolución. Es posible que al convertirse nuestra estrella en una gigante roja dentro de varios miles de millones de años, la proximidad de su superficie al sistema Tierra-Luna haga que la órbita lunar se vaya cerrando hasta que la Luna esté a alrededor de 18 000 km de la Tierra -el límite de Roche-, momento en el cual la gravedad terrestre destruirá a la Luna convirtiéndola en unos anillos similares al de Saturno. De todas formas, el fin del sistema Tierra-Luna es incierto y depende de la masa que pierda el Sol en esos estadios finales de su evolución.

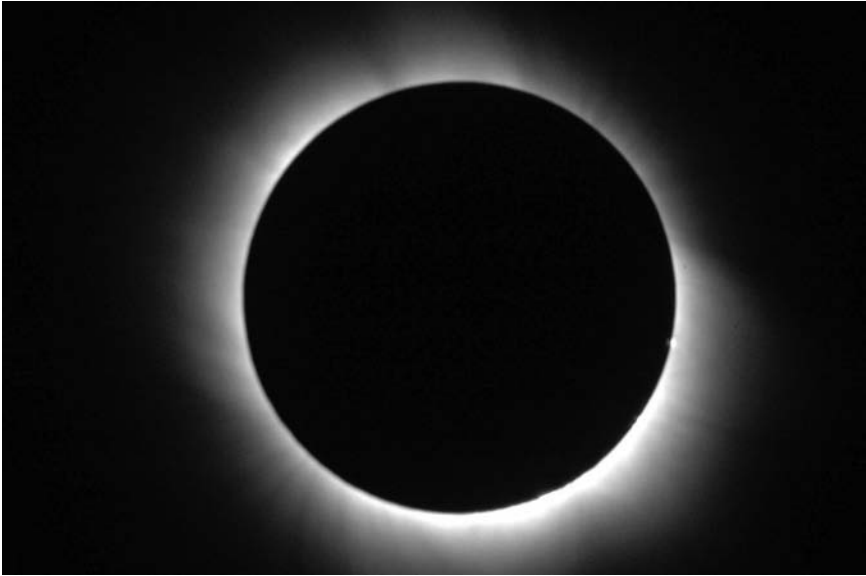
Los eclipses solares y lunares

Luna baja en el cielo, se ve de color rojo, esto es causado por la atmósfera terrestre al dispersar la luz que proviene de ella, igual que el sol a tempranas horas de la mañana y en la tarde en el ocaso. En los eclipses de Luna, ésta toma un color parecido.

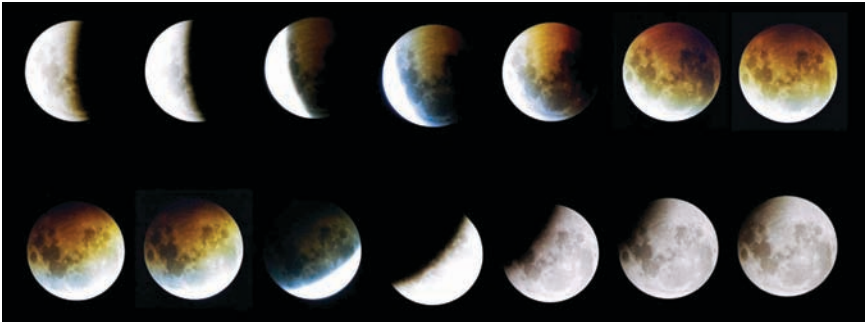
Al parecer, debido a una extraordinaria casualidad, el Sol es 400 veces más grande, pero también está 400 veces más lejos de modo que ambos abarcan aproximadamente el mismo ángulo sólido para un observador situado en la Tierra. La Luna en un eclipse lunar puede contener hasta tres veces su diámetro dentro del cono de sombra causado por la Tierra. Por el contrario en un eclipse solar, la Luna apenas tapa al Sol (eclipse total) y en determinadas partes de su órbita, cuando está más distante no llega a ocultarlo del todo, dejando una franja anular (eclipse anular). La complejidad del movimiento lunar dificulta el cálculo de los eclipses y se tiene que tener presente en la periodicidad en que éstos se producen.

Las mareas

En realidad, no es que la Luna gire en torno a la Tierra, sino que el sistema Tierra-Luna, giran en torno al centro de masas de ambos. Sin embargo, al ser la Tierra un cuerpo grande, la gravedad que sobre ella ejerce la Luna es distinta en cada punto. En el punto más próximo es mucho mayor que en el centro de masas de la Tierra, y mayor en éste que en el punto más alejado de la Luna. Así, mientras la Tierra gira en torno al centro de gravedad del sistema Tierra-Luna, aparece a la vez una fuerza que intenta deformarla, dándole el aspecto de un huevo. Este fenómeno se llama gradiente gravitatorio, el cual produce las



Eclipse total de sol.

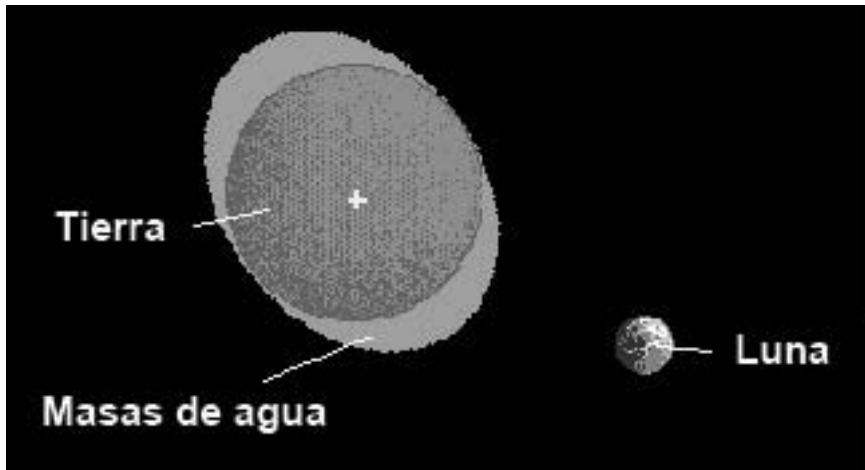


Eclipse total de luna

mareas. Al ser la Tierra sólida, la deformación afecta más a las aguas y es lo que da el efecto de que suban y bajen dos veces al día (sube en los puntos más cercano y baja en el más alejado de la Luna).

Influencia de atracción gravitatoria de la Luna sobre las masas de agua de la Tierra

Un efecto asociado es que las mareas frenan a la Tierra en su rotación (pierde energía debido a la fricción de los océanos con el fondo del mar), y dado que el sistema TierraLuna tiene que conservar el



momento angular, la Luna lo compensa alejándose, actualmente, 38 mm cada año, como han demostrado las mediciones láser de la distancia, posibles gracias a los retro-reflectores que los astronautas dejaron en la Luna.

Se le llama marea al ascenso y descenso periódicos de todas las aguas oceánicas, incluyendo las del mar abierto, los golfos y las bahías. Estos movimientos se deben a la atracción gravitatoria de la Luna y el Sol sobre el agua y la propia Tierra. Esta fuerza de atracción gravitacional que ejercen el Sol y la Luna sobre las masas de agua en la Tierra, provoca una oscilación rítmica de estas masas de agua debido a la orbitación de la Tierra alrededor del Sol y de la Luna alrededor de la Tierra. Existen, por lo tanto, mareas causadas tanto por el Sol como por la Luna.

Mareas lunares

El estar la Luna mucho más cerca de la Tierra que el Sol, es la causa principal de las mareas. (Es conveniente recordar que Newton mostró que la atracción gravitatoria depende del producto de las masas de los cuerpos y del inverso cuadrado de la distancia que los separa).

Las masas de agua, así como todo en la Tierra, están expuestas, además de la fuerza gravitatoria entre ambas, a la fuerza centrífuga (hacia fuera de la Tierra) como resultado del movimiento de rotación de la Tierra. El nivel de marea que se produce es, por tanto, el resultado de la combinación de estas dos fuerzas (centrífuga + gravitatoria).

Así, cuando la Luna está justamente encima de un punto dado de la Tierra, la combinación de estas fuerzas hace que el agua se eleve sobre su nivel normal. Esto se conoce como marea alta o pleamar, lo cual aunado al hecho de que ese instante la luna este más cerca de la tierra, se produzca lo que se conoce como aguajes. Lo mismo ocurre con las regiones situadas en el lado opuesto de la Tierra. A la primera se le conoce como marea directa, mientras que a la segunda se le conoce como marea opuesta.

Así mismo, a lo largo de la circunferencia formada por las zonas perpendiculares al eje de mareas directa y opuesta se producen fases de marea baja o bajamar.

Las mareas altas y bajas se alternan en un ciclo continuo. En la mayoría de las costas del mundo se producen dos mareas altas y dos mareas bajas cada día lunar (su duración media es de 24 h, 50 min y 28 s.).

Mareas solares

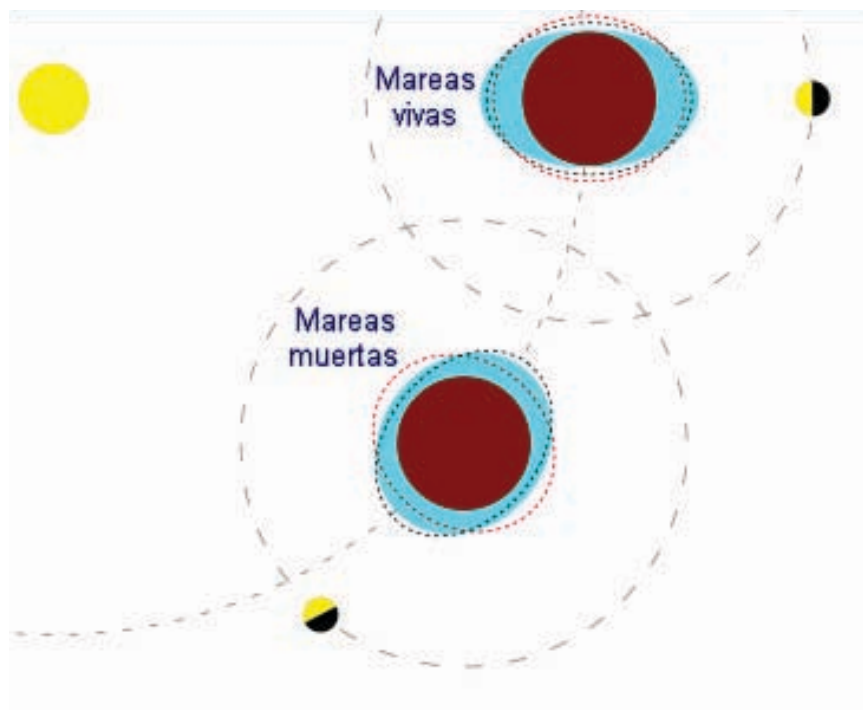
Igualmente, el Sol, provoca el ascenso de dos crestas de onda opuestas, pero como el Sol está lejos de la Tierra, su fuerza para crear mareas es un 46% menor que la Luna.

El resultado de la suma de las fuerzas ejercidas por la Luna y el Sol es una onda compuesta por dos crestas, cuya posición depende de las posiciones relativas del Sol y de la Luna en un instante dado.

De este modo, durante las fases de Luna nueva y llena -cuando el Sol, la Luna y la Tierra están alineados- las ondas solar y lunar coinciden creando un estado conocido como mareas de primavera (spring tides). En éstas, las mareas altas ascienden más y las mareas bajas descienden más de lo habitual.

Correspondientemente, cuando la Luna está en el primer o tercer cuadrante, el Sol forma un ángulo recto con respecto a la Tierra que hace que las ondas queden sometidas a fuerzas opuestas del Sol y de la Luna. Este estado se conoce como el de marea muerta, donde las mareas altas son más bajas y las mareas bajas son más altas que lo normal.

Las mareas de primavera y muerta se producen 60 horas después de las fases correspondientes de la Luna, este periodo se llama edad de la marea o de la fase de desigualdad.



Cuando la Luna y el Sol están alineados, los elipsoides (en punteado) se refuerzan y las mareas son más grandes. Cuando la Luna está en cuadratura con el Sol, los elipsoides se cancelan parcialmente y las mareas son pequeñas.

Periodicidad

Como habíamos indicado anteriormente, las mareas altas y bajas se alternan en un ciclo continuo. Las variaciones producidas de forma natural entre los niveles de marea alta y baja se conocen como amplitud de la marea.

Si observamos un día completo las oscilaciones del mar podemos comprender mejor este ciclo. Esto nos permitiría determinar lo siguiente:

- El nivel del agua sube (Creciente) hasta llegar a un máximo llamado Pleamar (PM) o “llena”.

- Luego se mantiene estacionaria por un tiempo, llamándose Marea Parada.
- Posteriormente, comienza a bajar (Vaciante) hasta llegar a un mínimo llamado Bajamar (BM) o “seca”, produciéndose otro periodo estacionario.
- Este ciclo se repite cada día lunar (24 h., 50 min, 28 s.), produciendo dos mareas altas y dos mareas bajas en cada ciclo.

Bibliografía

- Comellas, José Luis. (1996). Guía del Firmamento. “Sexta edición”. Editorial Rialp.
- Glosario Selenográfico, José Carlos Violat Bordonau. (2006).España.
- Enciclopedia Ilustrada Cumbre, Tomo 9, Págs. 104-106
- Diccionario Enciclopédico Océano, Tomo 2, Pág. 489.

Fuentes de Internet:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Marea>

<http://www.elanzuelo.com/mareas.htm>

<http://www.monografías.xpertía.com/home.asp.htm>

<http://www.lafacu.com/apuntes/geologia/mareas/default.htm>

Un viaje generacional a través del Cosmos

Por: **Vicente Forero Villao**

Departamento de Física. Universidad de Panamá

TODOS los que hemos tenido la oportunidad de contemplar el cielo oscuro, nos hemos sentido admirados, y empequeñecidos ante lo vasto de nuestro Universo. En el presente es cada vez más difícil ver el cielo debido a la contaminación lumínica y la polución, que es cada día mayor, sin embargo, desde que nuestros ancestros posaron sus ojos en los cielos, el espíritu humano se ha movido a tratar de contestar las preguntas más profundas, que nos hemos planteado como especie: ¿Cómo es nuestro Universo? ¿Cuál es nuestro lugar en él? ¿Cómo fue su origen? ¿Cómo será en el futuro? Estas preguntas se han hecho en diversas formas, pero en esencia, buscan la comprensión del mundo natural en que vivimos, el lugar que ocupamos en él, así como se plantea la pregunta de nuestros orígenes. Preguntas muy profundas para ser contestadas durante la vida de una persona, aproximarnos a ellas nos ha tomado toda la historia de la humanidad, y aún no tenemos todas las respuestas.

Las primeras observaciones astronómicas

Las primeras observaciones astronómicas se hicieron a ojo desnudo, históricamente la astronomía nace en oriente próximo, lo babilonios son los primeros en registrar sus observaciones, y es justamente en la región del Éufrates donde nace la escritura, hace más de 5 000 años, siendo ésta el medio por el cual los conocimientos astronómicos de este pueblo y otros se preservan para la humanidad. A pesar de que se señale el nacimiento de la Astronomía escrita en Babilonia esto no quiere decir que los pueblos más antiguos no observaron y estudiaron los cielos, lo que ocurrió con estos pueblos es que sus conocimientos no fueron plasmados en la escritura, sin embargo la Arqueoastronomía, ciencia que cuenta con muy pocos años, ha mostrado la existencia de monumentos y conjuntos arquitectónicos, anteriores a la escritura que son en realidad observatorios astronómicos y calendarios, por

lo que podemos pensar que el origen de la Astronomía incluso es anterior a la escritura.

Nuestros antepasados vivían en un entorno cambiante y hostil, lo único regular y permanente eran los objetos que se encontraban en los cielos. Observaron la salida y puesta del Sol, siendo este el dios que traía el calor y la vida, siempre constante ya que después de su muerte en el oeste al atardecer, el mismo saldría renacido en el este. El descubrimiento de la agricultura y el del calendario tuvieron muy estrecha relación, siendo el calendario la primera aportación de la Ciencia, o proto ciencia, a la humanidad.

Los babilonios fueron los primeros en registrar la salida y puesta del Sol, en agrupar las estrellas en constelaciones y se dieron cuenta que el Sol, la Luna, y las estrellas móviles, se movían por delante de las estrellas que suponían mucho más alejadas en la bóveda celeste. Las estrellas móviles, que más adelante los griegos llamaron planetas, se movían de manera aparentemente caótica en el cielo, el entendimiento del movimiento de estos cuerpos tomó cientos de años.

Se considera que la Astronomía china es incluso más antigua que la del medio oriente, ellos registraron cometas y para el año 365 se habían percatado que la cola de los cometas siempre está en dirección contraria al Sol.

La Astronomía griega

Alrededor de cinco siglos antes de nuestra era, en Grecia, Eudoxo supone una Tierra fija alrededor de la cual giran los planetas y el sol en movimientos circulares. Hiparco (190-120 a.C.) compiló el primer catalogo de estrellas y las clasificó de acuerdo con su magnitud aparente.

Aristarco de Samos (310-230 a.C.) fue el primero en proponer que la Tierra y los planetas conocidos giraban alrededor del Sol, esta visión del cielo no fue la que predominó, en cambio el modelo de Aristóteles fue el más aceptado, este modelo conocido como el de Las Esferas Celestes, la Tierra se encontraba inmóvil y el Sol, la Luna y los planetas giraban en torno de ella. Algunos siglos después Ptolomeo agrega la idea de los epiciclos, en ella los planetas se mueven en

círculos sobre un punto fijo de la esfera de cristal, y esta esfera a su vez se mueve en torno de la Tierra, el modelo, aunque complicado, logra predecir el movimiento de los planetas. Este último fue el que predominó por siglos hasta pasada la Edad Media, por lo que esta idea estancó el pensamiento y el desarrollo de la astronomía, ya que la misma fue enseñada como dogma.

Eratóstenes en la biblioteca de Alejandría leyó en uno de los libros que durante el solsticio de verano en Siene, una ciudad al sur de Alejandría, un pozo al medio día reflejaba la luz de sol en su fondo. Para esa misma fecha y hora el Sol en Alejandría no se encontraba en el cenit, la única explicación que encontró Eratóstenes para esto es que la Tierra debía estar curvada y de esta forma algunos de los puntos de la superficie de la Tierra estarían más alejados del Sol que otros.

Con la ayuda de un obelisco, midió el ángulo que formaban los rayos solares con la vertical, conociendo la distancia entre ambas ciudades y sabiendo que en Siena los rayos llegarían paralelos a la superficie, determinó la circunferencia de la Tierra.

Antes de Eratóstenes predominaba la idea de que la Tierra era plana, no es hasta mucho después de los viajes de Colón y la circunnavegación del globo terrestre de la expedición de Magallanes que se acepta ampliamente la idea de la redondez de la Tierra.

Nicolás Copérnico

Después de la caída del Imperio Romano de Occidente, Europa entra en un periodo en donde mucho del pensamiento griego se pierde, y este solo llega a Occidente a través de textos árabes que han traducido a los griegos. Varios siglos después de los pensadores griegos, Copérnico (1473-1543) trata de encontrar un modelo cosmológico menos complicado que el de Ptolomeo, que con artificios matemáticos predecía y describía el movimiento de los planetas sin que el mismo permitiera una comprensión del Universo.

La solución que propone Copérnico es más simple y sencilla, coloca el Sol en el centro del Sistema, de esta manera los planetas más cercanos al Sol orbitan más rápidamente en contraposición a los más

lejanos, cuyo periodo orbital resultan ser mayores. Este modelo hace más simple de explicar el movimiento retrógrado de los planetas, sin embargo, no explica las considerables variaciones de las velocidades angulares de los mismos. Copérnico un diácono católico, no publica sus modelos hasta que ya está en su lecho de muerte por temor a las represalias del clero. La Iglesia sostenía las ideas de Aristóteles ya que siendo la Tierra el lugar en que se encontraba la humanidad, ésta debería ser el centro de la creación, cualquier idea que cuestionara esta postura era herejía y estaba expuesta a la tortura y persecución.

Su libro titulado “De Revolutionibus Orbium Coelestium” (De las revoluciones de las Esferas Celestes) publicado en 1543, inicia toda una revolución del pensamiento, aunque para ser justos tendríamos que recordar que cientos de años antes, el modelo heliocéntrico ya había sido expuesta por Aristarco de Samos, de hecho la cita de este pensador griego desapareció de la edición final, no sabemos si por omisión del impresor o del mismo Copérnico que quisiera para sí todo el crédito. Lo cierto es que esta idea comienza a propagarse por toda Europa rompiendo con los viejos esquemas y produciendo todo un movimiento que se conoció como Revolución Científica en la Época del Renacimiento.

Observaciones de Tycho Brahe

El danés Tycho Brahe (1546-1601) nace en Knudstrup, Escania; hoy perteneciente a Suecia, nace en una familia noble y es enviado a Copenhague a estudiar Derecho y Filosofía para así poder llegar a ocupar cargos propios de su condición, sin embargo, debido a un eclipse de Sol que observa el 21 de agosto de 1560 queda tan impresionado que despierta su interés por los sucesos astronómicos.

En 1563 observó una conjunción entre Saturno y Júpiter y se dio cuenta de que las tablas alfonsinas que eran vigentes en la época, tenían un mes de retraso en sus predicciones y decidió que en su futuro se dedicaría a realizar observaciones precisas para corregir las tablas astronómicas de su tiempo.

En 1572 observa en la constelación de Casiopea una estrella nueva, dándose cuenta que la inmutabilidad de los cielos, como afirmaba Aristóteles, no existía. Brahe comprende la importancia de publicar

sus observaciones y lo hace en un libro que llamó “Nova Stella” que publicó en 1573, acuñó el término de Nova para este tipo de estrella. Como dato curioso, esa publicación no solo contaba con información de carácter científico: explica en su trabajo la aparición de esta nueva estrella, presenta algunos almanaques y los instrumentos que utiliza para hacer sus observaciones y escribe algunos diarios meteorológicos; sino que además, como aún la Astronomía no se había separado del mito y la superstición, Brahe, en la obra antes señalada hizo diarios astrológicos

El Rey Federico II le dio la isla de Hven entre Dinamarca y Suecia para que la gobernara y en la que construyera un observatorio, a esta isla Brahe le llamó posteriormente Uraninburg. Contrató al arquitecto Arthur Koestler para diseñar una ciudad estelar. En esta ciudad hizo varios catálogos de estrellas, detectó los movimientos lunares, determinó la duración de un año solar con una dispersión de un segundo y realizó las observaciones de los planetas con la mayor precisión de la época. Los datos que había recopilado le hacían pensar que el Sistema de Ptolomeo no era adecuado para explicar sus observaciones. Propuso un nuevo sistema en donde Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno giraban en torno al Sol y este a su vez en torno de la Tierra, por este sistema Brahe y Reymers Bear (Ursus) tuvieron una fuerte controversia. Este sistema no era menos complejo que el de Ptolomeo, pero ya era avance para dejar el sistema geocéntrico.

A la muerte de Federico II en 1588, Brahe no duró mucho tiempo en la corte de Dinamarca ya que el nuevo rey, Christian IV, no fue tan tolerante con el excéntrico astrónomo, esto unido a las quejas de los ciudadanos de Hven, hace que el rey poco a poco le recorte los gastos, hasta que Brahe deja la corte de Christian IV y empieza a viajar por Europa y pasa a ser el Matemático Imperial en la corte de Rodolfo II, rey de Hungría y Emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, por lo que se traslada a Praga, sin embargo, nunca volverá a contar con las enormes sumas de dinero que disponía en la corte del rey Federico II.

Johanes Kepler

Nace en 1571 dentro de una familia Luterana en la ciudad de Weilder-Stadt en Alemania. A los cinco años entra en la Escuela Latina

de Leonberg, sus padres cultivan en el joven Johannes el interés por la Astronomía ya que su madre le muestra el cometa de 1577 y lo conduce a un lugar alto para contemplarlo y su padre lo lleva a observar un eclipse de Luna en 1580, a la edad de nueve años.

Kepler entra en 1589 en la Universidad de Tubinga, en donde estudia entre otras materias Física y Astronomía, así como ética, dialéctica, retórica, griego y hebreo, luego teología y ciencias humanas. Obtiene una maestría en 1591. En esta universidad conoce el Sistema Copernicano por intermedio de su profesor de matemáticas el astrónomo Michael Maestlin quien solo enseña este modelo a sus mejores estudiantes, el resto tomaba por cierto el sistema geocéntrico.

Kepler tenía planeado ser ministro luterano, pero para esos momentos la escuela protestante de Graz solicita un profesor de matemáticas y él solicita el puesto, que más tarde consigue, por lo que en 1594 deja sus estudios de teología para tomar el cargo. Durante su estancia en esta escuela, Kepler publica algunos almanaques con predicciones astrológicas, aún no se distinguía la separación entre la ciencia y la creencia, suponían que el movimiento de los astros estaba gobernado por leyes divinas.

Kepler sostenía que las orbitas de los planetas debía cumplir con las leyes pitagóricas de la armonía. Pensaba que el número de los planetas conocidos estaba fuertemente relacionado con el número de los poliedros perfectos (habían cinco planetas conocidos en esa época y solamente existen cinco poliedros perfectos). Intentó entonces demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, contenidos unos dentro de otros. En 1596 escribió sus ideas en "*Mysterium Cosmographicum*" y envió una copia de tanto Brahe como a Ursus, solo el primero contestó al ver el valor del joven astrónomo. Para 1600 Brahe ya había invitado a Kepler a trabajar con él, en Praga, a donde Kepler se dirigió.

La relación entre Kepler y Brahe desde un principio fue fuertemente regida por la desconfianza mutua, Brahe tenía el temor que este joven astrónomo pudiera utilizar los datos de toda su vida para crear su

nuevo sistema planetario y no darle crédito alguno. Esto duró unos dieciocho meses, en el que Kepler vio el estilo de vida de Brahe que distaba en mucho con su forma austera de vivir. Brahe era amante del los placeres y de las fiestas, algo que reñía en mucho con la personalidad de Kepler, y esto solo por mencionar algunas de sus diferencias.

En 1602, Brahe muere y entonces Kepler, es nombrado matemático imperial de Rodolfo II y llega a tener en sus manos los datos de Brahe, que utilizará para encontrar las orbitas de los planetas. Para Kepler el sistema planetario tenía que ser una manifestación de la perfección divina, por lo que no era fácil renunciar a la idea de las Armonías de las Esferas Celestes sustentadas en su libro. Pero después de trabajar con los datos de Brahe se dio cuenta que los planetas no podrían seguir órbitas perfectamente circulares, esto era mayormente evidente en la órbita retrógrada de Marte.

A pesar de que fue especialmente difícil para Kepler renunciar a sus ideas, pudo ser capaz de ver lo que los datos le estaban indicando y publicó en 1609 su obra "*Astronomía Nova*". En esta obra enuncia sus dos primeras Leyes:

1. Todos los planetas se desplazan alrededor del Sol describiendo orbitas elípticas teniendo al Sol en Uno de sus focos.
2. Los planetas en su recorrido alrededor del Sol barren áreas iguales en tiempos iguales. En 1618 Kepler descubre la tercera Ley que lleva su nombre:
3. Para cualquier planeta, el cuadrado de su periodo orbital, es proporcional al cubo de su radio.

Estas leyes poco a poco abren las puertas para una mejor comprensión del Universo en que vivimos, Kepler no podía entender por qué estás leyes describían el Sistema Planetario, fue necesario que años posteriores el mismo pudiera ser explicado con la Teoría de Gravitación de Newton.

Galileo Galilei el Mensajero Sideral

Galileo nació en Pisa en 1564, su padre Vincenzo Galilei era matemático y músico de quien recibió sus primeras enseñanzas hasta

la edad de diez años. En 1581, ingresa a la Universidad de Pisa donde tomará cursos de Medicina, Filosofía y Matemáticas. En 1582, a través de un amigo, Ostilio Ricci, le toma gusto a las matemáticas y a unir la teoría con la práctica experimental. Galileo desde entonces ya manifestaba su rechazo a los dogmas establecidos que existían, era un firme partidario de buscar el conocimiento mediante la experiencia como criterio de verdad. Por lo anterior critica duramente a los profesores de la época, lo que le vale numerosos enemigos. En 1585, deja la Universidad de Pisa, sin licenciarse pero con fuerte formación científica.

En 1581, es nombrado como catedrático de matemáticas de la Universidad de Pisa, con un sueldo extremadamente bajo. En 1592, las autoridades venecianas, que regentaban la Universidad de Padua, lo eligen como catedrático de matemáticas de dicha universidad, en donde su estancia se prolonga hasta 1610, este es el periodo más creativo y prolifero de su vida. Al pertenecer a la ya antes mencionada universidad de la poderosa República de Venecia, Galileo pudo trabajar con absoluta Libertad ya que la Inquisición no ejercía casi ningún poder sobre esta república.

En 1609, estando en Venecia, Galileo recibe noticias de la invención del dispositivo que permitía ver objetos lejanos, de inmediato se da cuenta del potencial de dicho instrumento, comprende cómo funciona y se percata que puede mejorarlo, por lo que piensa que puede lograr varios beneficios. Poco tiempo después, a fuerza de ensayo y error, diseña un aparato con aumento de seis veces y con una imagen derecha, esto es el doble del ya existente. Poco tiempo después, presenta ante el Senado de Venecia una demostración con un telescopio que poseía un aumento de al menos ocho veces. Galileo ofrece su instrumento y sede sus derechos a la República de Venecia, con esto es confirmado de por vida en su puesto en la Universidad de Padua, con un sueldo dos veces superior al que tenía, ya que los venecianos estaban muy interesados por las aplicaciones militares que tendría este instrumento.

En 1609, Galileo dirige su mirada al firmamento con un instrumento de al menos unos veinte aumentos y observa la Luna y en ella pudo contemplar sus cráteres, montañas y valles, contrario a lo que afir-

maba Aristóteles, los cuerpos celestes no eran perfectos y su naturaleza no era necesaria distinta de los objetos terrestre. Este acontecimiento dio origen a la Astronomía Moderna, fue como se en ese momento se quitara un velo de los ojos de la humanidad.

Posteriormente estudió la Vía Láctea y se dio cuenta que estaba constituida por un número incontable de estrellas y al ver la constelación de Orión, pudo ver muchas más estrellas de las que se ven a simple vista.

Galileo observó a Júpiter y observó sus satélites, registró sus movimientos a lo largo de varios días y se percató que estos cuerpos orbitaban alrededor del planeta, pensó entonces que este hecho constituía una prueba de que la Tierra no podría ser el centro del Sistema Planetario, ya para entonces Galileo apoyaba firmemente el sistema Heliocéntrico de Copérnico.

Galileo comprende la necesidad de publicar sus observaciones y lo hace en su obra titulada “*Sidereus Nuncios*” publicada en 1610. En aquella época se corría un gran riesgo al publicar ideas contrarias a las existentes aún más si se hacía en lengua vernácula, en lugar de latín, de forma tal que el hombre común pudiera entenderla; Galileo publicó en Italiano lo que le valió el estar en la mira de la Iglesia. En este mismo año observa las fases de Venus, lo que constituye la prueba de que este planeta orbita alrededor del Sol.

La Iglesia comienza una controversia contra la obra de Copérnico, Galileo, viendo que la prohibición de dicho trabajo podría poner en peligro sus propios trabajos, acude a Roma para defender las ideas de Copérnico, sin éxito ya que la obra de Copérnico es prohibida en 1616.

En 1630, presenta a la censura su “*Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo*”. Este hecho lo pone en colisión directa con la Iglesia que considera esta obra contraria al dogma, la Inquisición la prohíbe y le obliga abjurar sobre sus ideas a lo que Galileo, ante el temor de ser condenado y quemado en la hoguera, acepta; la Ciencia no exige mártires para dar a conocer la verdad.

Si bien es cierto, hoy algunos le atribuyen a Thomas Harriot ser el primero en observar los cielos por primera vez, Galileo fue el primero en hacer pública sus observaciones en un momento en que se podía ser perseguido por tener ideas contrarias a las establecidas. La deuda de la humanidad con Galileo es vasta ya que no solo es padre de la Astronomía, es padre del Método Experimental y considerado como uno de los padres de la Física, sus trabajos posibilitaron el desarrollo de la Ciencia.

Bibliografía

1. <http://www.arakis.es/~nautylus/brahe.htm>
2. http://es.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler
3. Bakulin P.L et. Al, Curso de Astronomía General, Editorial Mir, Moscú. 1983.
4. Moreno J.E., Revista Cultural Lotería, N° 458, Panamá, 2005.

©Lotería Nacional de Beneficencia de Panamá

**Se permite la reproducción del presente material y se agradece
consignar como fuente la REVISTA CULTURAL LOTERÍA.**

Diagramado e impreso en Editora Sibauste, S.A.

