SI MUOVE

NÚMERO 3 - OTOÑO / INVIERNO 2012

Revista de divulgación científica del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei"

CITROËN

SI MUOVE

Revista de divulgación científica del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei"

NÚMERO 3 - OTOÑO/INVIERNO 2012

STAFF

Editora Responsable / Directora
LIC. LUCÍA CRISTINA SENDÓN

Director Periodístico
DIEGO LUIS HERNÁNDEZ

Director de Arte / Diseño Gráfico
ALFREDO MAESTRONI

Secretario de la redacción
MARIANO RIBAS

Redactores de esta edición
JUAN CARLOS FORTE - SANDRA COSTA
MARCELA LEPERA - ROBERTO ARES
MAGDALENA RUIZ ALEJOS
WALTER GERMANÁ - GRACIELA CACACE
MATILDE IANNUZZI

Colaboradores
Natalia Jaoand, Sergio Eguivar, Daniel Verschatse, Carlos Di Nallo, Alejandro Antognoni, Marcelo Tomasello

Agradecimientos
Luis Fernando Fortich (Escuela Argentina de Naturalistas), Dr. Rubén Vázquez (IALP-UNLP), Kate Dumbar (Univ. de Georgia, EE.UU.), Marta Icely, Rafael Girola.

Administración
GRACIELA VÁZQUEZ - MARCELA BARBIERI

Página web / Correo electrónico
www.planetario.gob.ar
revistaplanetario@buenosaires.gob.ar

Impresión
GRÁFICA IMAGINARIA S.A.
Tel. 4555-4040 - www.presspoint.com.ar

Reservados todos los derechos. Está permitida la reproducción, distribución, comunicación pública y utilización, total o parcial, de los contenidos de esta revista, en cualquier forma o modalidad, con la condición de mencionar la fuente. Está prohibida toda reproducción, y/o puesta a disposición como resúmenes, reseñas o revistas de prensa con fines comerciales, directa o indirectamente lucrativos. Registro de la Propiedad Intelectual en trámite. Tirada de esta edición: 3.000 ejemplares.

Buenos Aires Ciudad

Ministerio de Cultura

Jefe de Gobierno - Ing. Mauricio Macri
Ministro de Cultura - Ing. Hernán Lombardi
Subsecretario de Gestión Cultural - Lic. Alejandro Gómez
Directora del Planetario - Lic. Lucía C. Sendón

EDITORIAL

Bienvenidos a esta nueva edición de nuestra revista *SI MUOVE*, en el 45° Aniversario de nuestro querido Planetario. Este tercer número se hizo esperar, pues los primeros meses del año estuvieron cargados de actividades preparatorias de lo que vendría después, con el comienzo de las funciones para público y estudiantes –que tanta expectativa habían despertado–, como también con nuestras otras actividades, como los cursos, las conferencias a cargo de especialistas, las exposiciones, las observaciones por telescopios, el planetario itinerante, la redacción de la Revista, los conciertos bajo las estrellas y la participación en el festival de cine independiente BAFICI, en el que se presentaron, por primera vez, películas proyectadas a cúpula completa.

El nuevo sistema de proyección nos entusiasma y nos lleva a cambiar la forma de producción de funciones, y es nuestro gran desafío el continuar con la realización de nuestros propios espectáculos, como lo hemos hecho en estos 45 años de funcionamiento.

Es necesario mencionar que estamos trabajando, desde hace más de un año, en un proyecto de remodelación del Museo del primer piso y en la creación de un nuevo espacio de encuentro que hemos denominado "Placita astronómica", ubicada en el acceso al edificio, que servirá para hacer visitas guiadas mediante la utilización de las nuevas esculturas astronómicas: el globo terráqueo paralelo y la representación del Huso Horario local con el Ecuador terrestre y el eje de rotación de la Tierra apuntando al Polo Sur Celeste.

En este número, entre otros artículos, tenemos el gusto de presentar "Cinco pasos hacia el Big Bang" escrito por el Dr. Juan Carlos Forte, investigador del CONICET que está realizando un trabajo de investigación en el Planetario.

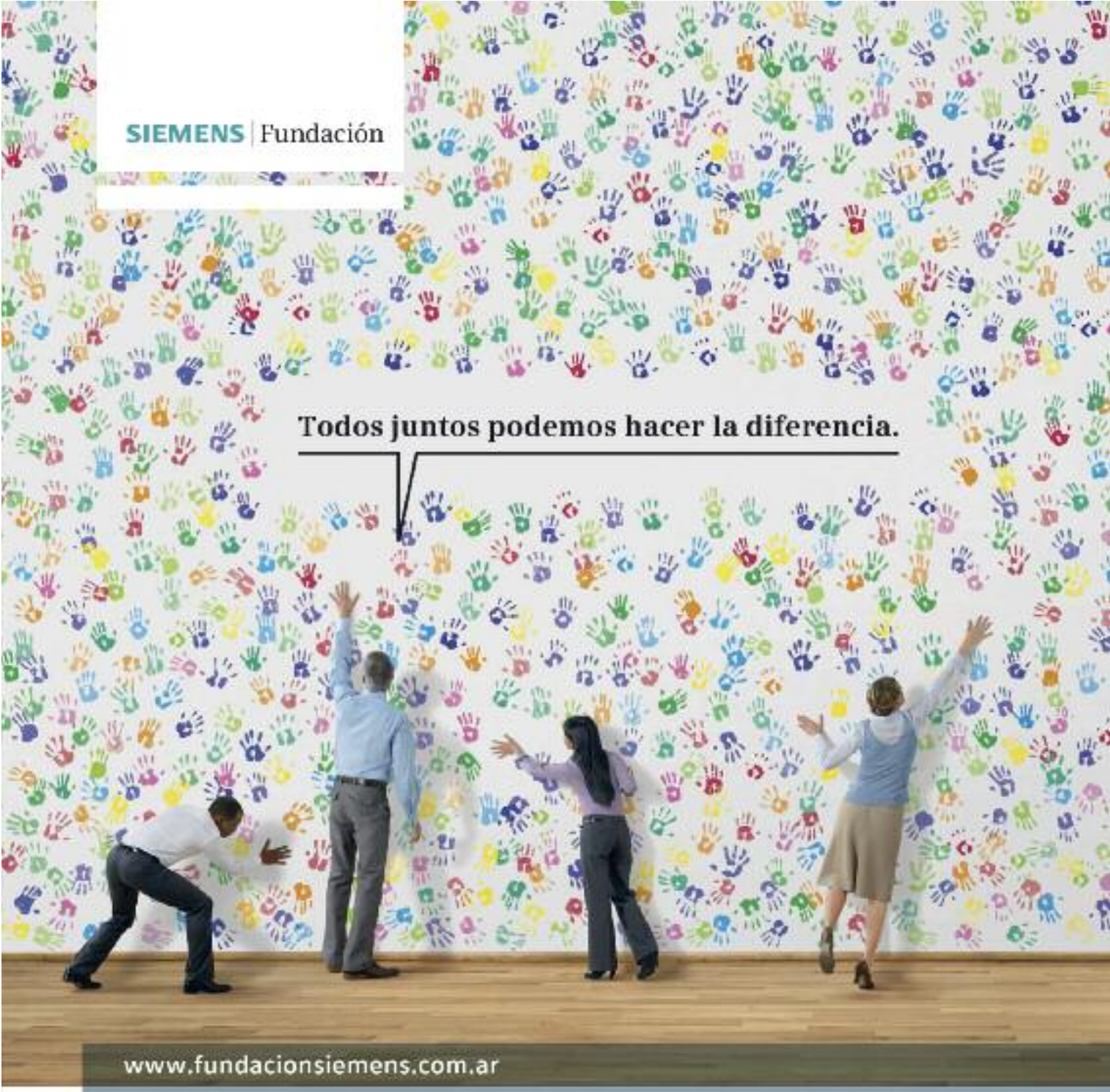
Son muchos los proyectos y las actividades programadas para este año y esperamos que las expectativas que se han despertado sean satisfechas.

Lic. Lucía Cristina Sendón
Directora Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei"

Foto de tapa: Sergio Eguivar. Nebulosa Roseta y Cúmulo estelar Abierto NGC 2244. Telescopio utilizado: Orión ED 80 en montura Vixen GPDX y Sky Sensor 2000. Cámara: Starlight Xpress SXVM7 @ f7.5. Filtros: Astronomik Hα. Exposiciones: 5 tomas de 5 minutos cada una. Procesado: Calibrado (darks, flats y offsets) en Images Plus. Falso color y procesado en Photoshop.

SUMARIO

05 /// La trampa lunar. **6-8** /// Un viaje al nuevo Planetario. **9-13** /// Los últimos días del Sol. **15-16** /// Ciencia y juego. **17-20** /// Cinco pasos hacia el *Big Bang*. **21-27** /// Cúmulos estelares: Lazos de familia. **28** /// Cometa Lovejoy. **29-31** /// Las Pléyades y las lluvias. **32** /// Homenaje a Ana Diego. **33-36** /// El Universo en una galaxia. **37-40** /// Galería astronómica. **41-46** /// Geología: Trabajo de retazos.



www.fundacionsiemens.com.ar

Fundación Siemens reafirma su compromiso social.

Corporate Sustainability.

La Fundación Siemens Argentina promueve el desarrollo humano integral y la mejora de la calidad de vida, haciendo especial hincapié en la formación de las nuevas generaciones a través de sus programas **Educación & Movilidad social, Servicios básicos & Estructuras sociales / "Encourage", Identidades culturales & Arte y Medio ambiente;** así como mediante el apoyo activo al planetario Galileo Galilei de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires en su fase de renovación tecnológica.

LOS INSECTOS Y SU ATRACCIÓN A LA LUZ

La trampa lunar

Por Diego Luis Hernández, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

En algunas ocasiones, sobre todo si la noche está "pesada" y con alta humedad relativa, podemos ver cómo grandes cantidades de insectos se agrupan en torno a las luces artificiales, lámparas, linternas y hasta fogatas o velas. La mayoría de ellos son escarabajos y mariposas. Si además estamos de campamento e intentamos cocinar, es muy probable que entre los fideos se filtre algún bichito rico en proteínas.

Nadie sabe exactamente por qué sucede, pero según la opinión de un científico argentino, basada en su experiencia, observación e investigación, el asunto podría tener un sustento astronómico. Esos insectos confundirían las luces artificiales con el reflejo de la Luna en el agua o en el rocío del pasto, y los escarabajos y las mariposas que viven allí caerían en una trampa.

El Dr. Axel Bachmann es entomólogo (especialista en insectos acuáticos) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, ex Jefe del Departamento de Entomología del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia e investigador del CONICET. Bachmann entiende que "*aquellos insectos que son ávidos de agua acudirían a la luz artificial al equiparar ese estímulo visual con el reflejo de la Luna y las estrellas en gotas o cuerpos de agua*".

Sin embargo, algunos de sus colegas plantean una objeción: por qué no acuden a las luces otros insectos acuáticos y sí lo hacen algunos que no parecen demandar tanta agua. Para estas objeciones, Bachmann tiene dos respuestas. Hay algunos grupos de insectos acuáticos, como los escarabajos de la familia *Gyrinidae* y las chinches de la familia *Naucoridae*, que no vuelan a las trampas de luz. Se trataría de insectos que tienen una percepción visual más aguda y precisa, lo que les permite diferenciar claramente que la luz artificial no es un reflejo en el agua. Otro grupo estaría formado por insectos que acuden con frecuencia a trampas de luz, pero que no se muestran ávidos de agua. En este caso, serían insectos predadores que no son atraídos precisamente por la fuente de luz, sino por la concentración de "olor a bicho" que surge de la convocatoria de los insectos en las lámparas, para cazar allí sus presas. ■

MODERNIZACIÓN

Un viaje al nuevo Planetario

Por Lucía Sendón, Directora del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

Este tercer número de ***Si Muove*** nos encuentra en plena actividad, luego de un año de permanecer cerrados al público debido a las importantes tareas de remodelación realizadas por el Ministerio de Cultura del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. Era mucha la ansiedad por volver a ver la Sala de Espectáculos funcionando a pleno, y también por conocer cómo serían las nuevas proyecciones. Y el momento llegó: el nuevo Planetario retomó su actividad y el resultado de este cambio tecnológico superó las expectativas de todos. La proyección *full dome* sorprende y ofrece incontables posibilidades. El cielo es de muy buena calidad porque contamos con un nuevo tipo de proyector planetario individual, que reemplazó al *Zeiss* y que puede funcionar en forma conjunta con el proyector de video inmersivo. Esta tecnología nos brinda la posibilidad de ofrecer nuevos espectáculos que conservan la esencia del Planetario, como es la observación nocturna de los astros, a lo que se le suma la alternativa de viajar hasta los confines del Universo.

El Planetario reabrió sus puertas en 2012 con un **nuevo proyector de estrellas**, un sistema de **video inmersivo *full dome***, **sonido *Dolby 5.1***, una **renovada cúpula interna**, **iluminación de ambiente con tecnología *LED*** y **260 butacas *4D*** que cuentan con un sistema de **participación interactiva**. Estos avances en materia tecnológica se suman a la ya presentada renovación de sus luminarias externas, que convierten nuevamente al Planetario en una institución de vanguardia en América Latina y en el mundo.

Nuevos equipos de proyección

Planetario óptico: el modelo *Megastar II A*, instalado en la Sala de Espectáculos, muestra estrellas de hasta 11° magnitud, un millón más que los planetarios convencionales, una verdadera revolución en proyecciones del cielo. La Vía Láctea puede apreciarse con un realismo nunca antes logrado. Muestra más de 140 cúmulos y nebulosas, y es el primero en el mundo en adoptar lámparas *LED* para proyectar en grandes cúpulas. El instrumento de 32 lentes garantiza la máxima calidad de proyección.

Video inmersivo: *Sky Skan Definiti Projection Systems* es un novedoso sistema de video full dome, que cubre la cúpula semiesférica completa, integrado por:

• *DigitalSky 2*: es un *software* amigable con un poderoso panel de navegación para recorrer el Universo. Sus funciones multimedia permiten trabajar sobre textos, imágenes, sonido y video.

• Ocho potentes computadoras gráficas de alta performance que procesan la información para traducirla en audio y video.

• Seis proyectores de tecnología *DLP*: son responsables de proyectar al domo de 20 metros de diámetro entornos virtuales de realismo sorprendente, con una resolución de 3K y 14.000 lumens.

El nuevo Planetario óptico modelo *Megastar II A*, instalado en la Sala de Espectáculos, muestra estrellas de hasta 11° magnitud, un millón más que los planetarios convencionales, una verdadera revolución en proyecciones del cielo.

Hasta el momento, podíamos disfrutar en la Sala del Planetario del cielo estrellado observable desde cualquier lugar de la Tierra en una época pasada, presente o futura. El nuevo sistema nos permite realizar un cambio de perspectiva: la proyección inmersiva nos traslada a cualquier lugar del Cosmos y a nuevos e impresionantes aspectos de los planetas, las estrellas, las galaxias y los cúmulos galácticos. Entre las múltiples funciones del nuevo sistema podríamos destacar:

• Posicionamiento en fecha y lugar de observación con la ubicación precisa del Sol, la Luna con sus fases y millones de estrellas simultáneamente.

• Simulación de efectos atmosféricos (refracción, centelleo de las estrellas); proyección de constelaciones, marcas auxiliares de orientación y de elementos astronómicos (eclíptica, ecuador celeste, meridianos, círculos verticales, almicantaradas, coordenadas acimutales y ecuatoriales, etc.). Órbitas de los planetas y trazos de sus movimientos aparentes en el cielo.

• Generación de entornos virtuales de gran realismo.

• Simulación de eclipses, tránsitos, lluvias meteóricas, viajes y sobrevuelos de objetos de cielo profundo, como nebulosas, cúmulos de estrellas, galaxias, etc. El resultado es la creación de un único entorno inmersivo con definición, color, movimiento y gran realismo.

Viaje a las Estrellas

El primer espectáculo de esta nueva etapa se titula *Viaje a las Estrellas*, y es el mismo que se está ofreciendo en el Planetario Hayden de Nueva York. Fue desarrollado por los astrofísicos del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, en colaboración con la Academia de Ciencias de California; GOTO INC, de Tokio; Papalote Museo del Niño, Ciudad de México; el Museo Nacional del Aire y del Espacio, de Washington DC; la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y más de 40 destacados científicos de distintos países.

Viaje a las Estrellas es una apasionante y absorbente experiencia, narrada originalmente por la actriz Whoopi Goldberg. Nuestra versión local está a cargo del periodista científico Guillermo Lobo. Con extraordinarias imágenes, sus simulaciones trasladan al visitante a través del espacio y el tiempo para experimentar la vida y la muerte de las estrellas, incluyendo nuestro Sol. Los acercamientos a formaciones estelares hasta los confines del Universo forman parte de esta travesía.

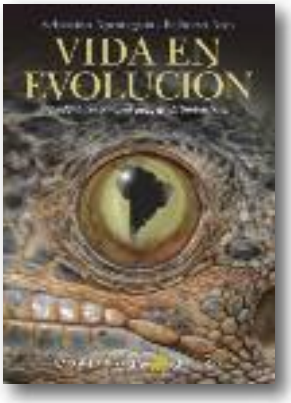
El espectáculo está dirigido por Carter Emmart, director de Astrovisualización y miembro original del equipo que ha participado en todos los espectáculos del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York. Su asesor científico es el astrofísico Mordecai-Mark Mac Low, profesor de Astronomía en la Universidad de Columbia (EE.UU.), ex integrante del Instituto Max Planck de Astronomía en Heidelberg, Alemania. Ocupó cargos postdoctorales en la Universidad de Chicago y en la *NASA Ames Research Center*.

Si bien las características de proyección son similares a las del *Hayden Planetarium*, el

equipo técnico del Planetario de Buenos Aires, a cargo de Claudio Creta, responsable de la Producción Audiovisual de espectáculos, debió realizar una adaptación a nuestros equipos. Es de destacar la labor de nuestros técnicos que, combinando talento, dedicación y experiencia, han podido afrontar el salto tecnológico y estar en condiciones de realizar nuestros propios espectáculos.
Dado que es fundamental para esta Dirección conservar la esencia de nuestro Planetario, se le incorporó la tradicional presentación en vivo del cielo de Buenos Aires, con sus constelaciones y estrellas destacadas. Quienes realicen el viaje a las estrellas nunca podrán ver el cielo nocturno en la misma forma otra vez. Este nuevo Planetario nos posiciona a nivel internacional entre los más modernos y mejores del mundo, como también nos compromete aún más y nos obliga a la especialización permanente, para jerarquizar nuestra labor y optimizar la calidad de las actividades que ofrecemos a nuestros visitantes. ■

260 butacas 4D que cuentan con un sistema de participación interactiva.

LIBROS



Vida en Evolución. La Historia Natural vista desde Sudamérica

Sebastián Apesteguía y Roberto Ares, editado por Vázquez Mazzini.

Una visión sudamericana de los sucesos que han ocurrido a nivel global. Sudamérica no siempre fue el sur de América y no siempre tuvo esta forma. Sus rocas guardan recuerdos de muchas peripecias. La geología y la paleontología son las herramientas de las que disponemos para interpretar esos recuerdos. Pero se requiere de todas las ramas de la biología para comprender cómo funcionan las cosas, y de la etología para comparar la conducta de los animales actuales con los datos muy fragmentados de los seres del pasado. Las últimas teorías sobre la evolución biológica y geológica, y la descripción de las trasformaciones evolutivas del planeta, con un lenguaje interpretable por el público no experto.

Exótico Cielo Profundo

Rodolfo Ferraiuolo y Enzo De Bernardini

Dedicado a la observación visual de objetos de cielo profundo, los más destacados de 17 áreas, con su impresión visual, características astrofísicas y aspectos históricos. Más de 200 objetos al alcance de diferentes instrumentos, con imágenes testigo que ilustran y facilitan la identificación de los objetos. En cada capítulo se incluye una tabla de datos y un mapa de búsqueda que señala la ubicación de cada objeto estudiado. Rodolfo y Enzo son dos experimentados observadores del cielo, que llevan en la sangre la pasión por esta ciencia.

EVOLUCIÓN ESTELAR

Los últimos días del Sol

Por Mariano Ribas, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

Fue la luz, el calor y el alivio que rescató de la noche oscura y amenazante a nuestros ancestros más lejanos. Fue adorado por todas las culturas en todos los rincones de la Tierra. Fue la brújula diurna que orientó largas marchas por tierra y osadas travesías por el mar, y el reloj natural que marcó el ritmo de los días y las estaciones. Pero por sobre todas las cosas, fue y es el motor y el sostén de la vida sobre la Tierra. Como si fuera un dios, el Sol parece inmortal, todopoderoso e invencible; enorme, ardiente y cegador. No lo vimos "nacer", ni tampoco lo veremos "morir". Y sin embargo, alguna vez nació y alguna vez, inexorablemente, también morirá.

Dentro de miles de millones de años, esa formidable "máquina" que sostiene a todo un fabuloso sistema de mundos girando a su alrededor, entrará en crisis. Finalmente, tras largos esfuerzos por seguir adelante, sus "fuegos sagrados" se rendirán ante sus propias leyes. Como toda estrella, tarde o temprano, el Sol se apagará para siempre. Y entonces, también terminará la larga historia de la Tierra y del Sistema Solar.

A continuación, vamos a acercarnos a los poderosos mecanismos que sostienen y hacen funcionar a nuestra estrella, y luego, viajaremos miles de millones de años hacia el futuro, para llegar a su inevitable destino final.

ESO: Observatorio Europeo Austral

Representación artística de cómo se vería el Sol desde la Tierra dentro de 5000 ó 6000 millones de años.

Máquina gravitatoria

Al igual que las demás estrellas, el Sol se formó dentro de una nube molecular[1], una región especialmente densa y fría de una nebulosa (una enorme nube de gas –hidrógeno y helio, principalmente– y polvo interestelar); una entre tantísimas otras de nuestra galaxia, la Vía Láctea. Fue hace unos 4600 millones de años.

Al principio, el Sol era tan sólo una "protoestrella", una masa gaseosa giratoria y en continua contracción gravitatoria. En cierto momento, la presión y las temperaturas en sus zonas centrales fueron tan altas, que los núcleos de hidrógeno (protones) comenzaron a chocar violentamente, se fusionaron y formaron helio. Es un proceso liberador de enormes cantidades de energía. **El Sol se había encendido.**

Desde entonces, nuestra estrella no ha hecho otra cosa que consumir su propio hidrógeno central para funcionar. Se calcula que, cada segundo, el Sol convierte unos 700 millones de toneladas de hidrógeno en helio. Durante la transformación, una pequeña parte de esa masa se convierte en energía: la luz y el calor que el Sol emite, a ritmo furioso y sostenido, desde su nacimiento.

Ese mecanismo es crucial para su propia supervivencia: las reacciones termonucleares que se producen en su corazón, a unos 15 millones de grados, sostienen al Sol y evitan su colapso. Se trata de un precioso empate de fuerzas: la presión de los gases y la radiación que emite el núcleo contrarresta la acción de la gravedad. No es casualidad. No es un milagro. Sin ese empate físico, no hay estrella posible, y mientras continúe, el Sol seguirá funcionando como una monumental máquina gravitatoria. Pero ese empate no puede durar para siempre.

Crisis solar

Paradójicamente, los mismos mecanismos termonucleares que hacen funcionar a la maquinaria solar son (y serán) los responsables de su lenta y fatal metamorfosis. Desde su nacimiento, nuestra estrella ha ido consumiendo su combustible central, creando helio. Lógicamente, sus reservas no son infinitas: los astrónomos estiman que el Sol ya habría gastado casi la mitad de sus reservas de hidrógeno de su núcleo. Al mismo tiempo, ha ido acumulando más y más helio en su corazón. Pero en principio, ese helio central (que se ha ido acumulando a lo largo de miles de millones de años) es inerte, no fusionable. Por lo tanto, para seguir adelante, el Sol se ha ido auto ajustando, contrayendo y calentando progresivamente su núcleo. Como resultado, las fusiones termonucleares se han ido acelerando. De hecho, los científicos calculan que actualmente nuestra estrella es un 30% más luminosa que en su primera infancia. Lejos de detenerse, la tendencia continuará.

Historia de las estrellas

A esta altura uno podría preguntarse cómo es posible trazar la biografía del Sol. Por un lado, existen modelos teóricos físico-químicos que describen su comportamiento a lo largo del tiempo. Además, hoy en día existen computadoras que, mediante programas especiales, pueden crear y hacer funcionar estrellas virtuales. Por último, y no menos importante, hay una gran ayuda de la naturaleza: el cielo mismo nos cuenta la historia de las estrellas. Con los telescopios podemos ver muchas nebulosas que en su interior esconden zonas especialmente frías y densas, llamadas nubes moleculares. Son las "fábricas" de estrellas de la galaxia, y podemos verlas allí metidas, en sus cunas de gas, formándose y dando sus primeras luces (como ocurre en la famosa Nebulosa de Orión, por ejemplo). Además, podemos ver estrellas jóvenes, que todavía se están quitando de encima sus velos gaseosos, o estrellas en plena gestación de sus sistemas planetarios (como *Beta Pictoris*). Pero también podemos ver estrellas maduras, como la nuestra, o como Sirio o *Epsilon Eridani*; estrellas viejas, en lenta

> **Nebulosas, estrellas en formación; estrellas jóvenes maduras y ancianas; y los restos de las que ya se han apagado. La "vida" de las estrellas está escrita en el cielo.**

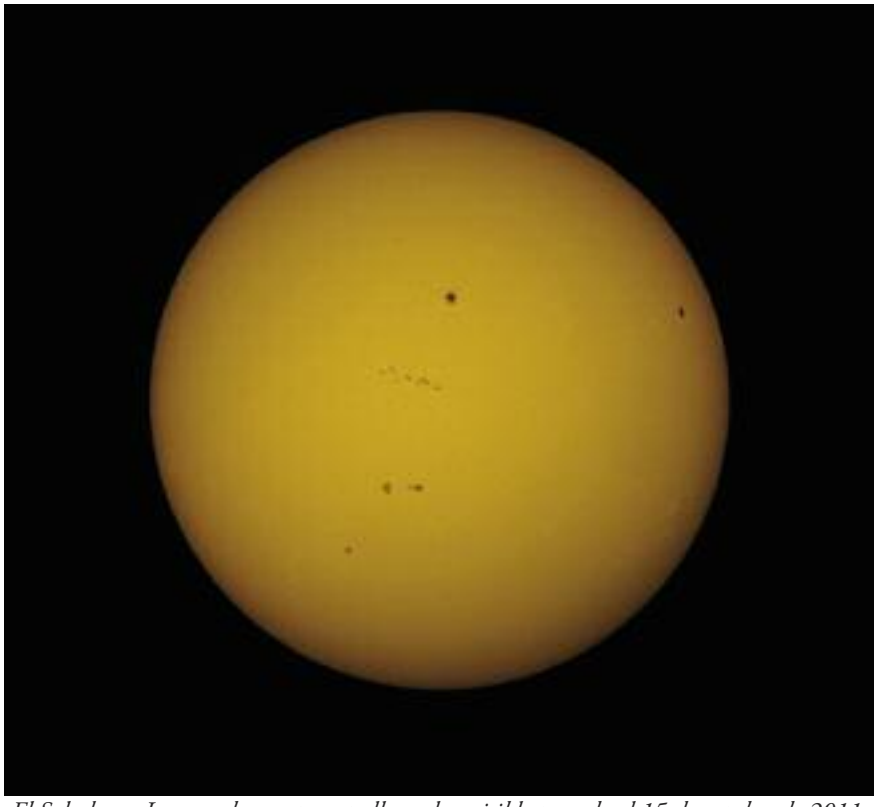


Foto: Mariano Ribas

El Sol ahora. Imagen de nuestra estrella en luz visible tomada el 15 de octubre de 2011, con un telescopio y filtro amarillo. Se aprecian varios grupos de manchas solares.

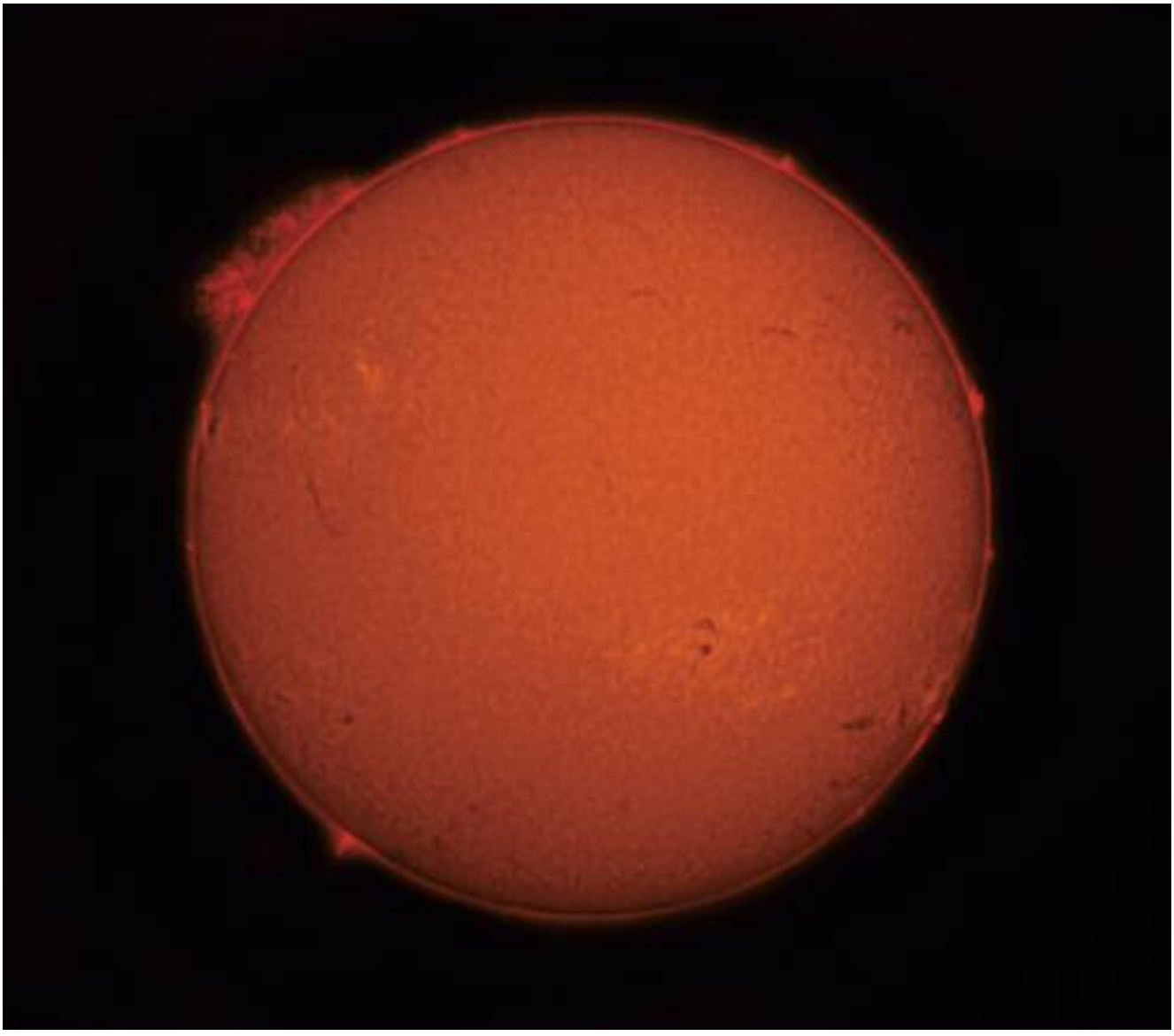


Foto: Mariano Ribas

Foto del Sol tomada el 5 de mayo de 2012 con un telescopio H-Alpha de 60 mm. Se observa una enorme protuberancia de aproximadamente 300 mil kilómetros de largo, algunos filamentos y detalles del disco solar.

agonía; e incluso, estrellas ya extintas, con sus pesados y compactos núcleos (llamados Enanas Blancas) expuestos al medio interestelar y rodeados por una bruma de gases en expansión (llamadas Nebulosas Planetarias[2]). Alguna vez, esos gases fueron las capas medias y externas de viejos soles de antaño. Nebulosas, estrellas en formación, jóvenes, maduras, ancianas y los restos de las que ya se han apagado: la "vida" de las estrellas está escrita en el cielo.

Más grande, caliente y brillante

Gracias a la teoría y a la observación, el futuro del Sol parece estar bastante claro para la Astronomía moderna. Poco a poco, durante los próximos cientos de millones de años, el ritmo de fusión del hidrógeno en helio irá aumentando, de la mano de presiones y temperaturas cada vez más altas en el interior de nuestra estrella. La zona de fusión se irá corriendo lentamente hacia zonas periféricas al núcleo, hoy mayormente inactivas.

Pero la verdad es que los grandes cambios se harán esperar mucho, mucho tiempo: recién dentro de unos 1000 millones de años, el Sol será un 10% más brillante que hoy; y también, un poco más caliente. Su temperatura superficial pasará de los actuales 5600°C a unos 5800°C. En forma paralela, el aceleramiento de las reacciones termonucleares (y su consecuente aumento en la liberación de energía), también llevará a un progresivo aumento en el tamaño del Sol. Lento, pero imparable.

Con el correr del tiempo, la todopoderosa estrella seguirá apostando cada vez más fuerte: se hará más grande, más caliente y más luminosa. Pasará de la madurez a la vejez. Claro que en términos solares ese pasaje no llevará las muy humanas décadas, sino miles de millones de años. Según el astrónomo Gregory Laughlin (autor del maravilloso libro *"Las Cinco Edades del Universo: una mirada a la física de la Eternidad"*), dentro de unos 7000 millones de años (es decir, cuando esté ya acercándose a sus 12.000 millones de años de vida), el Sol tendrá casi el triple de su brillo actual y más del doble de su tamaño. Por entonces, se

Foto: Sergio Eguivar

Nebulosa Planetaria Helix (NGC 7293). Son los restos gaseosos en expansión de una estrella que alguna vez se pareció a nuestro Sol. En el centro, su núcleo desnudo, llamado Enana Blanca.

habrá convertido en un globo de gas de más de 3 millones de kilómetros de diámetro, y sus planetas más cercanos serán verdaderos infiernos; mundos arrasados, con superficies de pura roca pelada y ardiente, y carentes de toda atmósfera.

Gigante Roja

El Sol seguirá su marcha alocada. Cada vez más grande, caliente y brillante, su acelerado núcleo latirá con más furia y quemará más y más hidrógeno. Cuando haya alcanzado los 12.000 millones de años, la que alguna vez fue una estrella normal, ya se habrá convertido en una grotesca versión de sí misma: una Gigante Roja, un descomunal globo gaseoso de unos 150 millones de kilómetros de diámetro. Tan grande, que el pobre Mercurio será atropellado y convertido en pura ceniza planetaria.

La hinchazón del Sol como Gigante Roja marcará el inicio de la última y más catastrófica etapa de su vida: ya sin reservas de hidrógeno en su núcleo, todo será helio. Al principio, y sin mayor resistencia, la gravedad ganará la pulseada contra la radiación central, y obligará al colapso de la estrella. El Sol retrocederá, se achicará momentáneamente. Pero esa contracción elevará inevitablemente la presión y la temperatura de su corazón. Entonces, al alcanzar unos 100 millones de grados, aquel helio inerte se verá obligado a fusionarse y se convertirá en carbono y oxígeno. La maquinaria estelar se reavivará con más furia aún, el Sol volverá a hincharse e iniciará su segunda (y final) etapa de Gigante Roja, en medio de violentos, breves y sucesivos "flashes de helio".

Esa estrella que hoy vemos en el cielo, con su casi millón y medio de kilómetros de diámetro, se habrá transformado, por obra y gracia de sus propios mecanismos internos, en un monstruo de 300 millones de kilómetros (el tamaño de la actual órbita terrestre). Habrá cumplido unos impresionantes 12.300 millones de años de edad.

Los últimos latidos

A esa altura, al Sol ya le quedará muy poco tiempo. Estará viejo, hinchado y enrojecido por fuera, debido al enfriamiento de sus capas externas. Una vez que el helio central se haya agotado –cosa que le tomará "apenas" unos 100 millones de años más– su corazón será casi todo carbono y oxígeno. Esos elementos, a falta de las presiones y temperaturas necesarias (del orden de los cientos de millones de grados), no podrán ser fusionados por el núcleo solar para dar lugar a otros elementos nuevos, como para seguir adelante.

Apretujado hasta límites casi inconcebibles por el peso del resto del Sol, ese núcleo de carbono y oxígeno, incapaz de seguir generando energía por fusión, se convertirá en una suerte de carozo gaseoso hiperdenso: una Enana Blanca. Será un cuerpo tan pequeño como la Tierra, pero con la mitad de la masa del Sol. En consecuencia, poseerá una densidad verdaderamente asombrosa: de 1 a 3 toneladas por centímetro cúbico. Un engendro físico que sólo se salvará de un colapso aún mayor, gracias a la resistencia de sus electrones sueltos (las estrellas mucho más masivas que el Sol dan lugar a "cadáveres" estelares aún más densos, como las estrellas de neutrones y los increíbles agujeros negros).

Todo eso ocurrirá con el núcleo del Sol. ¿Y el resto? Las capas medias y externas de aquella Gigante Roja se irán desgarrando, lenta y progresivamente, hasta formar una Nebulosa Planetaria, una inmensa y colorida burbuja de gases en expansión, que dejará al desnudo el núcleo de la estrella, convertido en Enana Blanca. El cielo también está lleno de estos fantasmas cósmicos, como la famosa Nebulosa del Anillo (M 57, en la constelación de Lira), o la Nebulosa Helix (NGC 7293, en Acuario). Esos son vestigios sutiles de estrellas que ya han muerto. Mirar Nebulosas Planetarias y sus Enanas Blancas centrales es, en cierto modo, asomarnos al destino último del Sol.

Oscuridad final

Enana Blanca y Nebulosa Planetaria: eso

será el Sol dentro de más de 7000 millones de años. Luego, la Nebulosa Planetaria se irá disolviendo en el espacio circundante, devolviendo gases "reciclados" al medio interestelar. La Enana Blanca, aquel pesado corazón del Sol, que inicialmente será un objeto muy caliente y brillante, irá enfriándose muy lentamente, hasta que, finalmente, se convertirá en una "Enana Negra", una suerte de bola de ceniza estelar fría y oscura.

¿Y la Tierra? La verdad es que poco importa saber si, en su expansión final, el Sol se devorará o no a nuestro planeta (sobre este punto hay modelos que no se ponen de acuerdo). Pase lo que pase, e incluso unos 2 mil millones de años antes del propio final del Sol, nuestro planeta será un lugar imposible de habitar, con temperaturas infernales, océanos evaporados y una atmósfera casi completamente arrasada. Más allá de que se salven o no del incendio final, los planetas externos y sus lunas quedarán sumergidos para siempre en la oscuridad y el frío más crudos que el Universo tiene guardados.

Epílogo

Aquel dios adorado por todas las culturas, que parece mucho más palpable y cercano que tantos otros, tendrá una "vida" muy larga. Tan larga que, a su lado, toda historia humana se reduce a un efímero parpadeo. El Sol nos ha visto nacer, y nos verá morir. A nosotros y a todas las generaciones humanas, pasadas, presentes y futuras. Sus tiempos son los tiempos de las estrellas; tiempos que nos abruman de sólo tantearlos con la imaginación.

Pero son tiempos, no eternidades: dentro de miles de millones de años, ya sin resto para reavivar sus "fuegos" sagrados, completamente desmantelado y con su corazón a la vista, el Sol finalmente caerá rendido y se apagará para siempre. Por entonces, también se habrán apagado casi todas las estrellas que hoy vemos en el cielo, y brillarán otras que ni siquiera han nacido aún. Será la hora de nuevos soles, enormes, ardientes y cegadores; como el nuestro, alguna remota vez. ■

1 Las nubes moleculares son las "cunas" de las estrellas. Están formadas por gas y polvo, miden decenas o cientos de años luz y pueden tener hasta un millón de masas solares. Tienen densidades relativamente altas y temperaturas lo suficientemente bajas, lo que permite la existencia de hidrógeno molecular (H_2), su principal componente. De ahí su nombre. También contienen monóxido de carbono (CO), agua (H_2O) y moléculas más complejas. Como son tan extensas y masivas, las nubes moleculares se fragmentan debido a inestabilidades gravitacionales internas. La fragmentación da lugar a numerosas masas de gas que van colapsando y aumentando su presión y temperatura interna: son las proto-estrellas, que finalmente, al iniciar masivas fusiones termonucleares, se encenderán como verdaderos soles.

2 El término Nebulosa Planetaria puede confundir, pero proviene de la Astronomía del siglo XIX y tiene que ver con el aspecto telescópico de estos residuos estelares, que parecen discos, como los de los planetas.

VIAJE
Con la narración de Guillermo Lobo
A LAS ESTRELLAS
(JOURNEY TO THE STARS)
Una experiencia inmersiva fascinante, creada por astrofísicos y expertos en visualización científica y producción audiovisual del AMERICAN MUSEUM OF NATURAL HISTORY de Nueva York, se presenta ahora en el Planetario de la Ciudad de Buenos Aires GALILEO GALILEI.
PLANETARIO
Buenos Aires Ciudad
www.planetario.gob.ar
www.buenosaires.gob.ar/agendacultural

El juego y la divulgación científica

Por Sandra Costa y Marcela Lepera, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

La cultura es un espacio donde nos encontramos con el otro, una construcción simbólica donde las distintas manifestaciones (arte, ciencia, ideales, miedos, certezas e incertidumbres, credos y descreimientos) encuentran un lugar de desarrollo por el que transitan y al que recrean las distintas generaciones. El Planetario difunde, divulga y populariza los conocimientos de una de estas manifestaciones, la ciencia, que requiere de agentes mediadores que puedan socializar los conocimientos para la gran mayoría de la gente. Nuestro trabajo divulgador tiende puentes para la reconstrucción de campos conceptuales complejos en términos sencillos, que puedan ser entendidos por los distintos públicos. Cuando hablamos de divulgación para público infantil, el puente une extremos que parecen estar distantes: los niños y la ciencia. Sin embargo, no están tan lejos como imaginamos. Pensemos lo mucho que tienen en común niños y científicos: su curiosidad, su sed de ver, sus ganas de conocer y de saber más, de observar, explorar y experimentar para demostrar o descartar hipótesis. En resumen, la capacidad de mirar con otros ojos. En cada niño que juega descubrimos un investigador, un constructor de su propio conocimiento. En cada científico que investiga hay un incansable niño curioso.

¿Qué es el juego?

Es común que los niños sean tratados como "los adultos que serán en el futuro", y que sean educados porque "será importante para cuando crezcan y sean profesionales". Pero no es cierto que los niños ocupen su tiempo jugando mientras esperan la madurez. La infancia no es un simple paso a la edad adulta, sino que tiene valor en sí misma, y el juego no puede considerarse como un simple entretenimiento durante un tiempo de espera.

El juego es la forma natural y espontánea que tienen los niños de aprehender el mundo, de expresarse, de desarrollar sus inteligencias múltiples y sus valores humanos. Enseña a enfrentar y resolver problemas, posibilita la conexión con otros en forma creativa y contribuye a construir la subjetividad y la autoestima. Es la principal actividad de los niños. Existe en todas las culturas y civilizaciones, y como todo tema esencial, genera encuentros y desencuentros.

Jugar por jugar, jugar para aprender

Los beneficios del juego son indiscutibles. Es una fuente inagotable de placer, alegría, descubrimientos, desafío y satisfacción, que permite un crecimiento equilibrado del cuerpo, la inteligencia, la afectividad y la sociabilidad. Un niño que juega es un niño sano. Grandes filósofos, pedagogos, psicólogos, antropólogos e historiadores se han ocupado de valorar el juego desde sus distintas perspectivas, y el debate surge ante la descripción de algunas de sus características:

> **Ciencia y juego van de la mano y comparten gran parte del camino. Potencian la creatividad y el talento.**

Reglamentación: No hay juego sin reglas.
Ficción: El juego no es la vida real. "*Cuando uno entra en un juego, su historia personal se interrumpe*" (María Regina Öfele, psicopedagoga austríaca). Dentro del juego no rigen las jerarquías, ni los valores, ni las escalas éticas, ni los prejuicios que reinan afuera. Es una forma distinta de relacionarse con el mundo.
Pero las diferencias se evidencian al pensar en otras características esenciales:
Libertad: "*El juego por mandato no es juego. Es una actividad que transcurre dentro de sí misma y se practica en razón de la satisfacción de su misma práctica*" (Johan Huizinga, humanista holandés).
Improductividad: El juego no crea bienes, ni riqueza, ni elementos nuevos de ninguna especie.
Al radicalizar estas características podríamos presentar al juego como una actividad desinteresada que no tiene una consecuencia práctica. Pero, ¿qué ocurre cuando un juego tiene el objetivo de adquirir capacidades o conocimientos? ¿Se transforma en un trabajo, o mantiene su carácter si persisten en el niño el placer de hacer y de actuar, y la alegría?
Para quienes cumplimos el rol de divulgadores, es tranquilizador recordar que existe una perspectiva diferente. "*Si consideramos que el juego es uno de los primeros lenguajes y actividades del niño, a través de lo cual conoce al mundo que lo rodea, a los objetos y su funcionamiento, y a las personas y su forma de manejarse, no podemos excluir el juego del ámbito de la educación*" (Öfele). Por otro lado, "*el juego no es el rasgo predominante en la infancia, sino un factor básico en el desarrollo. Crea una zona de desarrollo próximo en el niño*" (Lev Vygotski, psicólogo ruso). Quizás la puerta para ir a jugar, si se abre, nos conduzca a esa zona de desarrollo.

Juego astronómico:
Viaje por la Vía Láctea
El desafío de enseñar Astronomía fuera de la sala de espectáculos del Planetario nos obligó a idear una actividad diferente. El conocido *Juego de la Oca* nos facilitó una estructura con un reglamento sencillo, que permite la participación de niños de distintas edades. En nuestra versión del juego, el viaje es a través de nuestra galaxia. Una pantalla y un tablero gigantes son los escenarios en donde los chicos pueden realizar un recorrido lúdico por los astros de la Vía Láctea. Lograr avanzar al casillero siguiente dependerá de la realización de "prendas": resolver enigmas, representar corporalmente fenómenos físicos y deducir conceptos.
La actividad nos sorprende en cada oportunidad. Ningún encuentro es igual al otro, ya que el desarrollo no está determinado, ni el resultado dado de antemano. El azar y la participación del público hacen al juego. Jugar con los niños, y no sólo hacer jugar a los niños, nos permite desempeñar un doble rol: cumplir con nuestra función de agentes mediadores de los conocimientos para acercar a los chicos los conceptos astronómicos, y ser animadores/participantes de una actividad lúdica que se reinventa en cada ocasión.
Nuestra experiencia en espectáculos didácticos es diversa, pero modesta en lo que a jugar se refiere. Es un privilegio ser parte de esta experiencia y poder jugar sin ser niños; ocupar dentro del juego la función de mediador sin perder el rol de participante; involucrarnos en la actividad, compartir la diversión, generar un código en común; investigar, recrear, asombrarnos y reír juntos. En resumen, jugar con ellos nos permite revalorizar ese espacio de curiosidad y placer, tan propio en la infancia, en donde comienzan a gestarse las grandes actividades humanas.
Ciencia y juego van de la mano y comparten gran parte del camino. Potencian la creatividad y el talento, estimulan la posibilidad de ver las cosas de distintas formas, favorecen mentes abiertas, alimentan la capacidad de transformar los conceptos e imaginar perspectivas nuevas. Jugar es una fiesta a la que todos estamos invitados. ■

Cinco pasos hacia el *Big Bang*

Por Dr. Juan Carlos Forte - CONICET, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

El *Big Bang*, la cosmología[1] de referencia del siglo XXI, se ha instalado en la ciencia y en la cultura popular en forma no del todo clara. Como punto de partida, la denominación *Big Bang* no es muy afortunada. Fue inventada con cierto desdén por el Astrónomo Real Sir Fred Hoyle, fuerte partidario del llamado "Universo Estacionario", hacia mediados del siglo XX. Aquella denominación sugiere que el nacimiento del Universo fue una especie de explosión. Pero, en realidad no fue tal, como veremos a continuación.

Esta imagen se conoce como "El campo profundo del Hubble", y fue obtenida en 1995 por el Dr. Robert Williams y sus colaboradores, con el Telescopio Espacial Hubble. Se combinaron 120 horas de observación de un muy pequeño sector del cielo para ver que, en una región casi "vacía" en imágenes previas, aparecieron unas 2500 galaxias. Cuanto más débiles son esas galaxias, más lejanas de nuestro planeta se encuentran. Algunas de ellas se observan como eran hace muchos miles de millones de años, y muestran formas más "primitivas" que las galaxias cercanas. Esto sugiere un patrón evolutivo del Universo a lo largo del tiempo, y en principio, contrario a la idea de un estado "estacionario".

Hace unos 20 años, el Dr. Carl Sagan presidió un jurado que, a través de un concurso, buscó sustituir la expresión *Big Bang* por alguna otra más ajustada a la descripción del evento. Un interesante premio monetario motivó unas diez mil sugerencias, pero el concurso fue declarado desierto. Finalmente, el jurado concluyó que "*…si bien la denominación no es rigurosa, sin dudas cautiva y estimula la imaginación*".

Contrariamente a algunas ideas más o menos difundidas, el *Big Bang* no es el resultado de una abstracción originada en el cerebro humano, ni consecuencia de un fenómeno en particular. Más bien, es una elaboración que se apoya en una cadena de observaciones astronómicas a lo largo del último siglo. Los principales hechos cosmológicos que delinean el *Big Bang* en gran escala –cinco en total–, efectivamente, han "bajado del cielo".

Los orígenes de esta cosmología se ubican a principios del siglo XX, con dos hechos increíblemente simultáneos pero disjuntos: la formulación de la teoría de la Relatividad de Einstein, con su revolucionario concepto acerca de la relación entre materia, espacio y tiempo; y el inesperado hallazgo del astrónomo estadounidense Vesto Slipher, desde el Observatorio Lowell, en Arizona. Slipher encontró un curioso efecto en la observación de las que en aquel momento se denominaban "nebulosas espirales".

La idea detrás de las observaciones de Slipher era que las mencionadas "nebulosas espirales" podían ser discos de gas y polvo, a partir de los que se formaría una estrella central y planetas a su alrededor. Ese concepto se remontaba al Marqués de Laplace, tal como lo presentó en *Exposición del Modelo del Mundo*, en 1796.

Sorpresivamente, la velocidad de rotación de esas "nebulosas" era mucho mayor que la correspondiente a un sistema similar al Solar. El informe de Slipher en la *American Astronomical Society* (1915) fue recibido con una ovación de pie, tal como describen algunos historiadores, y abrió el camino hacia un nuevo concepto que convertiría a esas "ne-

Vesto Slipher, astrónomo estadounidense que, trabajando en el Observatorio Lowell, descubrió el efecto conocido como "corrimiento hacia el rojo" de las galaxias, e intuyó la verdadera naturaleza de esos sistemas.

bulosas" nada menos que en "galaxias". Harían falta entre cinco y diez años más para que ese concepto se instalara de manera indiscutible: las galaxias son grandes sistemas con miles de millones de estrellas, gas y polvo, a partir de lo que se forman (ver el artículo *El Universo en una galaxia*, de Magdalena Ruiz Alejos, en esta misma edición).

Más lejos, más rápidas

Sin embargo, había más. Cuanto más pequeñas y débiles eran las galaxias espirales que observaba Slipher, más rápidamente parecían alejarse de su telescopio. Nótese que "débiles y pequeñas" sugiere que se trata de objetos cada vez más lejanos en el espacio. La conclusión inevitable fue que esas galaxias se alejan del observador más velozmente cuanto más lejos se encuentran.

Más tarde, Edwin Hubble y su colaborador directo, Milton Humason, le dieron forma cuantitativa a la relación velocidad-distancia, que hoy conocemos como la "Ley de Hubble". Para ello usaron, principalmente, el telescopio de 2,5 metros de diámetro del observatorio de Monte Wilson. Años después, Albert Einstein visitó el Observatorio Lick[2], donde Hubble le explicó que la idea de un Universo estático parecía incorrecta, y que, por el contrario, la expansión era un fenómeno evidente y cuantificable.

Aquellos hechos fundacionales ya mostraban características distintivas que aún se conservan. La Astronomía navega hacia el origen del Universo, y emplea telescopios que nos permiten observar objetos cada vez más lejanos, que se ubican más atrás en el tiempo. Como contraste, la Física teórica elabora su modelo del Universo a partir de ciertas condiciones iniciales, desde el *Big Bang* hacia nuestros días. Idealmente, ambas aproximaciones deberían encontrarse en alguna frontera que permita ver si hay convergencia (¡Debe haberla!). Como veremos, tal frontera existe, y es una especie de amable división del trabajo entre físicos y astrónomos.

El mapa del Universo

El siguiente episodio tendría lugar en los primeros años de la década de 1930. Fritz Zwicky, de origen centro europeo y trabajando en los Estados Unidos, había notado las formas suaves y simétricas de algunos cúmulos de galaxias. Esto sugería que esos sistemas habían alcanzado un cierto equilibrio mecánico, y que debía existir una precisa relación entre la energía vinculada con la fuerza gravitatoria (energía potencial) y aquella que se encuentra en forma de movimiento de las galaxias (energía cinética). Esto se conoce como el "Teorema del Virial".

Los resultados de Zwicky mostraron que las galaxias se movían demasiado rápido para la fuerza gravitatoria equilibrante que podían aportar sus masas (calculables a partir de sus brillos). Increíblemente, el equilibrio parecía inviable. Esto no dejó contento a Zwicky. En forma muy audaz para la época, se atrevió a sugerir la presencia de mucha más materia, pero que ésta era "oscura". Sería materia capaz de hacerse notar a través de la fuerza que produce, pero no en forma luminosa, ni a través de cualquier otra interacción con la materia normal (o "bariónica").

Cuarenta años después, otros dos astrónomos hicieron una contribución notable. Donald Shane y Carl Wirtanen invirtieron once años de arduo trabajo para hacer el mapa de las galaxias más profundo hasta el momento (mediados de los '70). Para ello, sacaron placas fotográficas y, munidos de un microscopio y un contador manual, hicieron fatigosos conteos. El resultado final es lo que hoy conocemos como el "Mapa de un millón de galaxias". ¿Qué se ve en ese mapa? Por un lado, algo esperable: una distribución aparentemente uniforme, sólo matizada por la presencia de conglomerados, los cúmulos de galaxias. Sin embargo, también se veían estructuras más complejas y sutiles: algo así como "vacíos y filamentos".

La discusión llegó a su fin cuando los conteos de Shane y Wirtanen se hicieron en tres dimensiones (y no sólo en el plano del cielo), al agregar la distancia a cada galaxia. Efectivamente, las grandes regiones vacías y los filamentos, existen, y son una característica distintiva de la distribución de la materia en el espacio.

Albert Einstein observa a través de un telescopio del Observatorio Lick, bajo la mirada de Edwin Hubble (en el medio), durante una visita a principios de los años '30. Para esa fecha, Hubble ya había cuantificado la relación entre las distancias a las galaxias y sus velocidades de alejamiento.

Los descubrimientos inesperados (y maravillosos, en el mítico Reino de Serendippo) han ocurrido y ocurren como parte de casi todas las disciplinas científicas. Por ejemplo, Arno Penzias y Robert Wilson, dos físicos que trabajaban para la *Bell Telephone Company* en 1968, renegaban con cierto "ruido" que inundaba su antena experimental de comunicaciones en el rango de las microondas de radio. No imaginaban que esa "molestia" se convertiría en el Premio Nobel que recibieron unos años más tarde.

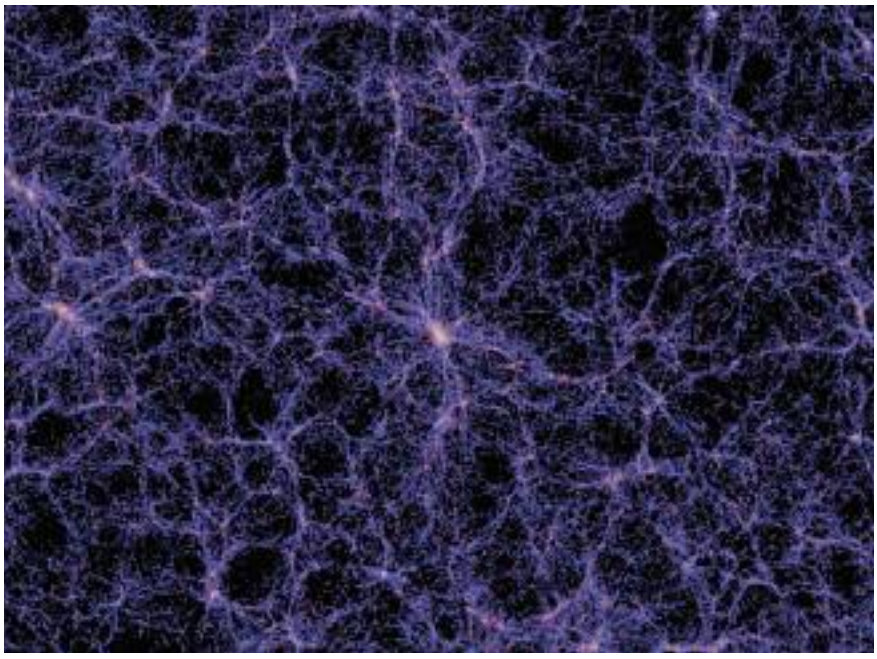
Aquella señal omnipresente e inevitable (400 fotones por cm^3 conviven con nosotros en todo instante), es hoy interpretada como el vestigio de un episodio clave en la vida del Universo: el momento en que la materia y la radiación se desacoplaron. Esta última viaja casi libremente por el espacio y puede ser "observada".

La llamada "*radiación cósmica de fondo*" es notablemente uniforme, pero no totalmente. Haciendo una analogía, nuestro planeta se ve como una esfera casi perfecta desde lejos, pero su superficie tiene irregularidades tales como el Monte Everest; muy impresionante visto desde cerca, pero imperceptible más allá de cierta distancia. En forma similar, la radiación de fondo muestra grumos, cuya presencia se hace evidente sólo después de remover la componente "suave". El descubrimiento de esos grumos, a través de observaciones desde el espacio, también valió el Premio Nobel a otros dos investigadores, los Dres. George Mather y John Smoot.

Además de esos grumos existen otras estructuras muy sutiles, conocidas como "picos acústicos". Esas "marcas" en el fondo de radiación cósmica son similares a "ondas congeladas" que se han expandido con el espacio y se detectan como un aumento en la densidad de las galaxias en ciertas regiones cercanas.

Los cinco hechos

Hasta ahora hemos descripto cinco hitos notables: la expansión del Universo, la necesidad de recurrir a la materia oscura, la estructura de la distribución en gran escala de las galaxias, la existencia de la radiación cósmica de fondo y, finalmente, la muy sutil estructura residual en esa radiación. En conjunto, se los puede considerar como "hechos fundamentados", sin olvidar la necesaria cautela que debe acompañar a esa categorización. Lo que sigue es la interpretación de esos hechos como una secuencia de eventos que definen la cosmología del *Big Bang*.



Modelo de la distribución de la materia oscura dentro de un cubo de 2000 millones de años luz de lado. Es el resultado de largos cálculos realizados a través de supercomputadoras, a cargo de una asociación conocida como El Consorcio de Virgo, que reúne científicos de varios países.

Pero... ¿el *Big Bang* no fue una explosión? Posiblemente no en el sentido estricto. Una explosión implica que algo se expande en el espacio existente previamente. En ese evento, el espacio, la materia y el tiempo se originaron en forma simultánea. ¿Qué había antes? Ésta sería una pregunta sin sentido, al no existir antes el tiempo. La respuesta es formalmente impecable, aunque tal vez no muy satisfactoria ante una cierta inquietud intuitiva.

Por otro lado, aquello que conocemos como materia es una mutación de la energía original. La relación entre ambas está explícita en la hermosamente simple y muy famosa ecuación de Einstein ($E=mC^2$; donde C es la velocidad de la luz), posiblemente la única ecuación que tiene un monumento, en una plaza de Berlín. Todos "hemos estado" alguna vez a la izquierda de ese signo igual y, temporalmente, ocupamos un lugar en "m". La energía necesaria para formar un "barión" (protones y neutrones, que caracterizan a la materia) implica que el campo de radiación debió tener una temperatura extrema, del orden de los 10 billones de grados. En ese hecho no sólo aparece la materia, sino también su archi-enemiga, la antimateria. ¿Qué pasa cuando ambos tipos de partículas se encuentran? Simplemente, se aniquilan, y vuelven a ser energía. De haber sido así llanamente, el Universo "material" no existiría. Sin embargo, en esa furiosa batalla, el ejército de la materia parece que excedía al enemigo en una proporción de uno a mil millones. Ese "uno" sobrevivió y forma parte de la materia "normal".

Notablemente, casi todos los hechos que determinan la existencia de los elementos químicos dominantes en el Universo –los más simples–, se dieron en un lapso tan breve como tres minutos. Eso fue lo que tardó el Universo en enfriarse, a medida que se expandía, más allá de la temperatura para generar partículas pesadas a partir de la energía. Si todo se hubiera detenido allí, la suerte del género humano (y de toda la vida) hubiera estado echada: simplemente, no existiríamos. Las actrices que cambiaron ese destino fatal tardarían todavía muchos millones de años en aparecer.

Además de la materia "normal", el *Big Bang* debió dar origen, presumiblemente, a la materia oscura, cuya existencia había sido intuida por Zwicky. ¿Serán objetos masivos, pequeños y oscuros? ¿O partículas sub-atómicas no contempladas en las teorías corrientes? Hasta ahora, cada una de esas posibilidades, y otras, no han sobrevivido a la comprobación mediante observaciones.

Algunas de esas partículas propuestas para explicar la naturaleza de la materia oscura tienen la propiedad de aniquilarse entre sí, y de generar radiación al final del proceso. Actualmente, hay gran expectativa por los resulta-

dos del Observatorio Orbital Fermi, ya que, a través de la detección de radiación gamma (fotones de muy alta energía), se podría poner en evidencia tal tipo de aniquilación. Sin embargo, y más allá de algún entusiasmo inicial, los resultados son, hasta ahora, ambiguos, en el mejor de los casos. La situación no deja de ser embarazosa para la teoría en su conjunto.

Un rato después

Luego de los tres minutos iniciales, y por unos 350 mil años, el joven Universo era una espesa sopa de materia y energía. Tan espesa que, al mismo tiempo, era "opaca", en el sentido de que la materia no dejaba viajar a la radiación por largos trayectos. Esa región del tiempo es una especie de zona vedada a la Astronomía que se hace con telescopios.

Al término de ese lapso, los electrones y protones que "vivían" vidas por separado, se combinaron y dieron forma final a la pobre variedad de elementos químicos nacidos en el *Big Bang*. Ese fenómeno tornó transparente al Universo, y la radiación que se originó en la batalla materia-antimateria se liberó para pasar a ser detectable como la radiación de fondo.

Si bien no podemos acceder a la época oscura a través de telescopios, los acontecimientos que ocurrieron en esos 350.000 años dejaron "marcas" en la radiación de fondo: los "grumos" que mencionamos anteriormente. El reino de la era oscura es ámbito natural de la Física teórica, y también el del famoso experimento conocido como *La Máquina de Dios*, que apunta a clarificar qué tipo de partículas pudo estar presente en aquellos tiempos remotos.

La comprensión de los fenómenos espacio-temporales en este curioso Universo no es simple. Por ejemplo, podemos observar objetos que actualmente están a unos 46.000 millones de años luz de la Tierra. Sin embargo, los vemos como eran hace unos 13.500 millones de años atrás (¡no en distancia!), cuando se encontraban unas 1000 veces más cerca de nuestra hipotética ubicación en el espacio (ya que no existíamos en esa época).

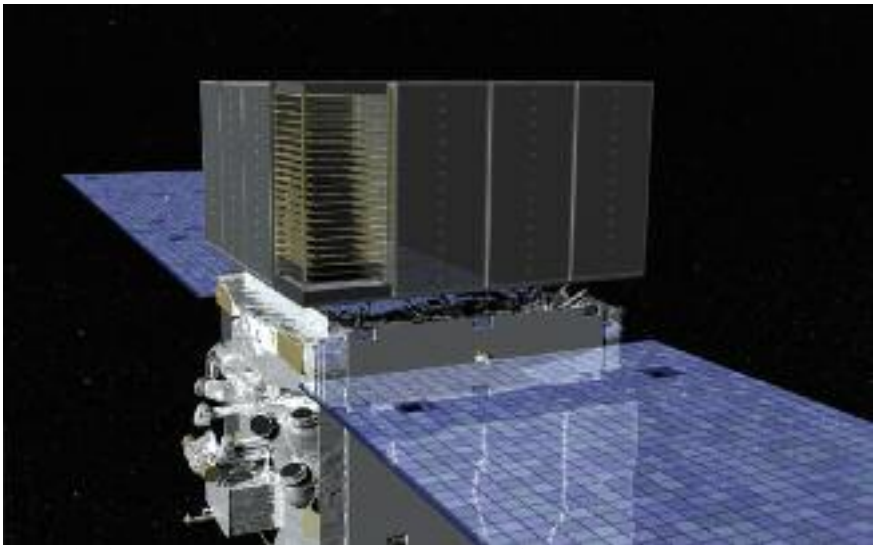
Las actrices que mencionamos algunos párrafos atrás son las primeras estrellas. Ellas, y las generaciones estelares posteriores, han "cocinado" todos los elementos químicos necesarios para la vida y para la aparición de nuestro género, unos 13.500 millones de años más tarde. Éste es uno de los aspectos más impactantes dentro de lo que Carl Sagan llamaba en su momento *La Conexión Cósmica*. Materia que se organiza... y luego de cierto tiempo, tiene interés en estudiarse a sí misma.

Unos mil millones de años luego del *Big Bang*, aparecieron las galaxias. Posiblemente, se formaron en halos de materia oscura, especies de grandes contenedores sin los cuales no sabríamos hoy cómo explicar la acumulación de materia bariónica que llevó a la formación de esos sistemas, y tampoco de las primeras generaciones de estrellas, cuyo rol fue decisivo para la historia posterior. Los antecesores de esos "contenedores" son, presumiblemente, los "grumos" que se detectan en la radiación de fondo, y a los que podemos ver como semillas de la estructura en gran escala que observamos hoy.

Antes de proseguir, digamos que el último premio Nobel de Física ha sido otorgado en 2011 a Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam Riess, quienes, en principio, muestran que el Universo no sólo se expande como se sabía, sino que lo hace en forma acelerada. Este resultado se basa en casi 20 años de observaciones de cierto tipo de Supernovas, objetos muy luminosos cuyas distancias pueden determinarse con relativa precisión. La naturaleza del mecanismo que alimenta ese fenómeno es objeto de numerosas conjeturas, que se superponen en lo que se conoce, de forma muy difusa, como "energía oscura". A pesar del Premio Nobel mencionado, que implica una fuerte toma de posición, dándolo como un hecho, debe mencionarse que desde hace un tiempo se escuchan algunas voces no tan convencidas[3].

Comentemos, de paso, que una expansión acelerada y sin fin nos enfrenta, una vez más, con el incómodo concepto de "infinito". ¿Será efectivamente así? Una respuesta interesante y sincera es la que provee el cosmólogo Ned Wright[4]: "Lo que sí sabemos sobre el Universo es que... es muy grande".

¿Seremos capaces los seres humanos, siendo un producto de ese Universo, de comprender todo lo necesario en pos de explicar su origen? Sin que esa pregunta se convierta en una carga inmovilizadora, la historia nos muestra que conviene mantener una actitud humilde ante ese Universo que siempre nos enseña, si queremos aprender. Más allá de que aquel objetivo se consiga, no hay dudas de que el tránsito por ese camino, en constante construcción, ha cambiado la historia de nuestra especie y seguirá haciéndolo en el futuro. ■



El Observatorio Fermi (originalmente conocido como GLAST) es un satélite especializado en la detección de fotones gamma de alta energía. Ha descubierto, entre otras cosas, la presencia de anti-electrones originados en tormentas terrestres.

1- Cosmología es la rama de la Astronomía que se dedica al estudio del Universo como un todo: origen, evolución, estructura, dimensión, composición y futuro.

2- James Lick vivió en Buenos Aires hacia 1821, donde ejerció su profesión de constructor de pianos. A su regreso a los EE.UU., varios años después, financió la construcción del observatorio que lleva su nombre.

3- Ver: *Why dark energy is bad for Astronomy*, por Simon White (base de datos: arXiv:0704.2291).

4- Página Web de Ned Wright: www.astro.ucla.edu/~wright/cosmolog.htm

CÚMULOS ESTELARES

Lazos de familia

Por Walter Germaná, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires “Galileo Galilei”.

Las estrellas “nacen, viven, mueren” y, además, desarrollan importantes vínculos. Sus familias son complejas y conviven con sus “parientes” durante largas etapas. Pero como es natural, con el transcurso del tiempo tienden a dejar el nido para seguir su propio camino. Aquí echaremos un vistazo a esas etapas tempranas y “sociales” de las estrellas.

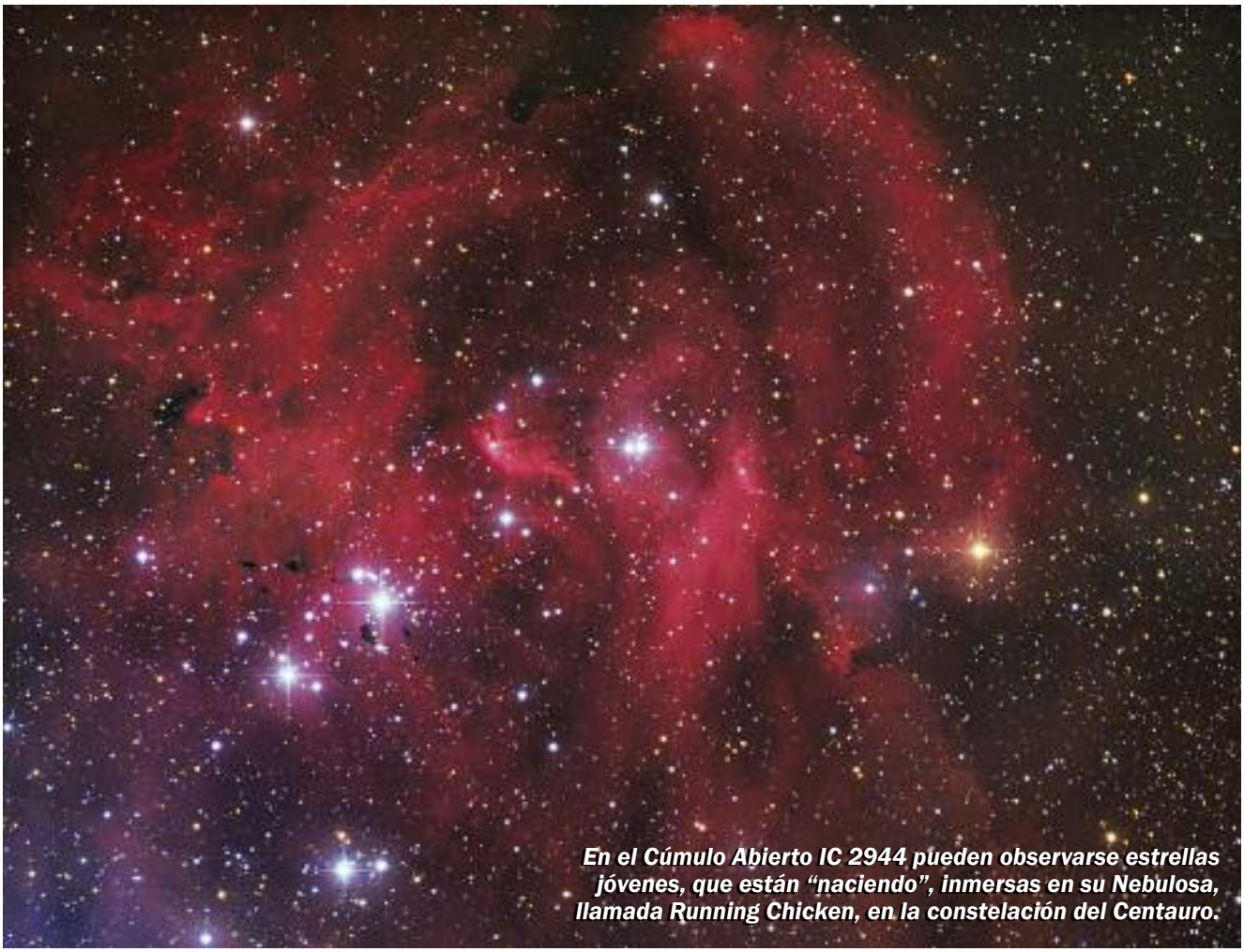


Foto: Sergio Eguivar

En el Cúmulo Abierto IC 2944 pueden observarse estrellas jóvenes, que están “naciendo”, inmersas en su Nebulosa, llamada Running Chicken, en la constelación del Centauro.

Más de la mitad de las estrellas que vemos en el cielo no están solas como nuestro Sol, sino que tienen “hermanas”. Se trata de sistemas estelares, agrupaciones conformadas por dos, tres, cuatro o más miembros. La gravedad puede mantener las complejas interacciones entre los diferentes componentes de un sistema, pero hasta cierto punto: cuando el número de miembros sobrepasa los 6 ó 7, el sistema se torna inestable y es altamente probable que los lazos fraternales duren poco tiempo. Por eso, cuando observamos agrupaciones de decenas, cientos o miles de estrellas, no hablamos de sistemas sino de cúmulos estelares. Entre los componentes de un mismo cúmulo, muchos pueden también mantener entre sí lazos más profundos y formar sistemas estelares, con variado número de miembros.

El siguiente eslabón: Cúmulos Abiertos

Las estrellas nacen en gigantescas nubes de gas (principalmente hidrógeno) y polvo interestelar (granos sólidos, a partir de los cuales se amalgamará el gas que dará a luz a las nuevas estrellas), llamadas nebulosas. Los Cúmulos Estelares Abier-

tos son el eslabón siguiente en la evolución de las nebulosas que forman estrellas, como puede observarse en la magnífica Nebulosa Roseta y su cúmulo estelar NGC 2244 (foto de tapa). También hay jóvenes formaciones estelares embebidas temporalmente en trazas de gas que provienen de la nebulosa que les diera origen. Al "nacer" de la misma materia, los miembros tienen una composición química y una edad similar. Se trata de estrellas jóvenes o de mediana edad.

Los Cúmulos Abiertos contienen decenas, cientos o unos pocos miles de estrellas (la minoría). Sus tamaños alcanzan generalmente unas pocas decenas de años luz[1] de extensión. Se encuentran mayormente distribuidos en torno al plano principal (los brazos espirales) de nuestra galaxia, la Vía Láctea, ya que en esas regiones se concentra la mayor cantidad de "materia prima" (gas y polvo interestelar) disponible para el nacimiento de nuevas estrellas. La forma que adoptan estas estructuras es básicamente irregular, con una mayor o menor concentración central según el caso, dada la lógica acción de la fuerza de gravedad, que a su vez los mantiene unidos. Esto depende también del número de miembros y de su distribución en el espacio. Existen agrupaciones con pocas estrellas, dispersas y extensas en el cielo, mientras que otras se ven con un tamaño más pequeño, pero con un mayor número de estrellas y más "comprimidas" unas con otras.

La "vida" de la mayor parte de los Cúmulos Abiertos es muy corta: unos pocos millones de años, aunque en muchos casos pueden durar algunos cientos de millones de años. Con el correr de sus extensas vidas, las estrellas que los conforman comienzan a abandonar el nido, ya sea por irregularidades gravitatorias internas o por la interacción con campos externos de marea gravitatoria. De esta manera, van quedando estrellas desperdigadas a lo largo de la órbita del cúmulo alrededor del núcleo de la galaxia. Así se van "desarmando", hasta finalmente perder entidad como agrupación. Nuestro Sol pudo haber tenido algunas "vecinas" también, muchas de las cuales podrían ser hoy estrellas cercanas. Existen más de 1000 cúmulos de este tipo conocidos en nuestro pequeño rincón de la Vía Láctea, y se calcula que podrían existir unos 100.000 en toda la galaxia.

Los Cúmulos Estelares Abiertos son el eslabón siguiente en la evolución de las nebulosas que forman estrellas.

Cúmulos Globulares

Por su parte, los Cúmulos Globulares son estructuras de características muy diferentes: notablemente más escasos que los Abiertos, pero de dimensiones mucho mayores. Son estructuras gigantescas, muy antiguas y pobladas por impresionantes cantidades de estrellas. Su nombre deviene de su forma más o menos esférica y sus edades oscilan entre los 10.000 y los 12.000 millones de años, la misma edad de toda la Vía Láctea. Sus tamaños van desde las varias decenas hasta los cientos de años luz de extensión. El número de estrellas que los conforman puede ser entre decenas de miles, cientos de miles e, incluso, millones, como en los casos de *Omega Centauri* o *47 Tucanae*. Algunos de ellos son tan masivos que se cree que pueden ser los núcleos desnudos de pequeñas galaxias ya engullidas por las corrientes de marea gravitatoria de nuestra Vía Láctea[2], con hipotéticos súper agujeros negros ubicados en sus centros.

Estos cúmulos habitan en el Halo Galáctico, una región más o menos esférica que envuelve a las galaxias, donde se confina gran cantidad de materia. Orbitan al núcleo de nuestra galaxia en planos de diferente inclinación y a diversas distancias, que pueden alcanzar los 100.000 años luz desde el centro de la Vía Láctea. La excentricidad de sus órbitas nos ayuda también a delimitar la forma externa del Halo Galáctico. De hecho, en 1917 el astrónomo Harlow Shapley utilizó la disposición espacial de estos cúmulos para determinar la ubicación del núcleo de la Vía Láctea. Cuando sus órbitas son muy cerradas, como ocurre en gran parte de los casos, los Cúmulos Globulares atraviesan los brazos espirales de la galaxia.

Estos cúmulos también se van desarmando, aunque a un ritmo mucho más lento que en el caso de los Cúmulos Abiertos. Se calcula que cerca de la mitad de los Globulares que hoy existen en nuestra galaxia se habrán desintegrado por competo dentro de unos 10.000 millones de años.

Existen también "inmigrantes" en el Halo Galáctico: Cúmulos Globulares llegados de galaxias enanas, satélites de la nuestra, parcial o totalmente destruidas por las fuerzas de marea gravitatoria de la Vía Láctea. Éste es el caso de la galaxia Enana del Can Mayor, desde donde provendrían los cinco Cúmulos Globulares de este tipo conocidos: M 54, en la constelación de Sagitario; M 79, en Lepus; NGC 1851, en Columba; NGC 2298, en Puppis; y NGC 2808, en Carina. Algo fácil de apreciar para el simple observador del cielo, es que estos cúmulos se encuentran en lugares atípicos en relación a la dirección en que deberían estar ubicados, con respecto al núcleo galáctico.

Hay sólo 157 Cúmulos Globulares conocidos en la Vía Láctea. Ese número crece o decrece según el tamaño y las características de cada galaxia. La Nube Mayor de Magallanes (de 15.000 años luz de diámetro) tiene sólo 35 Globulares conocidos, mientras que Andrómeda (de 250.000 años luz), contaría con más de 400. Incluso podemos encontrarnos con casos extremos, como M 87 (de 500.000 años luz), una gigantesca galaxia elíptica que contaría con unos 15.000 Cúmulos Globulares.

Los Cúmulos Globulares de la Vía Láctea son estructuras tan antiguas como la propia galaxia que los contiene, ya que están vinculados a un momento puntual de su formación. Así, en otras galaxias más jóvenes, como M 33 o las Nubes de Magallanes, sus Cúmulos Globulares son también mucho más jóvenes. Como ejemplo podemos encontrar en la Nebulosa de la Tarántula (NGC 2070, en la Nube Mayor de Magallanes), inmensas masas nebulares que podrían generar en el futuro cúmulos de estas características. Se ha detectado además gran cantidad de Globulares jóvenes en galaxias irregulares cercanas. Esas galaxias son notablemente

más jóvenes que la nuestra. Por tanto, podemos inferir que la edad de este tipo de cúmulos estaría directamente asociada a la edad de sus galaxias.

Los catálogos

Como todos los objetos conocidos del Universo, los cúmulos estelares fueron agrupados en catálogos confeccionados por distintos astrónomos a lo largo de la historia. El más famoso es el de Messier ("M"). El astrónomo francés Charles Messier (1730-1817) fue un gran buscador de cometas. Pero pocos lo reconocen hoy por esa tarea, sino en realidad por los 110 objetos difusos que compendió en su catálogo publicado en 1774, para no confundirlos con cometas.

El catálogo más grande y completo es el conocido como "NGC" (*New General Catalogue*), con más de 7800 objetos descubiertos hasta finales del siglo XIX. Fue publicado en 1888 por el danés John Drayer (1852-1926) a partir de la compilación de los registros observacionales de William Herschel (1738-1822); de su hijo, John Herschel (1792-1871); y de Lord Rosse (1800-1867), a los cuales sumó otros 5000 objetos astronómicos. El NGC fue complementado por los anexos IC I (*Index Catalogue*) en 1895, e IC II, en 1908.

Otro catálogo de interés es el denominado Collinder ("Cr"), de Cúmulos Estelares Abiertos. Fue elaborado por el astrónomo sueco Per Collinder (1890-1975) y publicado en 1931. Contiene 471 agrupaciones estelares, muchas de las cuales están ya incluidas en otros catálogos. Lo interesante es que gran parte de estos cúmulos son muy extensos y dispersos en el cielo, y algunos son reconocidos sólo por el estudio de las características de sus estrellas, como movimiento propio, composición química, edad, etc.

Las clasificaciones

Más allá de sus rasgos esenciales, los Cúmulos Abiertos y Globulares no son todos iguales. De hecho, los astrónomos los han clasificado a partir de parámetros físicos y visuales concretos. La clasificación nos permitirá entonces una mejor apreciación de cada cúmulo según sus características físicas, y nos dejará reconocerlos mejor en el cielo. A principios del siglo XX, los astrónomos Harlow Shapley (1885-1972) y Philibert Jacques Melotte (1880-1961) realizaron, en la Universidad de Harvard, uno de los primeros y más importantes estudios de agrupaciones estelares. Los parámetros básicos que ellos utilizaron para clasificar a los Cúmulos Abiertos fueron el número de miembros y el grado de compactación de las agrupaciones. Sus denominaciones van desde la letra "a" hasta la "g", siempre expresado en letras minúsculas.

Existe también otra clasificación muy utilizada, que es la elaborada en 1930 por el astrónomo norteamericano, de origen suizo, Robert Trumpler (1886-1956). Establece tres parámetros concretos: concentración y separación visual, gama de brillo de los componentes y número de estrellas. Para el observador común resultará más simple el uso del método Shapley-Melotte.

La clasificación básica utilizada para los Cúmulos Globulares es la elaborada también por Shapley, con la colaboración de la astrónoma Helen Sawyer (1905-1993). Aquí se divide a los cúmulos desde la "Clase I" a la "Clase XII", expresado siempre en números romanos. Se toman también como parámetros principales, la cantidad de estrellas y el grado de concentración de las mismas.

El brillo y el tamaño aparente

Existen muchos cúmulos muy brillantes, pero ese brillo es el resultado de la suma del valor de todos sus componentes. Debemos prestar atención a su tamaño, porque puede ocurrir que sea muy grande y/o disperso en el cielo. El resultado de ese valor puede ser unas pocas estrellas desperdigadas, muy intensas, o enormes cantidades, pero muy tenues individualmente. Por eso, el valor de brillo dado en los catálogos puede ser engañoso en muchos casos. Por el contrario, podremos toparnos con cúmulos muy pálidos en los papeles, pero que al ser pequeños y compactos, serán más fáciles de identificar.

La ubicación y los medios

La mayoría de los Cúmulos Abiertos se encuentra sobre el plano principal de la Vía Láctea. Los Globulares, por su parte, se ubican visualmente en su mayoría en torno a las constelaciones de Sagitario, Ofiuco y Escorpio, es decir, en dirección al núcleo galáctico.

En la práctica

Si bien algunos cúmulos estelares pueden observarse a simple vista, para ver a la mayor parte de ellos necesitaremos instrumentos ópticos, como telescopios o binoculares. Todas las agrupaciones estelares aquí destacadas están al alcance de pequeños telescopios (en torno a los 100 mm de apertura) o binoculares. Para observar cúmulos de estrellas, debemos tener en claro determinadas pautas que irán combinándose, según el objeto y las condiciones del cielo, el lugar y el momento de realizar la observación. Aquí analizaremos las variables en forma casi aleatoria, ya que todas pueden contrastarse entre sí.

1) Magnitud aparente del cúmulo (cuánto brilla visto desde la Tierra).
2) Tamaño aparente (qué tamaño tiene en el cielo visto desde la Tierra).
3) Ubicación (hacia dónde mirar).
4) Los medios (con qué mirar en cada caso).
5) Calidad del cielo (qué podemos ver y qué no).
6) Clase (qué aspecto tiene, número de estrellas, concentración, etc.).

Hay sólo 157 Cúmulos Globulares en la Vía Láctea. Ese número crece o decrece según el tamaño y las características de cada galaxia.

Foto: Sergio Eguivar

M 46 y M 47, en la constelación de Puppis, dos Cúmulos Abiertos muy brillantes y cercanos visualmente, pero a la vez muy diferentes entre sí. M 46 (abajo) es compacto y rico en cantidad de estrellas, mientras que M 47 es pobre y disperso. Dentro de M 46 se observa también una Nebulosa Planetaria, NGC 2438. En realidad, está mucho más cerca de nosotros.

Foto: Daniel Verschatse

Cúmulo Globular 47 Tucanae. Un clásico de los cielos del sur, observable a simple vista, muy compacto y brillante, con su núcleo muy denso.

La Osa Mayor asoma sobre el mar, vista desde Punta Cana, República Dominicana. Gran parte de las estrellas que forman esta constelación forma parte del denominado Cúmulo Móvil de la Osa Mayor (Collinder 285).

Foto: Mariano Ribas

Existen Cúmulos Abiertos grandes y brillantes, y pueden apreciarse muy bien a simple vista, como las Pléyades y las Hyades, en Tauro (ambos aparecen en la foto de la página 29). Pero para encontrar a la gran mayoría necesitaremos de los instrumentos astronómicos. Unos binoculares de 10 x 50 (10 aumentos y lentes de 50 mm de diámetro) nos serán de gran ayuda si las agrupaciones son grandes y están muy "desarmadas" (por ejemplo, M 47 en Puppis). Mientras que para otras más pequeñas y compactas (como M 11), podemos utilizar telescopios para poder apreciar mejor sus estrellas. Para observar astros grandes y tenues, usaremos generalmente poco aumento: entre 30 y 60 aumentos, según el caso, que nos brinden campos visuales amplios. Mientras que para objetos pequeños, tenues o brillantes, trataremos de aplicar a nuestro telescopio el mayor aumento posible: desde 100 aumentos, en adelante. Una regla general que debemos tener en claro es que, a mayor aumento utilizado, menor será el campo visual, es decir, más pequeño será el fragmento de cielo abarcado.

La calidad del cielo y la clase

Debemos saber cuál es la magnitud límite del lugar desde el cual haremos la observación. La magnitud aparente es una medida de la intensidad del brillo de los astros vistos desde la Tierra. Mientras más bajo sea el número, más brillante será el objeto. Los cielos ideales, alejados de la contaminación lumínica de las ciudades, tienen una magnitud límite de 6 ó 6,5. Los mejores cielos que podemos encontrar en los desiertos están en torno a 7 ó 7,5. Por el contrario, la ciudad de Buenos Aires, inundada de luz, tiene un límite de 4,5. Por eso, habrá cúmulos estelares difíciles de percibir desde allí, aunque figuren en los catálogos entre los más brillantes (magnitudes entre 4 y 6), ya que individualmente sus estrellas son tenues. En estos mismos objetos, su brillo llamará poderosamente la atención en el campo (M 46, o NGC 3532).

En los catálogos existen también Cúmulos Globulares muy brillantes, pero por ser muy grandes y por tener un brillo homogéneo, no podremos verlos bien desde las ciudades. Por eso, debemos prestar atención a su clasificación (Clases X, XI y XII especialmente).

Los cúmulos estelares representan un mundo muy amplio y diverso, así como también uno de los campos más destacados dentro de la Astronomía observacional. Aquí hemos hecho sólo una breve reseña de los aspectos principales a tener en cuenta para poder encontrar y apreciar mejor a estas familias tan particulares. Pero lo importante es saber que toda persona con inquietudes en la observación del cielo puede, a través de referencias simples y pequeños instrumentos, acceder a estas y otras maravillas del firmamento. ■

Clasificación de Cúmulos Abiertos, según Shapley-Melotte

Clase "b"

Clase "a": Asociaciones estelares aparentes no unidas físicamente. No nos detendremos en ellas; sólo son asterismos.

Clase "b": Asociaciones de estrellas muy extensas y dispersas, cuya relación se evidencia por el movimiento propio y las características de sus componentes. Cúmulo Móvil de la Osa Mayor (Cr 285). (Visible a simple vista).
Foto: Mariano Ribas.

Clase "c"

Clase "c": Cúmulos irregulares, dispersos y extendidos en el cielo. Las Pléyades (M 45), Tauro. (Visión telescópica).
Foto: Sergio Eguivar.

Clase "d"

Clase "d": Cúmulos dispersos y pobres en número de miembros. M 47 (NGC 2422), Puppis. (Visión telescópica).
Foto: Sergio Eguivar.

Clase "e"

Clase "e": Cúmulos más ricos en cantidad de estrellas, más concentrados y compactos que los anteriores. M 7 (NGC 6475), Escorpio. (Visión telescópica).
Foto: Marcelo Tomasello.

Clase "f"

Clase "f": Cúmulos muy ricos en miembros y muy concentrados. NGC 3532, Carina. (Visión telescópica).
Foto: Sergio Eguivar.

Clase "g"

Clase "g": Cúmulos extremadamente ricos y compactos. M 11 (NGC 6705), Scutum. (Visión telescópica).
Foto: Sergio Eguivar.

Clasificación de Cúmulos Globulares, según Shapley-Sawyer

Clases I, II y III: son muy compactos y brillantes, con núcleos muy densos.
Clase I: NGC 2808, Carina.
Foto: Daniel Verschatse.

Clase II: M 2 (NGC 7089), Acuario.
Foto: Daniel Verschatse.

Clase III: NGC 362, Tucán.
Foto: Daniel Verschatse.

Clases VII, VIII y IX: son más dispersos, homogéneos y el contraste con el fondo comienza a disminuir. Comienzan a deformarse más marcadamente con tendencia a una forma oval.
Clase VII: M 22 (NGC 6656), Sagitario.
Foto: Sergio Eguivar.

Clase VIII: Omega Centauri (NGC 5139), Centauro.
Foto: Sergio Eguivar.

Clase IX: M 4, (NGC 6121), Escorpio.
Foto: Sergio Eguivar.

Clases IV, V y VI: sus núcleos siguen siendo densos y bastante compactos, pero comienzan a deformarse y a dispersarse hacia sus extremos.
Clase IV: M 28 (NGC 6626), Sagitario.
Foto: Sergio Eguivar.

Clase V: M 30 (NGC 7099), Capricornio.
Foto: Daniel Verschatse.

Clase VI: NGC 6752, Pavo.
Foto: *MCG Australian Observatory*.

Clases X, XI y XII: son muy dispersos hacia sus extremos y el brillo es homogéneo en casi toda la superficie, lo que los hace más tenues y menos contrastados con el fondo.
Clase X: NGC 3201, Vela.
Foto: Sergio Eguivar.

Clase XI: M 55, (NGC 6809), Sagitario.
Foto: Sergio Eguivar.

Clase XII: NGC 4372, Musca.
Foto: Daniel Verschatse.

1 Un año luz equivale aproximadamente a 10.000.000.000.000 de km.
2 Se trata del denominado canibalismo galáctico, donde las galaxias más grandes, como nuestra Vía Láctea, van desarmando y destruyendo por efecto de su atracción gravitatoria a sus galaxias satélites más pequeñas, e incorporan para sí su gas, polvo y estrellas.

COMETA LOVEJOY

Regalo de Navidad

Fue la mayor sorpresa astronómica observable a simple vista de los últimos tiempos: a fines de 2011, el cometa Lovejoy (C/2011 W3) ofreció un breve, raro y contundente espectáculo. El 27 de noviembre fue descubierto por el australiano Terry Lovejoy, un reconocido astrónomo aficionado "caza-cometas". Pocos días más tarde, los cálculos orbitales indicaron que el 16 de diciembre el cometa pasaría a menos de 200 mil kilómetros de la fotosfera solar (la "superficie" visible de nuestra estrella). Atravesar la corona solar, a millones de grados centígrados, era una prueba demasiado arriesgada para un pedacito de hielo y roca de apenas unos cientos de metros.

Afortunadamente, y contra la mayoría de los pronósticos, el cometa Lovejoy sobrevivió, y unos días más tarde apareció en los cielos australes poco antes del amanecer. El 18 y 19 de diciembre hacia las 4:30 h, astrónomos aficionados del hemisferio sur "rescataron" visualmente al sorprendente cometa, a baja altura sobre el horizonte sudeste.

El C/2011 W3 tuvo su momento culminante hacia la Navidad, cuando ya se había separado unos 20 a 25 grados del Sol. Según varios reportes y nuestra propia experiencia, el cometa desplegó una cola de casi 30 grados; una estela de gas y polvo tan larga que asomaba sobre el horizonte dos horas antes que la propia coma, la "cabeza" del cometa. A fines de diciembre, el cometa Lovejoy dejó de verse a ojo desnudo. Estas fotos, tomadas durante aquellos últimos días de 2011 en distintos puntos de la provincia de Buenos Aires, como la localidad de Rawson, la laguna La Brava en Balcarce y la de Chascomús, son nuestros recuerdos de aquel visitante tan inesperado como sorprendente. ■

Foto: Mariano Ribas

Laguna de Chascomús

Foto: Diego Hernández

Laguna La Brava, Balcarce

Foto: Mariano Ribas

Rawson, Pcia. de Buenos Aires

CULTURAS ANDINAS

Las Pléyades y las lluvias

Por Mariano Ribas, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires “Galileo Galilei”.

¿Es posible que un pequeño ramillete de estrellas azules “pronostique” el comportamiento de las lluvias con meses de anticipación? Una vieja tradición, muy extendida en los Andes centrales, parece confirmarlo. A comienzos de junio, los campesinos peruanos y bolivianos salen al encuentro del famoso cúmulo estelar de las Pléyades. Ellos saben que, según su brillo, estas estrellas les indicarán cómo se comportarán las lluvias en la primavera. Un dato vital, dado que ésa es la época de cultivo de su elemento esencial: la papa. No se trata de supersticiones, ni de falsas creencias, sino de saberes muy concretos, basados en la observación a simple vista y en las experiencias transmitidas de generación a generación durante siglos. ¿Cuál es el secreto de esta curiosa relación entre las Pléyades y las lluvias andinas?

Foto: Marta Icely

Las Pléyades (abajo, a la izquierda de la imagen), conocidas también como los “Siete Cabritos”, son un puñado de estrellas fácilmente visibles a simple vista. Un poco más arriba, las Hyades y la estrella roja Aldebarán. Todo en la constelación de Tauro.

Todos los años, poco antes de la llegada del invierno, los campesinos de los Andes de Bolivia y Perú repiten, generación tras generación, un ritual íntimo y silencioso. En los primeros días de junio, desafían la oscuridad y el frío más crudo de la alta madrugada, y salen en busca de una señal del cielo. Miran hacia el horizonte del este y esperan pacientemente la salida de un pequeño y brillante enjambre de estrellas. Y cuando finalmente asoman, un rato antes de la salida del Sol, las observan con sumo cuidado. Ellos saben que, según su aspecto, las Pléyades les revelarán qué pasará con las futuras lluvias durante la época del cultivo de la papa, en primavera. Un dato nada menor para la vida de estos pueblos andinos, que tanto dependen de aquel alimento esencial. No es raro, entonces, que para ellos, ese puñado de estrellas haya cobrado un enorme valor cultural, práctico y hasta afectivo, porque, créase o no, esta suerte de "predicción" funciona. Si así no fuera, la costumbre no hubiera sobrevivido el paso de los siglos.

¿Cómo es posible que las Pléyades "pronostiquen" el comportamiento de las lluvias primaverales en los Andes centrales? ¿Qué pueden tener que ver unas lejanísimas estrellas con los avatares pluviales terrestres? La respuesta es de lo más curiosa.

Estrellas veneradas

Las Pléyades son un puñado de estrellas brillantes y azules que forman un grupo especialmente compacto (ocupan sólo 2 grados en el cielo), fácilmente visible desde ambos hemisferios. Durante milenios, han llamado la atención de casi todos los pueblos de la Tierra, entre ellos, los habitantes de las regiones andinas de América del Sur. Las Pléyades fueron tradicionalmente veneradas por los incas, quienes utilizaban sus apariciones y desapariciones a lo largo del año como un confiable marcador temporal para organizar sus plantaciones. Esas prácticas se prolongaron de generación en generación, hasta llegar a los actuales campesinos peruanos y bolivianos que habitan la zona andina.

La relación "brillo-lluvias"

Según las tradiciones andinas, el brillo de las Pléyades durante las primeras madrugadas de junio tiene directa relación con las lluvias de la primavera. Cuanto más brillantes se vean esas estrellas, más lloverá en octubre y noviembre. Son datos cruciales, dado que en esos meses se cultiva la papa, el alimento base de toda la región. Si llueve mucho, todo saldrá bien. Pero si las Pléyades brillan menos, anuncian lluvias pobres, y las cosas se complicarán, porque las papas son muy vulnerables ante las sequías. Entonces, los campesinos deberán demorar las plantaciones hasta diciembre o enero, y esperar las fuertes y confiables lluvias de verano.

A primera vista, esta antigua regla puede resultarnos una mera superstición, como aquellas que pretenden vincular a los astros con la vida de las personas. Lo curioso es que, a diferencia de las ingenuas supersticiones astrales, esto funciona desde hace siglos.

Camino a la explicación

La clave del asunto no está en las Pléyades, obviamente, sino en causas muchísimo más cercanas. El climatólogo estadounidense Benjamin Orlove, de la Universidad de California, se ocupó del tema con especial cuidado e interés. A partir de distintos registros meteorológicos de las regiones andinas de Bolivia y Perú, descubrió que los culpables de los cambios de brillo de las Pléyades (a comienzos de junio y de un año con respecto a otro), podían ser los cirrus: nubes largas y muy finas que flotan de 6 a 12 mil

Según las tradiciones andinas, el brillo de las Pléyades durante las primeras madrugadas de junio tiene directa relación con las lluvias de la primavera. Cuanto más brillantes se vean esas estrellas, más lloverá en octubre y noviembre.

Un campesino peruano en una plantación de papas en los Andes. Foto tomada por la antropóloga Kate Dunbar, de la Universidad de Georgia, Estados Unidos.

Foto: Alejandro Antognoni y Carlos Di Nallo

Un clásico del cielo

Las Pléyades, también conocidas como los "Siete Cabritos" o las "Siete Hermanas", son una de las atracciones más populares del cielo. Sus seis o siete estrellas más brillantes son azules y muy fáciles de ver a ojo desnudo. Hasta el más modesto de los telescopios revela, al menos, veinte o treinta estrellas más, todas apiñadas en un compacto parchecito del cielo, en la constelación de Tauro. En realidad, son un típico Cúmulo Abierto, una colección de cientos y cientos de soles a 400 años luz de la Tierra.

metros de altura. Son tan delgadas y están tan altas que no se ven a simple vista, pero actúan como sutiles velos que filtran ligeramente la luz de las estrellas, haciéndolas parecer un poco más pálidas, especialmente a los ojos de observadores experimentados. En síntesis, con cirrus durante junio, las Pléyades se ven más tenues.

Orlove y su equipo revisaron meticulosamente unos enormes archivos, con registros de lluvias entre 1962 y 1988 en los Andes bolivianos y peruanos. Encontraron una relación de lo más sugerente: en los años en que se manifestaba la famosa corriente de *El Niño*, la temporada de lluvias en la región se demoraba más de lo habitual. En lugar de comenzar a principios de octubre, las precipitaciones arrancaban recién a mediados de noviembre, o más tarde aún.

Sólo nos queda un detalle clave para completar el rompecabezas de las Pléyades y las lluvias: uno de los efectos más típicos de *El Niño* es la abundante formación de cirrus en la zona andina. Ése, justamente, es un fenómeno meteorológico que empieza a manifestarse en junio y que, además, es apenas un anticipo de lo que ocurrirá meses más tarde: lluvias pobres y tardías.

El Niño juega con estrellas

El ancestral misterio de las Pléyades y las lluvias andinas parece resuelto. En los años "normales", los cirrus son bastante escasos y no alteran la luminosidad de las famosas estrellas. Por eso, cuando los campesinos peruanos y bolivianos salen a mirarlas en las gélidas madrugadas de junio, las ven normalmente brillantes y deducen que las lluvias llegarán en octubre. Pero en los años en que *El Niño* ataca, los cirrus son abundantes en junio y julio, les quitan esplendor a las Pléyades y dan la alarma visual de que las lluvias llegarán tarde.

Ni milagros, ni magia, ni poderes ocultos. Detrás de los ricos conocimientos tradicionales de los pueblos, basados en la empiria y en la experiencia cotidiana, transmitidos de generación en generación, se esconden los hilos de la naturaleza. Hilos que, en este caso, unen a las lluvias vitales con un cúmulo de estrellas azules. ■

Un punto en el cielo con un brillo especial

Por Matilde Iannuzzi, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

Es el asteroide designado con el nombre "Anadiego", por pedido del Dr. Adrián Brunini, actual decano de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (FCAGLP), el mismo día en que se conmemoraban los 35 años de la desaparición de Ana Teresa Diego. Ella fue una de las miles de víctimas arrancadas de sus familiares y amigos por la última dictadura militar argentina, otro de los gobiernos de facto que se instalaron en América Latina. Ana era estudiante del tercer año de la carrera de Astronomía y militaba en la Federación Juvenil Comunista. Fue secuestrada el 30 de septiembre de 1976, a metros de la puerta del Observatorio, en el camino que va hacia el Museo de Ciencias Naturales. Ese camino es el que hacemos diariamente los estudiantes de Astronomía para cumplir nuestro sueño, como el que Ana tenía y se esforzaba por alcanzar. Allí, en ese lugar tan cotidiano e importante para ella, bajo la luz del Sol, fue obligada a subirse a un auto, para nunca más ser vista.

En una carta abierta a Ana, su madre Zaida se alegra de tener un lugar adonde poder encontrarla. Es el asteroide 11441, que se encuentra girando alrededor del Sol en el Cinturón Principal de Asteroides, entre las orbitas de Marte y Júpiter. Fue descubierto por Mario R. Cesco, astrónomo que pertenecía a la misma institución que Ana, el 31 de diciembre de 1975, en el Complejo Astronómico El Leoncito, en la provincia de San Juan.

En el documental "Polvo de Estrellas", su madre y sus compañeros la recuerdan como una chica muy estudiosa, involucrada con el pueblo y, principalmente, siempre sonriente y firme en sus convicciones; alguien que dejó de lado la pasividad para tener como prioridad no sólo sus estudios, sino también la lucha para conseguir una sociedad más igualitaria.

Quienes hacemos divulgación de la Astronomía siempre intentamos explicar los enormes números que maneja esta ciencia. Llevamos grandes distancias y tamaños a una analogía mundana. Pero cuesta imaginar que en Argentina faltan 30.000 estudiantes, profesores, científicos, artistas, escritores, obreros de cada hogar que no eran ni pobres tipos ni locos, sino que estaban comprometidos socialmente por un país mejor. Hoy, desde distintos sectores, se los reconoce y se hace justicia por ellos, y cada día se aporta un recuerdo para no olvidarlos. Es difícil no imaginar que Ana podría ser una docente nuestra, que entre charlas de pasillo nos transmitiera su pasión y sus consejos, como lo hacen otros hoy. En cada rincón del Observatorio hay un homenaje para recordarla: desde una placa junto al aljibe del edificio central, una escultura donada recientemente por el Partido Comunista (foto), el compromiso de los alumnos para que el local del centro de estudiantes (CEGA) se llame Ana Teresa Diego, sea cual fuese la agrupación que pase por él; y hasta su nombre para un asteroide.

Desde ese pequeño punto, Ana está viajando y viendo a la Tierra como otro punto azul sumergido en un océano sideral. ¿Podrá ahora esa alma inquieta seguir maravillándose del resto del inmenso y hermoso Universo al que pertenecemos? ■

NdeR: El pasado 11 de abril la madre de Ana comunicó a la FCAGLP que el Equipo Argentino de Antropología Forense había identificado sus restos, hallados en el cementerio de Avellaneda. Luego de 35 años buscando su cuerpo, su familia puede sentir que poco a poco se va llenando un vacío obligado.

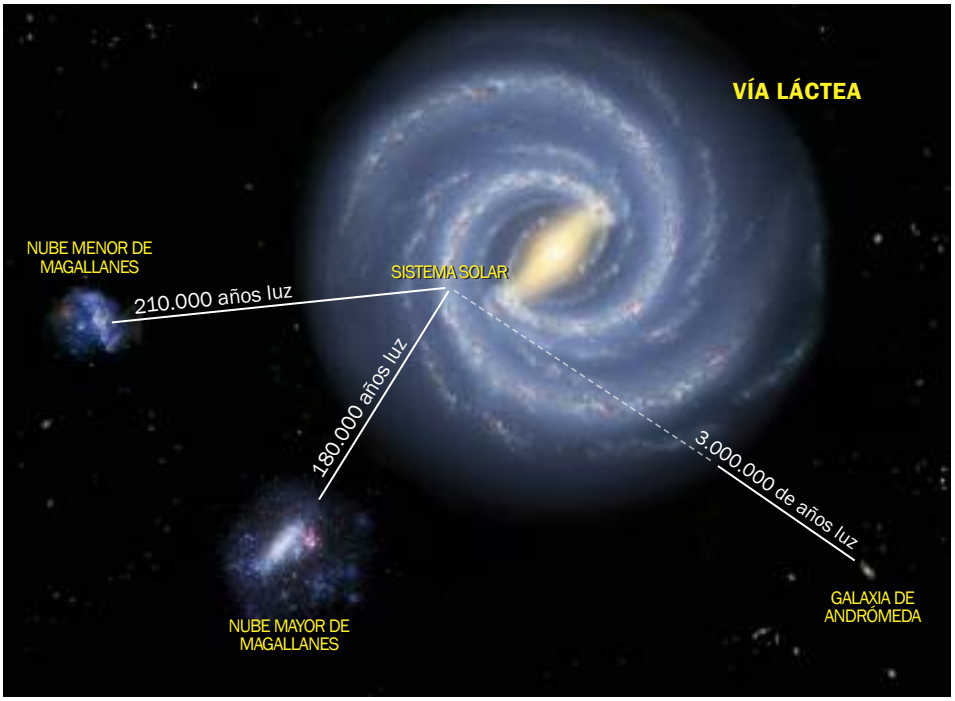
Los asteroides son cuerpos menores del Sistema Solar. Hay millones, son sólidos y de distintos tamaños, desde algunos centímetros hasta varios cientos de kilómetros. Cuando se descubre uno, se lo registra con un número de catálogo. Luego, el Comité de Denominación de Cuerpos Menores de la Unión Astronómica Internacional (IAU) es el encargado de evaluar las propuestas enviadas por distintas instituciones o personas para adjudicarle un nombre. La confirmación de la aprobación del nombre "Anadiego" llegó el 5 de diciembre del 2011, mediante una comunicación muy emotiva de Julio Fernández, astrónomo uruguayo integrante del comité, reconocido por haber propuesto la definición actual de "planeta" en la reunión de agosto de 2006 de la IAU.

DEBATES QUE CAMBIARON LA COSMOLOGÍA ACTUAL

El Universo en una galaxia

Por Magdalena Ruiz Alejos, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

Todo conocimiento que damos por sentado tiene en realidad su génesis. Las propias concepciones que la humanidad tiene hoy acerca del lugar que ocupamos en el Universo sufrieron modificaciones a lo largo de la historia, incluso en tiempos no tan lejanos como principios del siglo pasado.



La forma de la Vía Láctea, desde "afuera", tal como los astrónomos la suponen gracias a los estudios realizados desde "adentro". El Sol se encuentra a unos 27 mil años luz del centro, en uno de sus brazos espirales, y tarda unos 230 millones de años en recorrer su órbita elíptica (año galáctico). Por fuera, pero "cerca", las Nubes de Magallanes (a 180 y 210 mil años luz).

En la actualidad, cualquier chico de escuela primaria posee suficiente información y sabe que el Sol es una estrella y que la Tierra se traslada a su alrededor. También es probable que pueda relacionar estos hechos con un tal Copérnico, quien pateó el tablero cosmológico sostenido durante generaciones. Este suceso de trascendental importancia para la humanidad, que provocó su descentramiento y le quitó el lugar privilegiado –apuntalado por la física aristotélica y otorgado por Claudio Ptolomeo en el siglo II–, no fue un caso aislado, único e irrepetible en la historia de la Astronomía.

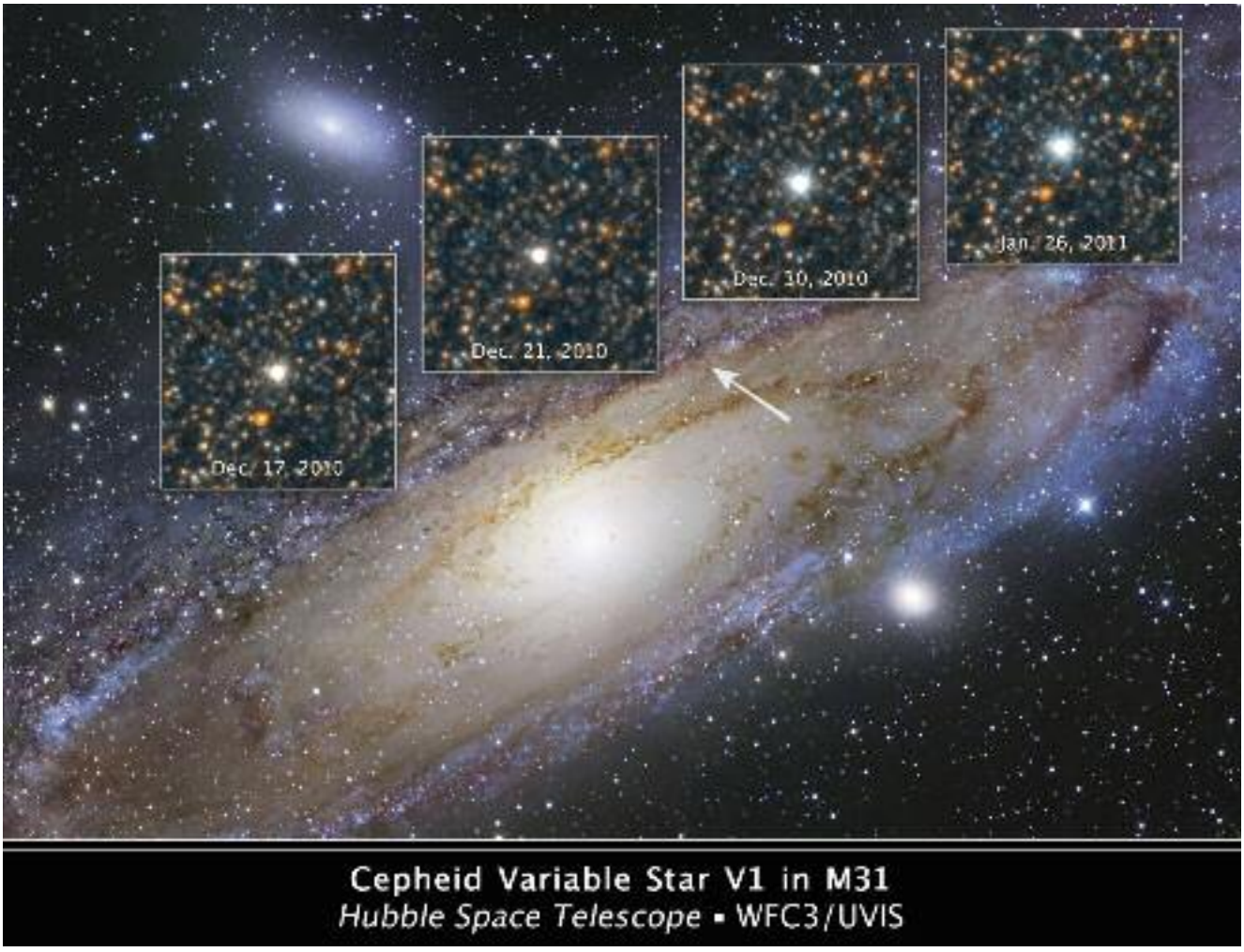
Cuando les mostramos a los chicos una representación de nuestra galaxia, la Vía Láctea, y les preguntamos dónde creen que está el Sol, todos –sin ningún atisbo de duda– responden: "¡En el centro!". Eso fue lo que creyeron astrónomos, físicos, filósofos y tantos hombres de ciencia desde el siglo XVII en adelante.

La respuesta es incorrecta. Sin embargo, se abren varios interrogantes. ¿Hasta cuándo perduró esa convicción en la ciencia? ¿Quién vino a patear el tablero esta vez? ¿Por qué esa respuesta incorrecta perdura hoy en el imaginario colectivo?

La última pregunta es quizás bastante fácil de deducir. Estamos lejos de aquellos tiempos inquisitorios en los que la sola proposición de teorías adversas a las dominantes podía ser apagada por la tortura y el fuego. En la actualidad, un científico puede ser ignorado y marginado por sus colegas. Aun así, puede seguir viviendo, sin atravesar juicios que lo obliguen a arrepentirse. Tal vez por eso, este último descentramiento que desplaza al Sol y sus planetas a un brazo alejado del núcleo galáctico, no ha golpeado nuestras fibras más egocéntricas y ha quedado al margen de la sensibilidad popular.

Se mueve

El modelo geocéntrico tuvo sus cuestionamientos antes de Nicolás Copérnico (1473-1543). En la Antigüedad, Aristarco de Samos proponía poner a la Tierra en movimiento; y en el Medioevo, Nicolás de Cusa, que no se oponía al modelo geocéntrico, cuestionaba algunos de los clásicos argumentos en contra del movimiento terrestre. El libro de Copérnico, *Sobre las Revoluciones de las Esferas Celestes*, publicado en 1543, fue inicialmente ignorado por la Iglesia. Así pasó inadvertida la posibilidad de que generara una revolución, hasta que otros, como Galileo y Kepler a principios del siglo XVII, retomaron sus teorías y pretendieron elaborar una nueva cosmología. Copérnico había sugerido que las estrellas estaban lo suficientemente alejadas como para que mostraran una diferencia angular en observaciones realizadas desde distintos lugares de la Tierra. Este argumento no fue aceptado desde



La Galaxia de Andrómeda, tomada por el Telescopio Espacial Hubble, en la que se destaca el aumento del brillo de una estrella variable Cefeida (NASA, ESA, HST, R.Gendler).

el principio debido a la imposibilidad de concebir un Universo con dimensiones inimaginables. Sin embargo, el heliocentrismo se impuso por su mejor representación de los movimientos de los astros, especialmente, desde la eliminación de las órbitas circulares y los complejos epiciclos[1] de Ptolomeo. Gracias al análisis elaborado por Johannes Kepler a partir de las observaciones pre-telescópicas realizadas por Tycho Brahe, las órbitas circulares fueron reemplazadas por elipses y, además, se resolvieron cuestiones muy delicadas acerca del movimiento de retrogradación[2] de los planetas, especialmente, de Marte.

A esta altura, la inmutabilidad aristotélica de los cielos había sido atacada por varios flancos gracias a las observaciones telescópicas: cometas, detalles de cráteres y montañas en la Luna, las fases de Venus, los satélites de Júpiter...

Variables Cefeidas

Hay estrellas que presentan variaciones intrínsecas en sus brillos, es decir que se observan aumentos o disminuciones en la luz que emiten. Algunas tienen períodos de variación regulares y cortos –en comparación con otros tipos de estrellas variables–, de entre dos y cuarenta y cinco días. Es el caso de las llamadas Cefeidas, que llevan ese nombre porque la primera de su tipo observada fue *Delta Cephei*, en la constelación de Cefeo. Éstas son del tipo "variables pulsantes", que al contraerse y expandirse, producen cambios en sus brillos. Este tipo de estrellas se encontró también en algunos Cúmulos Globulares[3] y en la galaxia vecina de la Nube Menor de Magallanes, gracias a los estudios de Henrietta Leavitt, astrónoma estadounidense, en 1912.

Las Cefeidas estudiadas en la Nube Menor de Magallanes se encuentran, prácticamente, a la misma distancia de nosotros. Gracias a eso y a las comparaciones realizadas por Leavitt, se pudo es-

Desterrada de un lugar privilegiado, la Tierra y otros planetas son atraídos por una estrella que nos resulta la más brillante sólo por ser la más cercana. El Sol tampoco se encuentra en ningún lugar privilegiado en el Universo.

tablecer una relación período/luminosidad de estas estrellas, de modo tal que cuanto más dura el período, mayor luminosidad tendrá al finalizar el ciclo. La distancia de las Cefeidas pertenecientes a la Vía Láctea era conocida gracias al método trigonométrico llamado paralaje[4]. Pero con las estrellas muy lejanas es imposible utilizar paralaje para conocer sus distancias. Al comparar el brillo final de las Cefeidas más lejanas con aquellas cuya distancia era conocida, se confeccionó un parámetro y se pudo calibrar una escala de distancias. Este parámetro resultó ser la incongruencia entre el período de una Cefeida y su brillo final, que, al estar tan lejos, resultaba demasiado tenue en comparación con el brillo esperado.

Los debates de Shapley (izquierda) y Curtis generaron varios descentramientos.

Las dimensiones de la Vía Láctea

En la década de 1920 hubo una discusión, tal vez no demasiado popular ni vehemente, que desató varios descentramientos y que tiene antecedentes, por lo menos, de mediados del siglo XVIII. La discusión involucró a dos astrónomos, Harlow Shapley (1885-1972) y Heber Curtis (1872-1942), quienes buscaban aclarar algunas cuestiones acerca de las dimensiones de la Vía Láctea y el significado de las nebulosas.

Shapley recurrió a variables Cefeidas en los Cúmulos Globulares para cotejar sus distancias. Sabía ya que estos cúmulos conforman un círculo centrado en dirección a la constelación de Sagitario, y se suponía que allí se encontraba el centro de la Vía Láctea. Calculó la distancia y concluyó que el Sol se encontraba alejado del centro galáctico. Sin embargo, Shapley sobredimensionó el tamaño de la Vía Láctea al ignorar el efecto que el polvo interestelar produce en el brillo de las estrellas lejanas. Dada su escasa cantidad en el espacio, este polvo oscuro no afecta demasiado la observación de un objeto cercano, pero tiene un efecto acumulativo e incide a medida que se incrementan las distancias al objeto observado. Los 50.000 años luz calculados por Shapley para la distancia del Sol al centro galáctico se excedían casi el doble (imagen de la *página 33*).

Shapley analizó cefeidas de distinta naturaleza (tipo I o *RR Lyrae*, y tipo II) halladas en Cúmulos Globulares y en el halo galáctico, y al calibrar las distancias de manera incorrecta, produjo una incongruencia. Esto fue parte de la confusión que lo llevó a sobredimensionar la galaxia.

Curtis no acordaba con Shapley en cuanto a la posición del Sol en los márgenes de la Vía Láctea. Sin embargo, las observaciones realizadas por Jacobus Kapteyn (1851-1922) en 1904 acerca del movimiento de las estrellas alrededor del centro galáctico (las más cercanas al centro se moverían a mayor velocidad que las más lejanas, de la misma manera que lo hacen los planetas alrededor del Sol), llevaron a que en 1925 Jan Oort (1900-1992) confirmara la excentricidad de la órbita del Sol respecto al mismo centro. Kapteyn había descripto esos movimientos a partir de dos corrientes de estrellas que circulaban en direcciones opuestas.

Desterrados ya de un lugar privilegiado, compartimos la categoría de planeta con otros cuerpos que son atraídos, al igual que la Tierra, por una estrella que nos resulta la más brillante y grande tan sólo por ser la más cercana. Ahora, además, sabemos que esa estrella no se encuentra en ningún lugar privilegiado en el Universo. Pero no termina allí nuestra insignificancia ni la capacidad de los astrónomos de sorprendernos.

Nebulosas

Todas las estrellas que vemos a simple vista pertenecen a la Vía Láctea, nuestra galaxia. Pero no todo lo que vemos pertenece a ella. Hay algunos objetos difusos que, por su parecido con las nubes, fueron llamados nebulosas. No son estructuras similares a las nubes atmosféricas, sino que simplemente se asemejan por su apariencia difusa.

Dos de ellas se ven a simple vista en el hemisferio sur: las Nubes Mayor y Menor de Magallanes. Otra se ve desde ambos hemisferios, aunque se encuentra recostada hacia el norte, en la constelación de Andrómeda, y recibió el nombre de Nebulosa de Andrómeda. Otras nebulosas, como la de Orión o la de Carina, sí pertenecen a nuestra galaxia. Pero hasta hace poco tiempo esto no se sabía, aunque algunos lo sospechaban.

Hipótesis nebular vs. Universos islas

Heber Curtis se había opuesto a la teoría de Shapley que proponía un Universo conformado por una única galaxia gigante (con el Sol ubicado en sus márgenes), principalmente por desconfiar de la veracidad de las distancias mesurables medidas a partir de las Cefeidas. Curtis consideraba que la Vía Láctea tenía menores dimensiones y que no se trataba de la única estructura galáctica en el Universo.

Las raíces de este debate entre astrónomos del siglo XX debemos buscarlas a mediados del siglo XVIII. Immanuel Kant (alemán, 1724-1804) había propuesto que el origen del Sistema Solar era el de una nebulosa en rotación. Para ese entonces, el futuro astrónomo Simon Laplace (francés, 1749-1827) apenas contaba con seis años de vida, pero hacia finales del siglo propondría una teoría similar a la de Kant, sin haber conocido sus trabajos previos.

Kant, basándose en un modelo propuesto por el astrónomo inglés Thomas Wright (1711-1786), sugirió que las mismas reglas newtonianas del movimiento planetario podían ser aplicadas al conjunto de la galaxia, y consideraba que la nebulosa espiral Andrómeda podía estar compuesta por estrellas individuales en la misma me-

dida que la Vía Láctea.
A pesar de haber optado por una hipótesis nebular para explicar el origen del Sistema Solar, Kant no eligió la misma teoría para referirse a la nebulosa de Andrómeda. No creyó que fuera un sistema solar en formación, sino que la consideró una estructura compuesta por inmensas cantidades de estrellas, que no podía ser observada como tal desde la Tierra por estar a considerables distancias. Así nació la concepción de "Universos islas". Estas estructuras podían ser galaxias independientes de nuestra Vía Láctea.
El problema principal de esta teoría era que no se había podido observar ninguna estrella individual en Andrómeda, debido a las grandes distancias que nos separan de ella. Todo lo que los telescopios mostraban en esa época era una nube difusa con forma espiralada.
Laplace, por otra parte, incluía a la nebulosa de Andrómeda como un prototipo de sistemas estelares/planetarios en formación.
El tiempo pasó, y en 1885 se produjo un hecho revelador: una estrella explotó en Andrómeda. Algunas estrellas, al finalizar su vida, explotan como supernovas y emiten una cantidad de luz tan grande que, según la distancia a la que se encuentren, pueden destacarse repentinamente en el cielo como un nuevo astro. La supernova *S Andromedai* fue la primera "estrella" observada en esa galaxia.
Recién en 1917, desde el observatorio de Monte Wilson, EE.UU., Edwin Hubble (1889-1953) pudo observar estrellas aisladas en la nebulosa de Andrómeda. Y en 1923 encontró variables Cefeidas, gracias a las cuales (y ayudado por las relaciones conocidas entre período y luminosidad), calculó la distancia que nos separa de Andrómeda en 800.000 años luz[5].
Dados los resultados, Hubble propuso que las nebulosas debían ser diferenciadas entre "extra galácticas", categoría a la cual pertenecía Andrómeda, y "galácticas", cuyo exponente era la Nebulosa de Orión. La primera categoría comprendía a aquellas estructuras que estaban compuestas por grandes cantidades de estrellas; la segunda, se trataba de nubes de gas y polvo en el interior de la Vía Láctea, donde se podían observar estrellas en formación. Finalmente, el aporte filosófico hecho por Kant resultó ser acertado y comprobado observacionalmente dos siglos después de haber sido formulado.
En cuanto al debate Curtis-Shapley, el primero estaba en lo cierto acerca de que las "nebulosas espirales" no pertenecían a la Vía Láctea. Sin embargo, Shapley estaba acertado respecto a la excentricidad de la órbita del Sol en la Vía Láctea. Y fue Shapley quien propuso que Andrómeda y Orión no podían compartir la misma terminología. Andrómeda, por tratarse de una estructura exterior a la Vía Láctea, tenía que ser llamada galaxia; y Orión, junto con otras estructuras similares, conservaría el nombre de nebulosa. Muchos objetos fácilmente observables con pequeños telescopios resultaron ser galaxias.

En 1912 Henrietta Leavitt encontró estrellas variables Cefeidas en Cúmulos Globulares y en la Nube Menor de Magallanes.

Rechazo y comodidad

El conocimiento científico es patrimonio de toda la humanidad, y es generado a partir de una combinación peculiar de mentalidades con la suficiente apertura como para –en ciertos contextos sociopolíticos que lo permitan– retomar y reformular ideas que los precedieron, o formular nuevas teorías radicalmente opuestas para mostrar caminos que antes parecían inexistentes. Nos desacomodan y nos corren de ese lugar en el que nos sentíamos seguros, y provocan, por lo tanto, un lógico rechazo. Ese rechazo cede con el tiempo, una vez que nuestras mentes se adaptan a esas nuevas cosmologías, y volvemos a sentirnos tan cómodos como peces en el agua. ¿Cuánto dura ese sentimiento confortable de seguridad? Por suerte, muy poco tiempo. ■

1 **Epiciclos:** en el modelo geocéntrico de Ptolomeo, eran los círculos que contenían a los planetas y que, a su vez, giraban sobre otros círculos que representaban a las propias órbitas de los planetas.
2 **Retrogradación:** es el movimiento aparente que presenta la trayectoria de un planeta, observado desde la Tierra, gracias al cual parece estar yendo "hacia atrás", es decir, de este a oeste.
3 **Cúmulos Globulares:** son agrupaciones de estrellas en función de la gravedad que, a diferencia de los Cúmulos Abiertos, presentan una forma esférica que deja poco espacio entre las estrellas.
4 **Paralaje:** es un efecto angular que provoca que dos observadores ubicados en dos lugares distintos de la superficie terrestre, vean un objeto en una posición diferente con respecto al fondo. El ángulo que se forma entre el objeto observado y las líneas proyectadas hacia él desde los dos puntos de observación, permite determinar la distancia.
5 Hoy se sabe que la galaxia de Andrómeda se encuentra a casi 3 millones de años luz.

Bibliografía

Asimov, Isaac. El Universo. De la Tierra plana a los Quásares. Alianza Editorial, Madrid, 1971.
Abramson, Guillermo. Viaje a las Estrellas. Siglo XXI Editores, Ciencia que Ladra. Bs. As., 2010.
Lindberg, David C. Los inicios de la ciencia occidental. Ediciones Paidós Ibérica, S. A. 1992.
http://astronomiainiciacion.blogspot.com/2008/01/las-cefeidas.html
http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~egiorgj/cumulos/historica/debate/grandebate.pdf
http://antwrp.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/debate20.html

Como obras de arte

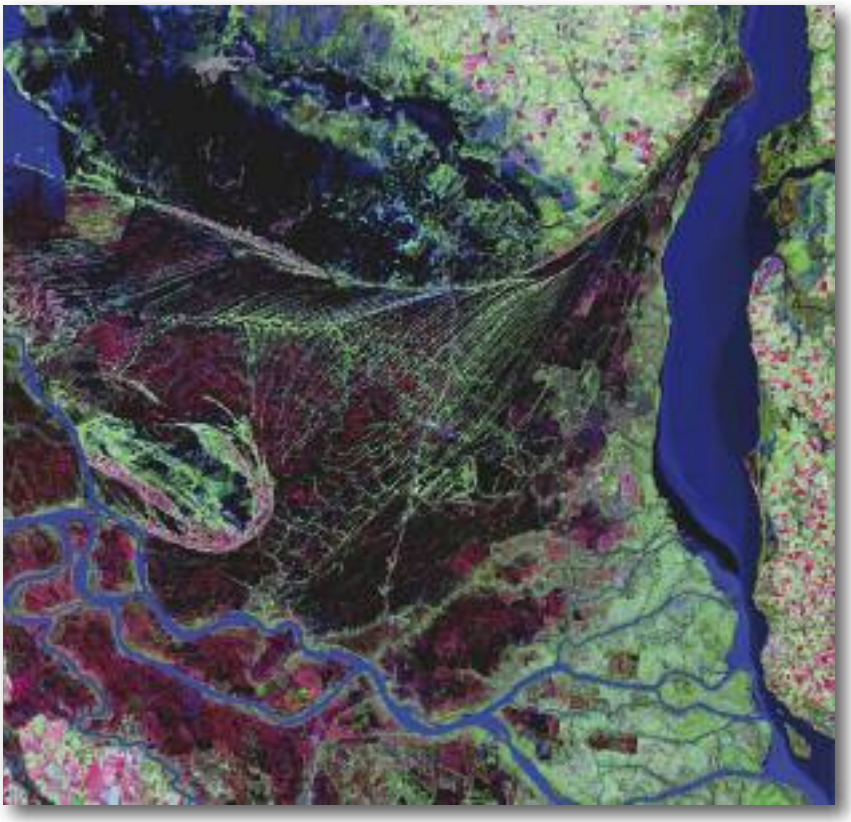
Por Graciela Cacace, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires "Galileo Galilei".

La posibilidad de analizar a nuestro planeta desde más de 500 kilómetros de altura ha permitido obtener imágenes realmente espectaculares. Más allá de la importancia y la utilidad científica, ciertas imágenes satelitales, de enorme atractivo visual, se asemejan a verdaderas obras de arte. En la *Web* se puede visitar el sitio *Earth as Art* (http://earthasart.gsfc.nasa.gov/image_index.html), donde se encuentra un catálogo completo de las imágenes satelitales seleccionadas originalmente por la NASA. Estos son algunos ejemplos que elegimos para compartir.

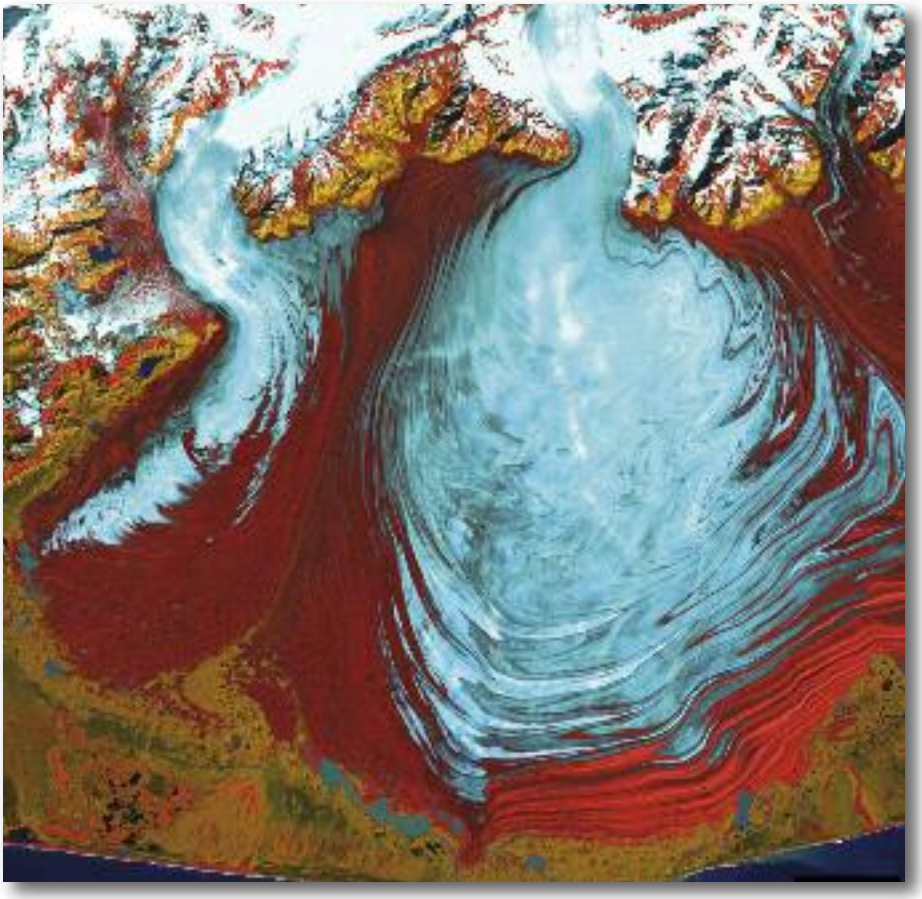
Cabo San Antonio, al sureste de la provincia de Buenos Aires, un extremo de la bahía de Samborombón, frente al Mar Argentino. Al norte del cabo se encuentra Punta Rasa, y al sur, Punta Médanos, áreas de reservas naturales y de emplazamiento de faros. Imagen satelital tomada por el LANDSAT 7.

Delta del Lena, en Rusia. El río Lena es uno de los más largos del mundo y desemboca en el Mar de Láptev, en el Océano Glacial Ártico, en un delta que ocupa una superficie de más de 10.000 km². La zona visible es refugio y reserva de las principales especies de vida salvaje en Siberia. Imagen satelital tomada por el sensor ETM+ LANDSAT 7.

El LANDSAT 7 fue puesto en órbita en 1999 y fue el último de un grupo de satélites lanzados por la NASA (Estados Unidos). Su órbita heliosincrónica le permite pasar siempre a la misma hora por un determinado lugar, transmitiendo más de 500 imágenes por día. En tan sólo 15 días cubre toda la superficie terrestre. El instrumento más importante a bordo del satélite es el *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), un sensor multiespectral que provee imágenes con 8 bandas espectrales y con una resolución espacial de 30 metros en las bandas visibles e infrarrojo cercano.



Delta del río Paraná. Posee una superficie de 17.500 km², y se forma con el constante depósito de sedimentos erosionados en el Altiplano Boliviano, debido a la acción de los ríos Pilcomayo y Bermejo. Estos dos ríos son afluentes del río Paraguay y subafluentes del Paraná. El área del delta es compartida por las provincias de Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires. La confluencia del río Paraná con el río Uruguay da origen al Río de La Plata, el más ancho del mundo. Este delta es una de las regiones ideales para la observación de aves y naturaleza en general. Imagen satelital en bandas rojo, verde e infrarrojo del sensor ETM+ LANDSAT 7.

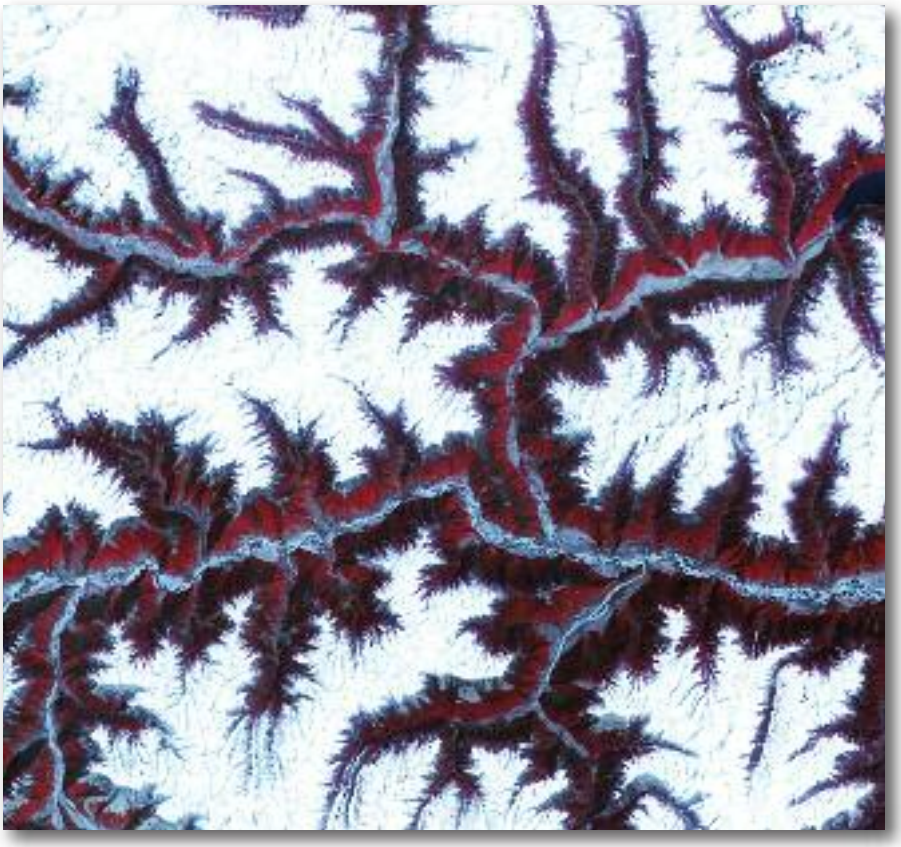


Una lengua del mayor glaciar de Alaska, el Malaspina, de 65 km de ancho, 45 km de longitud y una superficie de aproximadamente 3900 km². El glaciar, en retroceso como consecuencia del calentamiento global, se encuentra protegido dentro de los límites del Parque Nacional y reserva Wrangell-San Elías. Imagen satelital en bandas rojo, verde e infrarrojo del sensor ETM+ LANDSAT 7.

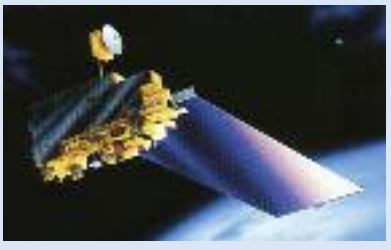
Imagen satelital del LANDSAT 7 de las dunas más altas del mundo, de unos 300 metros, en el Parque Nacional Namib-Naukluft, Namibia. El desierto del Namib se encuentra a lo largo de la costa y posee una extensión cercana a los 80.000 km^2. Las dunas más cercanas al mar forman alineaciones paralelas a la costa debido a los vientos dominantes del oeste. En el interior del desierto, las dunas tienen forma estrellada. El color se debe al alto contenido de hierro, además de cuarzo. El origen de las arenas está en el río Orange, que las arrastra y deposita en el mar, para luego ser llevadas hacia el norte por la corriente marina de Benguela.

El extenso delta del río Ganges, en la India, vuelca sus aguas y toneladas de sedimentos en el Golfo de Bengala, en el Océano Índico. El río Ganges desemboca junto con el río Brahmaputra, y ambos forman uno de los mayores deltas del mundo. La región del delta alberga un denso bosque de manglares, principal hábitat del tigre de Bengala. Allí se encuentra el Parque Nacional de Sundarbans, declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1997.

Shoemaker, en una zona muy árida del oeste de Australia, es el cráter más antiguo conocido en la Tierra. Su origen se remonta a unos 1700 millones de años y es producto del impacto de un meteorito. El cráter, de 30 km de diámetro, alberga lagos estacionales que, con la alta evaporación del agua, generan depósitos de sales de colores llamativos. Eugene Shoemaker fue un geólogo dedicado a la investigación de cráteres de impacto, tanto terrestres como lunares, y de los objetos astronómicos que los formaron. En 1983 descubrió el primer cometa de una serie de 32 que llevan el nombre de Shoemaker. En 1994, el cometa Shoemaker-Levy 9 se hundió en el cuerpo gaseoso del planeta Júpiter.



La cordillera del Himalaya es la más elevada y más joven del mundo, con más de 40 montes que superan los 7000 metros sobre el nivel del mar. El monte Everest, con 9 km, es el más alto del planeta. La zona es rica en recursos de glaciares y concentra el mayor volumen de aguas dulces después de los polos ártico y antártico. La imagen tomada por ASTER muestra los Himalayas al sudoeste de China.



ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) fue lanzado en la plataforma del satélite TERRA en diciembre de 1999. Brinda información en 14 bandas, por tal motivo, sus imágenes son utilizadas para la interpretación geológica y ambiental.

HISTORIA GEOLÓGICA DE LA ARGENTINA Y SUDAMÉRICA

Trabajo de retazos

Por Roberto Ares *

Como todos los continentes, Sudamérica tiene una historia voluptuosa, con acontecimientos dramáticos y violentos. Un dramatismo que corre en cámara lenta pero con una violencia volcánica. La corteza se fractura y se sutura regularmente, y sus fragmentos son guiados por las corrientes de convección del manto en el interior del planeta. La interacción entre fragmentos se interpreta mediante la teoría de la Tectónica de Placas. Lo que sigue es la Historia Natural Geológica de nuestro "país" y del continente sudamericano.

Viejos son los cratones

Sudamérica atesora recuerdos geológicos desde los primeros estadios de la Tierra, hace 3800 millones de años (Ma). Pero, aunque la vida se había iniciado en una etapa muy temprana en el mar, la Tierra no tenía aún una estructura continental apropiada para albergarla. Y la clave estaba en el interior del planeta.

La Tierra tiene 6400 km de radio. El **núcleo interno (5100-6400 km de profundidad)** es de hierro sólido, mientras que el **núcleo externo (2900-5100 km)** es de hierro líquido. En el núcleo externo existe una corriente convectiva[1], responsable del magnetismo terrestre.

Por encima del núcleo se encuentra el **manto (35-2900 km)**, que a pesar de ser denso también tiene corrientes convectivas que disipan el calor del núcleo. Durante el período conocido como eón[2] Arqueano (3800-2500 Ma) el calor generado por la Tierra era mayor al actual. Recién hace 2300 Ma comenzó la convección en el manto, de forma que el calor interno se bombeaba hacia la superficie. Entonces aumentó tanto la actividad de tectónica de placas como la volcánica en la **corteza (0-35 km)**. El proceso convectivo en el manto permitió el crecimiento de la corteza continental.

La corteza está formada por dos tipos de rocas: las **continentales** son más livianas y flotan sobre el **basalto**. El basalto es el fondo marino, que emerge en las dorsales oceánicas y se sumerge cuando choca con un continente.

Se denomina **cratones** (o basamento cristalino) a las áreas continentales más antiguas, formadas hasta el final del eón Proterozoico (2500-542 Ma). Han sido afectados muy poco por fragmentaciones o deformaciones. Derivan y chocan con otros cratones, y siguen la dinámica de la tectónica de placas. Por eso no debe pensarse en algo estanco y homogéneo. Debido a su edad, los cratones son llanos o de relieve bajo y redondeado, y guardan recuerdos del inicio de la Tierra y de los orígenes de la vida.

Los cratones que componen Sudamérica son tres:

-Amazónico: en su parte media está sumergido bajo la cuenca del río Amazonas.
-Sao Francisco: hace 130 Ma se escindió de su hermano, el cratón Congo en África.
-Río de la Plata: se extiende desde el sur de Brasil, Uruguay y noreste de Argentina, y probablemente se hermana con el cratón Kalahari.

En la **Figura 1** se muestra la distribución de los cratones que ocupan casi la mitad de la superficie de Sudamérica. La otra mitad se formó por el agregado de placas cercanas en el período 550-350 Ma, junto con el vulcanismo y la sedimentación de

Figura 1. *Los cratones de Sudamérica inmersa en la actual geografía. Se extendían dentro de África hasta que la división de Gondwana los separó mediante el rift centro-atlántico. Las flechas rojas muestran la zona de acreción iniciada en el Cámbrico, hace alrededor de 500 millones de años.*

toda la historia reciente.

Como puntas de iceberg

La parte argentina del cratón del Río de la Plata se encuentra casi cubierta en su totalidad. Sólo emerge en la Isla Martín García (2000 Ma) y en las sierras de Tandil. Se extiende hasta Córdoba, donde sus sierras tienen 540 Ma, y fueron creadas al inicio de la acreción[3] de placas.

La región de Tandilia, al sur de la provincia de Buenos Aires, ofrece la vista más austral del grupo de cratones sudamericanos. Tiene una edad de 2200-1800 Ma y está "decorada" por varios plegamientos posteriores. Del final de este período son los depósitos marinos que se hermanan a los existentes al sudoeste de África. En el período Ordovícico (488-444 Ma) se produjo una deposición de sedimentos de cuarzo asociados a una rica fauna marina, lo que nos recuerda cómo cambian las costas y la geografía a largo plazo.

El cratón del Río de la Plata se hunde por debajo de la cuenca del río Salado, de forma que emerge en los extremos (Tandilia y Martín García). La ciudad de Buenos Aires está sobre el mismo basamento cristalino. La historia de la cuenca del río Salado se inició con la apertura del océano Atlántico a fines del Jurásico (140 Ma). En aquel momento se producían las primeras evidencias de la fractura de Gondwana, como una fractura triple en forma de T que partía desde el rift centrooceánico hacia el interior del continente. Más tarde, la falla de corte hacia el interior se interrumpió, el aporte de calor desde el manto cesó y se inició el hundimiento de la base del cratón (**Figura 2**).

Cuando se inició la apertura del Atlántico las fracturas fueron intentando abrirse camino por diferentes rutas. La combinación de diversos factores (las fuerzas desde el manto, el grosor y dureza del cratón, las temperaturas zonales, etc.) seleccionó el camino más apropiado. Otras rutas quedaron abortadas, como en las cuencas del Salado y del río Colorado.

Al sudoeste de Tandilia se encuentra el conjunto de Ventania, constituido por tres grupos de sierras casi paralelas de finales del Precámbrico (600 Ma), con deformaciones por plegamientos del Ordovícico-Devónico (488-359 Ma). Las sierras aparecen debido a un proceso de compresión proveniente del sudoeste, que coincide con la acreción de la placa Patagónica. La Ventania constituye el basamento de la cuenca del río Colorado.

Romper para volver a armar

Según el llamado ciclo de Wilson, los supercontinentes se fracturan y vuelven a unirse en forma cíclica. Al inicio del eón Proterozoico (2500-542 Ma), la cratonización y la tectónica de placas habría formado un supercontinente llamado **Columbia** (2000 Ma). Al siguiente se lo llama **Rodinia** y se extendió durante 1100-750 Ma. Hace 600 Ma algunos fragmentos de Rodinia volvieron a unirse en **Pannotia**. El siguiente supercontinente fue **Pangea** (340-140 Ma), que se encuentra aún en plena etapa de dislocación.

En todos estos eventos estaba presente nuestra Sudamérica con los cratones Amazónico, Sao Francisco y Río de la Plata unidos. En Rodinia, Sudamérica estaba rodeada por África y la actual Norteamérica, llamada Laurentia. Al final de Pannotia, Laurentia comenzó un proceso de separación y deriva hacia el norte (**Figura 3**). La próxima separación sería de África, hace 130 Ma.

Desde el período Cámbrico hasta el Devónico (542-359 Ma), varias placas en sucesión se agregaron contra el cratón del Río de la Plata. Todas provienen de la fragmentación de Gondwana y Laurentia. Las placas que estaban cerca se agregaron nuevamente (Pampia, Famatina, Patagonia, Puna y Arequipa). Basados en la coincidencia

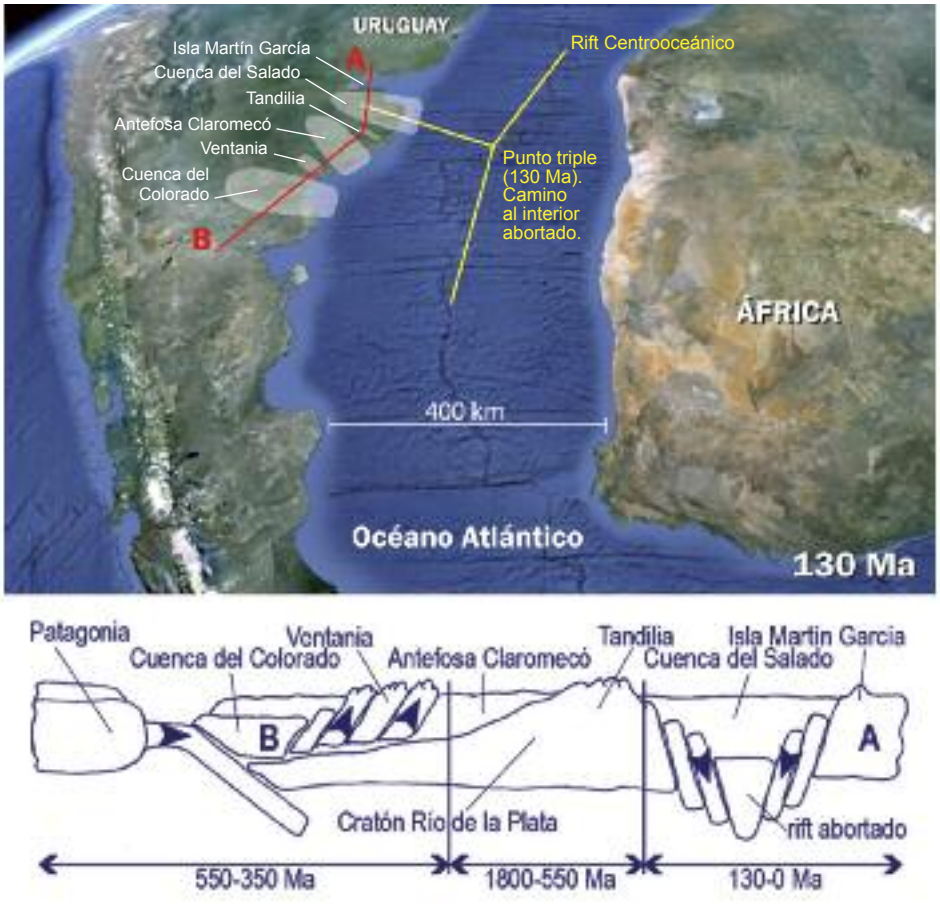


***Figura 2**. El perfil geológico actual de la provincia de Buenos Aires muestra a Tandilia y Ventania separados por la antefosa de Claromecó. Están constituidos por materiales y procesos muy distintos. Tandilia es el extremo sur de los cratones de Sudamérica. Ventania es una formación construida por el desplazamiento y la elevación hacia el nordeste debido a la aproximación de la placa Patagónica. Más al norte de Tandilia, el cratón fue partido por un rift derivado del centro-oceánico que luego se abortó (desde el punto triple) y que hoy aparece hundido bajo la cuenca del río Salado con más de 6000 m de espesor.*

de los restos fósiles, se sugirió que, con posterioridad, otras placas se fragmentaron de Laurentia (Cuyania y Chilenia). Mientras, otras pudieron agregarse al cratón Amazónico, pero migraron más tarde en el sentido opuesto y se encuentran hoy más al norte. Tal es el caso de Oaxaquia (actual México) y Chortís (Honduras-Guatemala) (**Figura 3**).

Tras esta cadena de eventos, hace unos 330 Ma, Sudamérica se posicionó –dentro del supercontinente Pangea– cerca del polo sur y formó glaciares. Para el Cretácico (130 Ma) se inició la fragmentación en una serie de eventos que aún continúa y que es coherente con el mencionado ciclo de Wilson. Pero volvamos unos pasos para presenciar la danza de las placas en movimiento.

Todos juntos, ahora

Durante el período Cámbrico (542-488 Ma), una placa conocida como Pampia colisionó contra el cratón del Río de la Plata y se suturó en el límite oeste de las sierras de Córdoba, que habían sido levantadas por vulcanismo poco tiempo antes (600 Ma). Luego, durante el Ordovícico (488-444 Ma), dos pequeñas placas se agregaron al sistema contra Pampia: Famatina formó las sierras al este de Chilecito, en La Rioja, y Cuyania se suturó en las sierras de Valle Fértil, San Juan. En el Devónico (416-359 Ma), una placa conocida como Chilenia, que provenía del oeste, se agregó para formar la actual precordillera argentina. Más al sur, en la región andino-patagónica, hay conjuntos rocosos que sugieren una colisión de dos placas continentales: la placa Patagónica y el cratón del Río de la Plata. Esto habría ocurrido entre el período Cámbrico (540 Ma) y el Carbonífero (350 Ma), con la acreción de la placa Patagónica a la altura de la ciudad de Neuquén. Esta acreción sería la responsable de la formación de la Sierra de la Ventana (**Figura 2**). Hacia el norte, las placas Puna y Arequipa impactaron a la altura de Bolivia durante el Cámbrico-Ordovícico (542-444 Ma). Cuando todo este proceso de agregación de placas finalizó, se reinició la subducción[4] del Pacífico. Este ciclo finalizó con el desmembramiento de Gondwana, donde Sudamérica comenzó su migración hacia el oeste. La subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana se incrementó y nacieron los Andes (ciclo Andino).

***Figura 3**. Posición relativa de las placas al final del Cámbrico. Se muestra a Puna-Arequipa en Bolivia y Perú; Pampia-Famatina-Cuyania-Chilenia en Argentina y Chile; y Patagonia al sur. Otras placas como Oaxaquia (México) y Chortís (Guatemala y Honduras) permanecieron cerca, pero finalmente migraron hacia Laurentia.*

Los supercontinentes se fracturan y vuelven a unirse en forma cíclica. La cratonización y la tectónica de placas habrían formado un supercontinente llamado Columbia hace 2000 millones de años. El siguiente fue Rodinia (1100 a 750 Ma), cuyos fragmentos volvieron a unirse en Pannotia hace 600 millones de años. Y luego fue Pangea (340-140 Ma), que aún se encuentra en plena etapa de dislocación.

En este movimiento de piezas hemos ocultado el vulcanismo, una figura clave que acompaña a los movimientos de placas debido a que fragiliza el subsuelo y aumenta la temperatura. La fase volcánica contemporánea en los Andes se debe a la subducción de la base del Pacífico (placa de Nazca) debajo de Sudamérica. Y así, mientras las placas y el vulcanismo daban forma al territorio, las cuencas y mares dibujaban los detalles del interior.

La frontera oeste

Sobre el Pacífico, el macizo de Arequipa moldeó las cuencas vecinas. En el período de 500-350 Ma, el noroeste de Argentina, Bolivia, Paraguay y Perú estuvo bajo una zona de deposición de mares poco profundos con frecuentes avances y retrocesos. Cerca de la ciudad de Salta hay afloramientos que provienen de este período y que muestran la costa dominada por olas y tormentas. Lo que podemos considerar el mar profundo estaba localizado en la actual frontera con Chile.

Hace 240 Ma la zona en cuestión era cruzada por fallas. La más importante es la falla de Valle Fértil (San Juan), y la formación Los Chañares era una planicie de inundación con canales. El clima se tornó semi-húmedo con estaciones marcadas, puestas en evidencia por la alternancia de capas negras (material orgánico) y capas claras. Por encima de Los Chañares se encuentran las formaciones Ischigualasto y Los Colorados. La aridez y las cenizas volcánicas ayudaron a la preservación de fósiles que se encuentran en estos lugares. Más tarde, la humedad aumentó y aparecieron ríos entrecruzados. Al final del Triásico, en la formación Los Colorados, la falla de Valle Fértil había cesado de moverse. El subsuelo se enfrió y causó el desplome de la fosa. Los rellenos provenían de las inundaciones bajo

un clima muy árido.
Más al sur podemos observar la sucesión geológica en Mendoza-Neuquén. Hace 300 Ma la costa del océano Pantalassa, que rodeaba completamente a Pangea, llegaba a la actual frontera argentino-chilena. Paulatinamente, la acción volcánica fue creciendo de forma que hace 250 Ma se depositaron gruesas capas de rocas que hoy forman el basamento de la cuenca Neuquina. Hace 185 Ma el océano ingresó profundamente en el territorio, con lo que se obtuvo una sedimentación marina y una costa en forma de golfo, con una cadena volcánica exterior. Hay constancias de que los reptiles marinos llegaban a reproducirse a esta región, de manera similar a como lo hacen hoy las ballenas en el Golfo San Jorge.
Las condiciones de aridez aumentaron a la vez que el cordón montañoso crecía, y se daban estaciones muy marcadas entre las secas y las húmedas. Cuando el cordón montañoso del lado chileno se elevó aún más, se dieron las condiciones para el primer ingreso de los mares desde el Atlántico (Mar de Kawas, 65 Ma).

Conservemos el agua

El ejemplo de Ischigualasto nos presentaba un clima árido de carácter zonal. Pero la aridez, en realidad, fue global, producto de una serie de acontecimientos que cambiaron el clima al final del Pérmico (251 Ma). Durante los períodos Triásico-Jurásico (251-146 Ma) las condiciones de aridez generaron extensas áreas desiertas (**Figura 5**).
A poco de finalizar el período de aridez, ocurrió un episodio de vulcanismo de extraordinaria extensión con centro en la provincia de **Paraná** (Brasil) y ramificaciones menores en **Etendenka** (Namibia y Angola, África). Esas dos regiones, hoy distantes entre sí, se encontraban en contacto en aquel momento. A este episodio, que se extendió en el período 137-127 Ma, se lo conoce como **Serra Geral**, y llegó a ser el más importante de este tipo en la Historia Natural. Es parte de los acontecimientos que formaron el rift de 2000 km de largo que daría lugar al Atlántico Sur, y los alcances del vulcanismo dejaron rastros hasta la cuenca del Salado.
Las arenas y dunas enterradas, con un techo de carácter ígneo, constituyeron una excepcional forma de almacenaje de agua. Es lo que hoy conocemos como **Acuífero Guaraní**, que ocupa el sur del desierto de Botucatú (**Figura 5**).
Sobre el acuífero se encuentran las cuencas del Paraná y del Río de la Plata, de las cuales se alimenta. Se estima que contiene entre 30 y 50 mil km^3 de agua, con una velocidad de reposición muy lenta. La diferencia de presión entre los repositores al norte y las salidas naturales al sur, permiten tener las termas de Uruguay y Entre Ríos, que se abastecen del acuífero a temperaturas de entre 33 y 45ºC (con máximos de 70ºC), dependiendo de la profundidad.
Con el episodio de Serra Geral, el ciclo Gondwánico llegó a su fin después de 200 Ma de existencia. Allí

Huellas de vulcanismo: los bosques petrificados

El vulcanismo en la Patagonia fue recurrente. Del período Jurásico (200-146 Ma) data el vulcanismo que diera origen a la Formación La Matilde, en el Macizo del Deseado (Santa Cruz). Su importancia se basa en que una fuerte erupción, acompañada de vientos y cenizas, cubrió un área con algunos pantanos y lagunas. Las cenizas sepultaron los bosques de coníferas (araucarias) cargadas de piñas maduras. Se trata de dos eventos, donde el primero no llegó a matar a todos los árboles, ya que perduraron aquellos de tronco grueso. El bosque se regeneró y unos 3000 años después fue tapado por un evento volcánico similar. Las cenizas cubrieron rápidamente a unos 200 árboles de hasta 30 metros de largo y 3 metros de diámetro. Hoy es el Monumento Natural Bosques Petrificados.

Figura 4. *Cuencas de Sudamérica del final del Paleozoico, moldeadas por las placas recientemente agregadas a Gondwana y por los viejos cratones. La placa Patagónica agregó dos macizos de importancia: Somún Curá y del Deseado. También se muestra la deriva del continente durante el Carbonífero, que llevó a estas tierras hasta el polo sur.*

se inició el ciclo Andino, que se caracteriza por el proceso de subducción del Pacífico y el crecimiento de la cordillera de los Andes. El ciclo Andino está aún en plena actividad y falta un centenar de millones de años para que concluya.

El Andino, un ciclo abierto

Cuando se inició la apertura del océano Atlántico encontró al margen del Pacífico en una etapa de vulcanismo. El continente comenzó a moverse hacia occidente y a chocar con la placa de Nazca. Esto produjo la subducción de la placa oceánica, el levantamiento paulatino de los Andes y el vulcanismo en diferentes zonas, acompañado de una sismicidad fuerte y recurrente. Durante el período 135-115 Ma existió una importante actividad volcánica y piroplástica que formó varios kilómetros de espesor mezclados con depósitos marinos. La elevación de los Andes, en un principio, se produjo en el extremo occidental (en el frente de choque), pero luego se extendió hacia el interior del continente, en la medida en que la velocidad de movimiento aumentaba, lo que hacía que la subducción, rozamiento y temperatura se sintieran tierra adentro.

Sobre el Atlántico son dominantes las cuencas del Paraná, en Brasil, junto con la Chaco-Paranaense, al sur, y la cuenca del Amazonas, al norte. La Chaco-Paranaense, que desemboca en el Plata, puede llegar a 6500 metros de profundidad de sedimentos acumulados en 300 Ma. La formación de esta cuenca se produjo por hundimiento del basamento cratónico. Existieron lenguas de mar que inundaron la cuenca y, cuando el mar se retraía, se formaban las cuencas de los ríos.

Dos eventos globales permitieron la invasión de aguas marinas someras (de baja profundidad) al final del Cretácico (66 Ma) y en el Mioceno (23 Ma) (**Figura 7**). La variación en el nivel del mar se relaciona con el volumen de agua acumulada, como hielo en

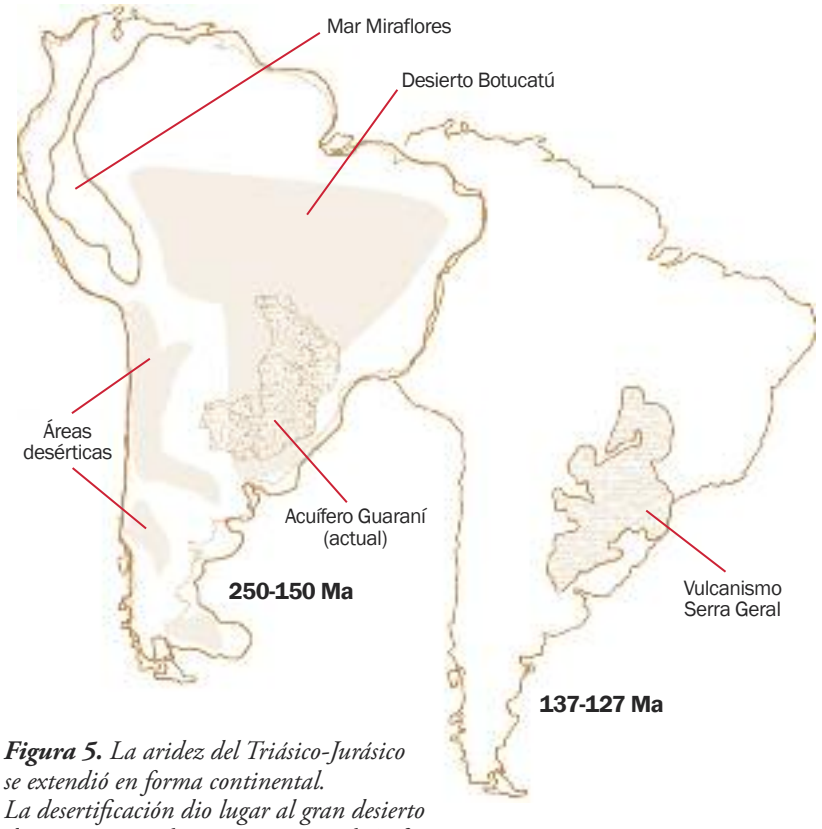


Figura 5. *La aridez del Triásico-Jurásico se extendió en forma continental. La desertificación dio lugar al gran desierto de Botucatú en el centro continental. Se formaron depósitos de arena y dunas de hasta 800 metros de espesor. En el Cretácico se produjo el vulcanismo de Serra Geral, que dejó rastros en casi todo el continente. Marcó el inicio de la separación de Sudamérica y África, y el resultado del vulcanismo formó un techo sobre los depósitos de arena. Esta combinación dio origen al Acuífero Guaraní.*

Foto: Natalia Jaoand

Sin salida. Los Esteros del Iberá

Un registro reciente de las cuencas de los ríos se observa en los Esteros del Iberá, una geografía que ocupa casi toda la provincia de Corrientes. Dos fracturas cercanas han cercado al río Paraná en el Plioceno (5,33-1,8 Ma). La fractura meridional cierra al río al oeste contra las provincias de Chaco y Santa Fe. La fractura Ituzaingó-La Paz lo contiene por el oriente. Ambas fracturas dejan al terreno interno en una depresión. Al inicio del Plioceno, el Paraná escurría en los actuales Esteros del Iberá. El levantamiento del terreno al este de la fractura Ituzaingó-La Paz y el hundimiento al oeste fue llevando al río Paraná hacia la posición que ocupa hoy. El actual estero tiene una edad de 3000 años y se forma por la falta de pendiente y escurrimiento, con una base ígnea impermeable, y el aporte de lluvias.

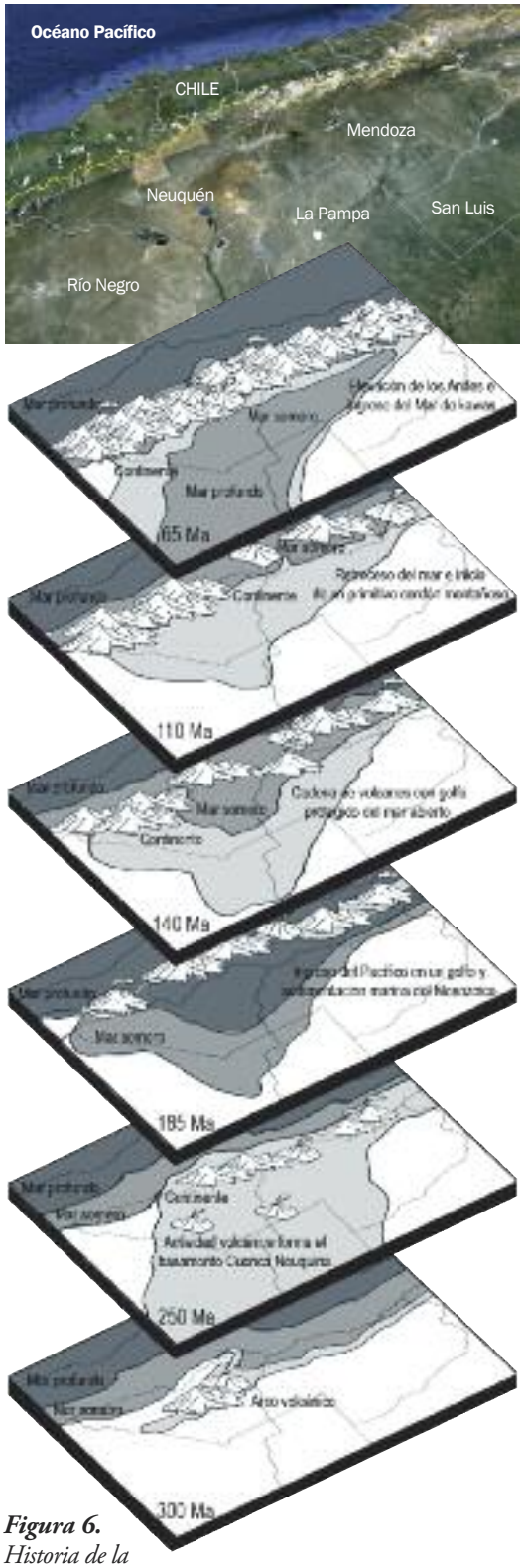


Figura 6. *Historia de la frontera Mendoza-Neuquén con Chile. Siempre bajo la actividad volcánica, pasaron inundaciones del Océano Pacífico y luego, del Atlántico.*

los polos, la temperatura del mar y deformaciones en la corteza terrestre que aumentan o disminuyen el volumen de agua en las fosas. El Mar Paranaense (23 Ma) se internó hasta Bolivia y el borde cordillerano, pero no todo era mar salobre. Una gran parte estaba influenciada por las cuencas del Paraná y cuencas andinas, y generaba zonas de agua dulce y humedales.

Nada termina

Y así, mientras la danza de los planetas dentro del Sistema Solar nos pasea por la Vía Láctea, en nuestro propio planeta la Argentina fue moldeada y decorada. Un proceso que se desarrolló a golpes, con los choques entre placas que formaron las sierras del centro-oeste; y a capas, con la deposición de los grandes ríos, arenas y lava en el este. La actividad de los volcanes andinos, casi en forma permanente, nos recuerda que el proceso continúa lentamente, aunque sin detenerse. ■

1 **Convección** es una forma de transporte de la energía por movimientos de corrientes en un fluido o un gas.
2 Un **eón** es un conjunto de eras geológicas.
3 **Acreción** es el crecimiento de las masas continentales por suma de terrenos. En Astronomía se utiliza el mismo término para el proceso por el cual pequeños fragmentos chocan, se acumulan y forman un cuerpo cada vez más grande.
4 La **subducción de placas** es un proceso de hundimiento de una placa bajo otra.

Bibliografía
-Geología Argentina. Segemar Anales No 29. 1999.
-Sitios de Interés Geológico. Segemar, Anales No 46. 2008.
-Evolución geológica y nomenclatura pre-Gondwanica en el noreste de Argentina (1800-160 Ma). Acta Geológica Hispana Vol 34 No 2-3. R.J.Sureda y R.H.Omarini.
-*Earth missing ingredient*. Kei Hirose. *Scientific American Magazine*. June 2010.
-Museo Mineralogía Dr. Olsacher de Zapala, Neuquén.

* Roberto Ares, graduado en Ingeniería, se dedica al estudio autodidacta de las ciencias físicas y biológicas. Ha publicado varios libros, entre los que se destacan "*Aves, Vida y Conducta*", "*Birds of The Pampa*" y "*Vida en Evolución*" (coautoría con el paleontólogo Sebastián Apesteguía). En la actualidad, también se dedica a la producción de documentales sobre vida y conducta de las aves: *www.laculturadelasaves.com.ar*. (Página del autor: *www.robertoares.com.ar*. Libros sobre naturaleza: *www.vmeditores.com.ar*).

Figura 7. *Dos eventos de invasión del mar en la zona atlántica de Sudamérica. La cordillera de los Andes ya estaba en crecimiento y no fue invadida por el mar como en el Carbonífero (Figura 5), cuando los Andes no existían y las cuencas del Pacífico eran muchas y variables debido a la acreción de placas.*

MEADE

Telescopio astronomico ETX-LS LIGHTSWITCH

AHORA LA OBSERVACION ASTRONOMICA ES MAS FACIL

Novedoso y revolucionario sistema óptico ACF con función GO TO de búsqueda y seguimiento automáticos de mas de 30000 objetos celestes almacenados en su data base, incluyendo: CCD para astrofotografía, control electrónico de posición, salida multimedia con audio y video, conexión a monitor para observación en tiempo real, ranura para tarjeta SD, conectividad por USB y muchas mas sorprendentes funciones que facilita la observación de los principiantes.

OPTICA-FOTOGRAFIA-VIDEO

cosentino

Av. Pte. Roque Sáenz Peña 736 · Tel.: 4328-9120 · www.opticacosentino.com.ar

SEMBRAR EDUCACIÓN, COSECHAR FUTURO

SOÑAMOS CON UN MAÑANA MEJOR

Fundación YPF

fundacionypf.org