

# SI MUOVE

NÚMERO 18 - OTOÑO 2020



# Cuentos para no dormir

Espectáculo de divulgación astronómica para niños y niñas entre 3 y 9 años

En el Planetario no vale dormir. Vamos a descubrir planetas, nebulosas, galaxias, miles de estrellas en el cielo y a dibujar constelaciones. ¡Contaremos las más lindas historias bajo el cielo estrellado! Y no se olviden: el que se duerme... ¡pierde!



# SI MUOVE

NÚMERO 18 - OTOÑO 2020

Revista de divulgación científica del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei  
Av. Sarmiento 2601 - C1425FGA - CABA  
Teléfonos: 4772-9265 / 4771-6629

## STAFF

**EDITORIA RESPONSABLE**  
VERÓNICA ESPINO

**DIRECTOR PERIODÍSTICO**  
DIEGO LUIS HERNÁNDEZ

**DIRECTOR DE ARTE Y DISEÑO**  
ALFREDO MAESTRONI

**SECRETARIO DE REDACCIÓN**  
MARIANO RIBAS

**REDACTORES DE ESTA EDICIÓN**  
RAFAEL GIROLA  
ALEJANDRO AGOSTINELLI  
GUILLERMO ABRAMSON  
MARIANA ORELLANA  
GABRIEL BENGOCHEA

**COLABORADORES**  
Alberto Russomando, Carlos Di Nallo,  
Andrea Anfossi, Pablo Iskandar,  
Alejandro Martín López, Natalia Meilán,  
María Belén Dri, Eduardo Fernández Lajús,  
Guillermo Spajic, Alejandro Antognoni,  
Cristian López, Ignacio Díaz Bobillo.

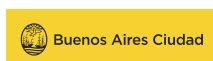
**CORRECTORES**  
Walter Germaná, Natalia Jaoand.

**FOTO DE TAPA**  
M 8 - Telescopio Espacial  
Hubble/NASA

**AGRADECIMIENTOS**  
NASA, IAU, COA Carancho.

**ISSN 2422-8095**

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.



**Ministerio de Educación**

JeFe de Gobierno: Horacio Rodríguez Larreta  
Ministra de Educación: María Soledad Acuña  
Subsecretario de Tecnología Educativa  
y Sustentabilidad: Santiago Andrés  
GO del Planetario: Verónica Espino



## EDITORIAL

El año 2020 nos enfrenta a nuevos desafíos, y desde el Planetario Galileo Galilei queremos acompañar a todos durante el período de aislamiento por Covid-19, a través de nuestro programa **#PlanetarioEnCasa**.

Hemos trabajado intensamente para generar actividades que propicien el desarrollo cognitivo y permitan acercar la ciencia a niños, adolescentes, adultos y mayores. Estamos convencidos de que la dispersión y las distintas actividades científico-culturales que nos proponemos ofrecer colaborarán para que todos puedan transitar estos días con una mejor calidad de vida. Estas actividades, que pueden descargarse desde nuestra página web, permitirán a los niños y niñas, por ejemplo, jugar y aprender simultáneamente por medio de propuestas didácticas y juegos “espaciales” pensados especialmente para ser realizados en el hogar. La edición número 18 de nuestra revista **Si Muove** también se adaptó a este nuevo contexto y por primera vez estará disponible en formato digital antes que su edición impresa. Nuestros lectores valoran y nos agradecen el compromiso con el que trabajamos en la revista y sabemos que esperan con ansias la edición en formato papel. Nuestro compromiso será mantener la calidad y el nivel de las notas y artículos para que la revista pueda seguir creciendo en las próximas ediciones, y esperamos volver al formato tradicional en el futuro.

También hemos abierto un nuevo canal de comunicación en Spotify por medio de nuestro perfil **Planetario BA**, donde desarrollamos nuevos *podcasts* con entrevistas, narraciones de temas científicos e historias de los grandes de la ciencia; y elaboramos nuevas *playlists* de Música Espacial que nos permitan acompañarlos día a día con los mejores temas musicales, a fin de recorrer, temáticamente, la historia de la formación del universo, desde el Big Bang a la actualidad.

Seguiremos trabajando para construir nuevas alternativas que permitan continuar con cursos, charlas y conferencias referidos a distintas temáticas astronómicas y ciencias afines, con el objetivo de generar un contacto más cercano con investigadores y personalidades de la ciencia.

Estos días realmente atípicos que estamos viviendo nos mueven a encontrar nuevas maneras de seguir en contacto con quienes tienen pasión por la astronomía, y a generar nuevas vocaciones científicas entre los más jóvenes.

El Planetario Galileo Galilei, en este 2020 tan comprometido, se reinventa para seguir apostando por el futuro.

**Verónica Espino**

Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

Código Spotify



Código QR



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

# SUMARIO

- 03 Editorial.
- 07 Astrofísica: foto de portada.
- 11 Betelgeuse, ¿explota o no explota?
- 13 Tránsito de Mercurio.
- 15 Hermano exoplaneta.
- 19 Polvo en el viento (solar).
- 23 Nebulosas oscuras.
- 29 El nacimiento de la Unión Astronómica Internacional.
- 32 Libros.
- 33 El Hubble cumple 30.
- 39 El origen cuántico del universo.
- 47 Un eclipse protuberante.
- 48 Galería de imágenes: recuerdos del eclipse total de Sol de 2019.

HST/NASA



07 Astrofísica

ISS/NASA



El Hubble cumple 30 años 33

19

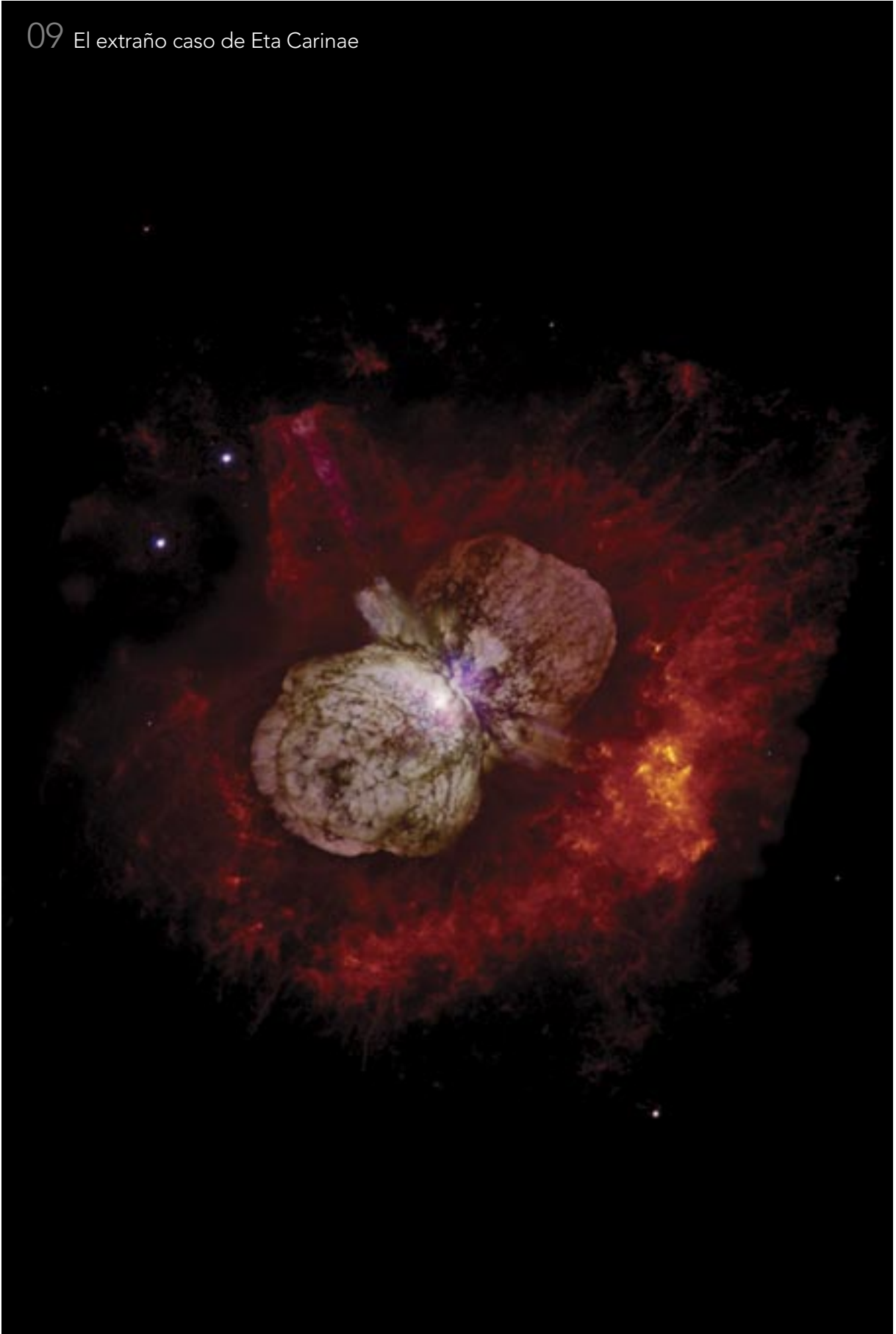
Polvo en el viento (solar)



Guillermo Abramson

09 El extraño caso de Eta Carinae

Telescopio Espacial Hubble / NASA



Ignacio Díaz Bobillo



Foto de tapa

# CREACIÓN Y DESTRUCCIÓN

**Autor:** Diego Luis Hernández, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

**Colaboración:** Mariano Ribas, Eduardo Fernández Lajús, Natalia Meilán, Sebastián Otero y Rafael Girola.

*La imagen de nuestra tapa fue tomada por el Telescopio Espacial Hubble, de la NASA, uno de los instrumentos colocados en órbita terrestre más importantes de la era espacial. El Hubble, además, es uno de los grandes responsables de que el público masivo pueda disfrutar de cientos de imágenes del universo en una calidad sin precedentes. En abril de 2020 cumplió 30 años, y en **Si Muove** decidimos homenajearlo con una foto suya en nuestra portada y con un artículo en el que contamos su historia y sus principales logros.*

01

La portada de nuestra revista muestra un pequeño sector central de una nebulosa bien conocida por los aficionados, llamada M 8, o simplemente la Laguna. Esta nebulosa de emisión puede ser observada a simple vista desde lugares oscuros, como una mancha de luz con un núcleo brillante, muy cerca de la constelación de Escorpio, dentro de los límites de Sagitario, en una región del cielo plagada de objetos de interés, muchos de ellos al alcance de instrumentos con poco aumento. La misma nebulosa ilustra la página 6, con un campo que la muestra completa, y también aparece en la página 26, abajo a la derecha.

Aquí ofrecemos además una simple guía para encontrarla bajo un cielo rural, con una foto de campo amplio de esa región. Unos simples binoculares ayudarán para ubicarla y para entretenerse un largo rato observando toda la zona, en cualquier noche de invierno.

Si nos concentramos en la imagen de la tapa, todo ese caos colorido está ocurriendo en el centro de la nebulosa, una gran “cuna” estelar ubicada a 4000 años luz de distancia de nosotros. La imagen muestra una región que mide unos 4 años luz.

Hacia el centro hay una estrella monstruosa, llamada Herschel 36, que emite radiación ultravioleta muy energética y potentísimos vientos estelares que crean un paisaje de crestas, cavidades y “montañas” de gas y polvo. Esta estrella gigante, 200 mil veces más brillante que nuestro Sol, 32 veces más masiva y casi nueve veces mayor en diámetro, posee una temperatura superficial de 40.000 grados (la del Sol es de unos 6000°). Debido a eso emite intensos vientos que interactúan con los gases circundantes, a los que esculpe y provoca excitación en sus átomos: les “arranca” electrones, es decir, los va ionizando.

El denominado viento estelar no es como el movimiento del aire atmosférico que tenemos en la Tierra. Es, en realidad, un flujo de partículas mediante el cual las estrellas pierden masa. Ese viento, que viaja a cientos de kilómetros por segundo, barre las partes centrales de la nebulosa y ayuda a comprimir los gases, permite la contracción y da lugar al origen de nuevas estrellas.

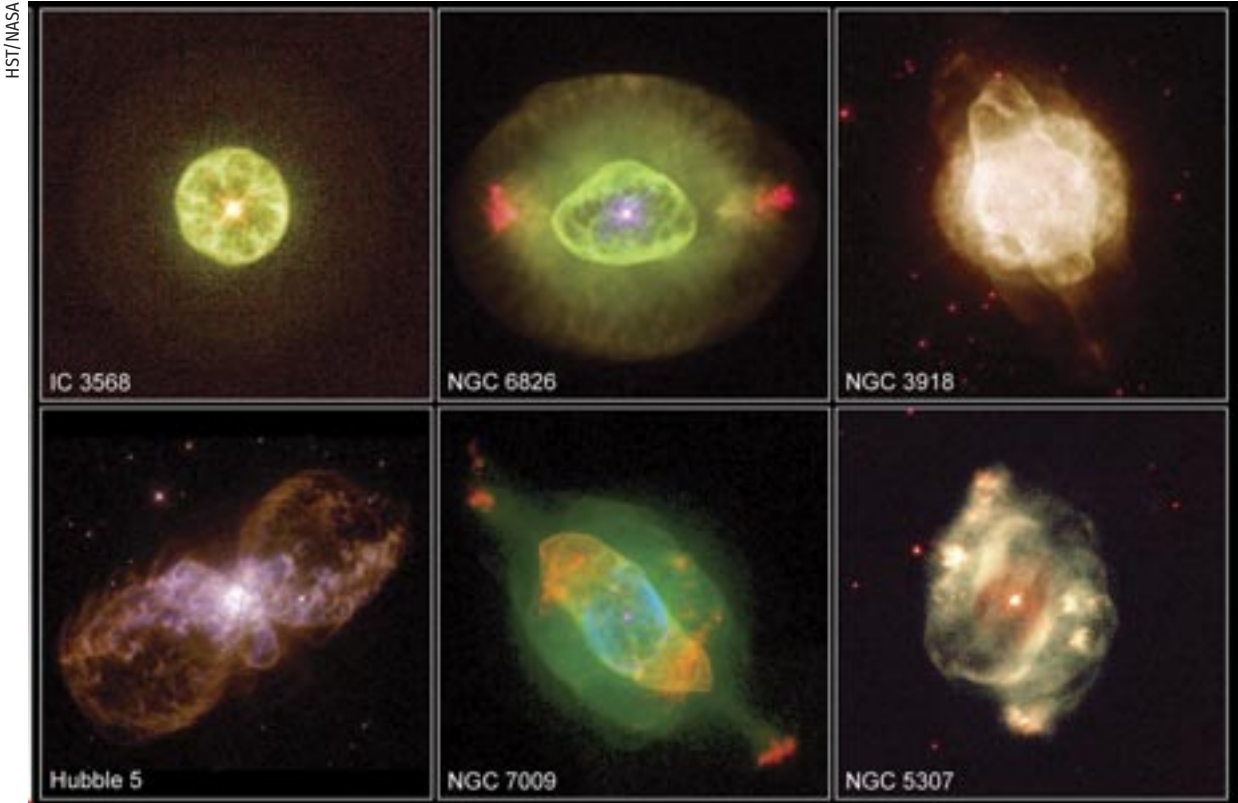
Herschel 36 es una estrella joven, de 1 millón de años de



Cristian López

**01** En esta imagen de campo amplio del cielo, entre las constelaciones de Escorpio y Sagitario, se indica con una flecha la posición de la nebulosa de la Laguna (M 8), para buscarla a simple vista o con binoculares, especialmente, en otoño e invierno. El punto brillante es Venus, y más abajo, Mercurio, que se encontraban allí de madrugada en el momento de tomar esta foto hace ya unos años. También se marcan algunos cúmulos abiertos fáciles de identificar en cielos oscuros. La imagen coincide con la posición del centro de la Vía Láctea, y está plagada de objetos de interés astrofísico.

edad, y por la cantidad de masa que posee se calcula que vivirá otros 5 millones de años. En comparación, nuestro



**02** Las llamadas nebulosas planetarias representan la “muerte” de estrellas de características similares al Sol. En el centro queda el núcleo muy pequeño, caliente y compacto (una enana blanca), y alrededor se van dispersando y enfriando las capas exteriores de gases expulsados de la estrella.

Sol, más pequeño y menos masivo, tiene 5000 millones de años y vivirá otros 5000 millones de años más.

La estrella Herschel 36 está saliendo de su capullo de material que la formó, y libera una radiación abrasadora y corrientes de partículas subatómicas que empujan el polvo en forma de cortinas. La violenta actividad de Herschel 36 ha perforado la nube en forma de burbuja, como un capullo que se está abriendo. Por la gran cantidad de fenómenos astrofísicos en su interior, estos lugares son ideales para estudiar y comprender la formación y evolución de las estrellas, los vientos estelares, su interacción con el medio y los campos magnéticos que se producen en el interior de estas estructuras. Allí interactúan nebulosas de emisión, gigantescas nubes de gas y polvo que emiten gracias a la luz de las estrellas que contienen y de otras más lejanas; nebulosas oscuras, más frías y con mucho polvo denso; vientos estelares y terribles ondas de choque.

La cavidad observada en la nebulosa de la Laguna está siendo generada por las estrellas jóvenes que contiene, debido a sus intensos vientos. Todavía existen allí grandes cantidades de nubes de gas y polvo que no han llegado aún a fragmentarse y a colapsar para formar nuevas estrellas. Eso significa que es un lugar apto para la formación de nuevas capas de estrellas.

Los colores que vemos en la imagen están directamente vinculados con los elementos químicos presentes en la nebulosa. Allí hay fundamentalmente hidrógeno ionizado (en color rosado), algo de oxígeno (los tonos verdes), nitrógeno, partículas de agua y otros elementos.

Todo esto se detecta mediante el análisis espectral de la luz, que se compara luego con los mismos elementos químicos —átomos y moléculas— en un laboratorio. Las nebulosas de emisión aquí presentes son las partes más brillantes, amarillentas y rosadas. El hidrógeno emite en la zona visible del espectro, la única parte que detecta el ojo humano. Pero el Hubble no solo revela el visible, sino también otras longitudes de onda, como el ultravioleta y el infrarrojo cercano. El Telescopio Espacial estudia la emisión y la absorción de elementos químicos en esas zonas del espectro, y luego mezcla el visible y el ultravioleta en una sola imagen.

La radiación ultravioleta de las estrellas jóvenes y muy calientes ioniza el gas alrededor de la nebulosa, lo que le permite emitir luz. Por eso se las llama nebulosas de emisión, mientras que hay otras de reflexión (reflejan luz de las estrellas que contienen) y de absorción (su material más denso absorbe y “oculta” la luz).

### Muerte violenta

Las estrellas “nacen” en estas nebulosas y “viven” mucho tiempo. Aquí agregamos las comillas porque las estrellas no son seres biológicos, y decir que nacen, viven y mueren es metafórico. Tampoco tienen un período de vida similar al de las especies vivas debido a sus diferentes metabolismos, sino que durarán más o menos tiempo de acuerdo a la cantidad de masa con la que se hayan formado. Las estrellas más pequeñas durarán muchas decenas de miles de millones de años, mientras que las medianas como el Sol estarán cerca de los 10 mil millones de años. Ambas ten-





**03** La mancha rosada (a simple vista se ve gris) por encima de la Cruz del Sur es la Gran Nebulosa de Carina. A su alrededor hay varios cúmulos estelares muy interesantes de observar con binoculares bajo cielos oscuros.

**04** La Gran Nebulosa de Carina en todo su esplendor. La estrella Eta Carinae es el punto brillante hacia el centro de la imagen.

drán muertes tranquilas, después de una serie de procesos muy complejos que las llevarán al final de sus días. Muy básicamente, cuando dejen de fusionar elementos en sus núcleos, perderán el equilibrio que había entre la gravedad propia de la estrella y la presión que ejercía la radiación que en ella se generaba; entonces expulsarán sus capas exteriores. Hoy se pueden observar muchas estrellas que ya han pasado esas etapas, y por el aspecto aparentemente esférico que presentan vistas por telescopios, las llamamos “nebulosas planetarias”, aunque nada tienen que ver con los planetas. En la página 8 se aprecian algunas de ellas, fotografiadas por el Hubble.

Pero las estrellas supergigantes, mucho más masivas que el Sol, viven más intensamente en una menor cantidad de tiempo, unos pocos millones de años; consumen su material en forma mucho más acelerada, agotan su combustible más rápidamente y, en los casos extremos, explotan como supernovas, eventos cataclísmicos que destruyen la estrella y arrojan al espacio gran parte de su material.

En las etapas finales, luego de convertir todo el hidrógeno de su núcleo en helio, y de fusionar el helio en carbono y oxígeno, la radiación que mantiene en equilibrio la estrella declinará, el núcleo se comprimirá y se calentará hasta que la temperatura alcance para la fusión del

carbono. El proceso se repetirá con otros elementos cada vez más pesados, generados en las etapas anteriores: neón, oxígeno, silicio, hierro. Pero el hierro, por sus características, no puede fusionarse, y eso hará que el horno nuclear se detenga. La radiación, que empuja hacia afuera, perderá la batalla con la gravedad, que aprieta hacia el centro. Entonces, el núcleo colapsará y se producirá la explosión de supernova.

Esto quiere decir que la estrella sufre un colapso gravitatorio, lo que llevará su núcleo a compactarse súbitamente, mientras que sus capas externas saldrán despedidas a más de 25 millones de km/h. Cuando el combustible de la estrella se agota, la presión que la sustentaba se detiene y la estrella se comprime súbitamente. Toda la masa de la estrella cae hacia el centro, una parte rebota violentamente y provoca la explosión. Los restos de la estrella destrozada se expandirán y enfriarán lentamente.

Durante la compresión del núcleo y la posterior explosión se forman otros elementos más pesados que el hierro, y todos juntos son arrojados al espacio interestelar. Con el tiempo, si esos materiales se mezclan con los de las nebulosas, pueden dar origen a nuevos sistemas estelares. Además, la propia explosión puede generar el colapso de una nebulosa cercana.

Los materiales más pesados son fundamentales para la formación de planetas rocosos como la Tierra. Elementos como los que abundan en la atmósfera, en los océanos, en los minerales e, incluso, en los seres vivos, existen porque una explosión de supernova los arrojó al espacio hace miles de millones de años y, posteriormente, al mezclarse en una nebulosa, aportaron para la formación de nuestro sistema solar y de muchos otros.

La nebulosa del Cangrejo (M 1), en la constelación de Tauro, es el remanente de una explosión de supernova ocurrida hace mil años, y la podemos ver en la página 10, en otra imagen histórica del Hubble.

**El extraño caso de Eta Carinae**

En la constelación de Carina, entre la Cruz del Sur y la brillante estrella Canopus, existe otra nebulosa bien conocida y visible a simple vista para los habitantes del hemisferio sur, la Gran Nebulosa de Carina, uno de los



complejos de formación estelar más importantes en la Vía Láctea. Se encuentra a 7500 años luz de nuestro sistema solar y posee unos 200 años luz de diámetro. En su interior hay estrellas jóvenes y muy calientes, cuya radiación ultravioleta ioniza el gas alrededor de la nebulosa, lo que le permite emitir luz. Por eso se las llama nebulosas de emisión. Dentro de la Gran Nebulosa de Carina podemos encontrar también nebulosas de reflexión, que reflejan la luz de las estrellas de su alrededor; y nebulosas de absorción, cuyo material más denso absorbe la luz de los objetos inmersos o detrás de ellas.

Dentro de todo ese complejo, en el que se encuentran varios cúmulos de estrellas “recién nacidas”, existe otra estrella monstruosa: Eta Carinae (foto de la página 5), una de las más luminosas y masivas que se conocen en la Vía Láctea, cinco millones de veces más luminosa que el Sol y con una masa entre 100 y 150 veces superior a la solar.

El de Eta Carinae es un caso muy particular. Hoy en día se encuentra en el límite de lo que podemos distinguir a simple vista (y es fácilmente visible con pequeños telescopios de aficionados), pero en la primera mitad del siglo XIX era mucho más brillante, una estrella de segunda magnitud (como cualquiera de las Tres Marías, por ejemplo). Su nomenclatura griega ( $\eta$ , eta) indica que era una

05

HST/NASA



**05** Otra imagen del Hubble. Se trata del primer objeto del catálogo de Messier, M 1. Es el remanente de una supernova que explotó en el año 1054, en la constelación de Tauro, y lo que se ve son los materiales de la estrella destruida que, mil años después, se siguen expandiendo por el espacio.

estrella poco brillante de Carina, la constelación dominada por Canopus, la segunda estrella más brillante del cielo, solo superada por Sirio.

Pero entre 1837 y 1856, Eta Carinae experimentó una Gran Erupción que la llevó a superar a Canopus en brillo, y así se mantuvo como la segunda estrella más brillante del cielo durante meses. Aún no se sabe claramente qué produjo esa Gran Erupción, pero a partir de la gran energía liberada, equivalente a la de una pequeña supernova, se piensa que pudo haber ocurrido por la fusión de dos estrellas. Luego su brillo comenzó a declinar nuevamente, y desde mediados del siglo XX viene repuntando lentamente, por lo que los astrónomos del hemisferio sur la estudian constantemente en busca de respuestas.

Desde Argentina se realiza un monitoreo exhaustivo permanente con los telescopios del Observatorio de La Plata y del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO), y en colaboración con grupos internacionales de investigación. Se pueden seguir las novedades en: <http://etacar.fcaglp.unlp.edu.ar>. En la imagen de la página 5, tomada también por el Telescopio Espacial Hubble, podemos ver que, a diferencia de las demás estrellas, no se la ve como un “punto” luminoso sino que se aprecian dos lóbulos que se desprenden de ella y la ocultan. Así, Eta Carinae está envuelta

en su propia nebulosa bipolar, producto del material que se desprendió de la estrella durante la Gran Erupción hace casi 200 años. Ese material, todo junto, representa, como mínimo, entre 10 y 30 veces la masa solar, y se expande a una velocidad de 650 km/seg.

Diversas evidencias observacionales indican que allí dentro no hay una sola estrella, sino que se trata de un sistema de dos estrellas que interactúan. Estas estrellas orbitarían en torno a un centro de masas común con un período de cinco años y medio, en órbitas extremadamente alargadas. Estas órbitas tan excéntricas hacen que las estrellas se acerquen mucho entre sí en cada período, y eso provoca diferentes fenómenos astrofísicos que se denominan eventos del periastro. El último de estos eventos ocurrió justamente entre enero y marzo de 2020.

Seguir estudiando Eta Carinae permitirá seguir comprendiendo la evolución de las estrellas de muy alta masa.

*El tema del verano*

# BETELGEUSE, ¿EXPLOTA O NO EXPLOTA?

El tema de este verano no fue “Calma”, ni “Despacito”, ni “el Parrandero”; fue si la estrella Betelgeuse iba a explotar o no.

El de Betelgeuse, la estrella naranja que vemos por debajo de las Tres Marías en la constelación de Orión, es otro caso de estudio. A simple vista y sin necesidad de instrumentos, podemos notar fácilmente que se trata de una estrella variable: su brillo cambia en ciertos períodos de tiempo por fenómenos propios de su evolución. Todas las estrellas, incluyendo el Sol, serán variables alguna vez, aunque a través de procesos diferentes.

Betelgeuse tiene un período de brillo de casi 900 días, entre los que varía una magnitud entera. Si comenzamos a observar su brillo en su máximo esplendor, veremos que alcanza una magnitud de 0 (poco más que Rigel, la séptima estrella más brillante, su vecina azul en la misma constelación). A partir de ahí, comenzará a bajar su intensidad hasta llegar, 423 días después, en la mitad del proceso, a +1,2 (y será la duodécima estrella más brillante del cielo). Luego comenzará a subir nuevamente y, 846 días después del inicio, volverá a brillar en su máximo esplendor, con magnitud 0.

Los procesos que hacen que el brillo de Betelgeuse varíe de esa manera son típicos de las estrellas de gran masa en el final de sus vidas. Y parece que esta estrella está realmente en el final de sus días.

Desde hace más de 10 años venimos advirtiendo, en diferentes cursos y charlas, que Betelgeuse puede explotar como supernova en cualquier momento: hoy, mañana, el año que viene o... dentro de 10 mil años, y quizás, más. Nadie sabe a ciencia cierta cuándo ocurrirá; pero por el tipo de estrella que es y por la etapa de evolución en la que se encuentra, tarde o temprano Betelgeuse explotará. Este tipo de estrellas termina su existencia con una tremenda explosión de supernova, y Betelgeuse es candidata a explotar pronto. Claro que las vidas de las estrellas comprenden períodos de tiempo larguísimos, de millones de años. Pero en este caso, podría ocurrir en cualquier momento. Es que 10.000 años no es nada para la vida de una estrella.

## Otro monstruo

Betelgeuse es una estrella supergigante roja pulsante, variable e irregular, en una etapa ya avanzada de su evolución, que se contrae y se expande cíclicamente, y aumenta y baja su temperatura y su brillo. Se encuentra a casi 500 años luz de distancia y si estuviera en el lugar del Sol, sus capas más externas, aunque muy tenues, llegarían hasta la órbita de Júpiter. Por ser entre 15 y 20 veces más masiva que el Sol,



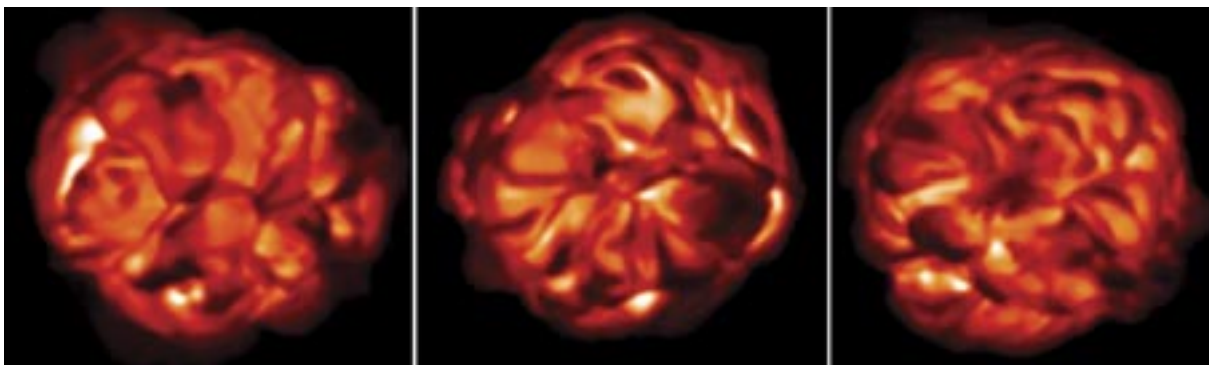
**06** Configuración actual de la constelación de Orión. Bajo el cielo de Yamay, y en todo el hemisferio sur, la vemos al revés a como la imaginaban los pueblos antiguos, como los griegos, entre otros. La estrella rojiza por debajo de las Tres Marías (el cinturón de Orión) es Betelgeuse, que representa uno de los hombros del gigante. Cuando Betelgeuse explote como supernova, desde ese “punto” saldrá un brillo comparable al de la Luna.

terminará sus días sufriendo un colapso gravitatorio que llevará su núcleo a compactarse súbitamente. Al colapsar el núcleo se formará una onda de choque que tardará aproximadamente un día en alcanzar la superficie de la estrella. Cuando esta onda salga al espacio, generará un flash de luz ultravioleta que por una hora brillará unas 10.000 millones de veces más que el Sol.

La energía escapará de la estrella en forma de neutrinos, que llegarán a nuestro sistema solar 500 años después de que el hecho ocurra en realidad. Eso nos dará los primeros indicios de que Betelgeuse ha explotado. No existe la forma de enterarnos antes.

Desde la Tierra la veremos como una estrella de magnitud -10 (como la Luna en cuarto creciente, o más), y así permanecerá durante varios meses, visible incluso durante el día. A la distancia a la que se generará, la radiación proveniente de la supernova nos atravesará en una dosis que está muy lejos de ser peligrosa, pero se especula con que algunas mutaciones evolutivas y hasta el origen de la vida pudieron

07



08



HST/NASA

haber ocurrido tras la explosión de una estrella cercana. También han sido señaladas como presuntos agentes causantes de extinciones masivas debido a sus efectos letales. Pero no existen evidencias certeras de que esto haya sucedido en el pasado geológico de nuestro planeta.

En principio, no habría que preocuparse, porque la distancia que nos separa de Betelgeuse sería suficiente para que desde aquí resulte solo un fenómeno visual. La Tierra cuenta con un campo magnético y una atmósfera de la que se beneficia la biosfera, pero la radiación de la supernova podría afectar los satélites artificiales y modificar en parte la química de la alta atmósfera. Quizás, cuando ocurra, nos recomienden no mirarla fijamente durante mucho tiempo, al menos, a través de telescopios y como medida de precaución, ya que todo su brillo estará concentrado en un solo punto y no “repartido” como en el caso de la Luna.

### Verano flojo

Lo que ocurrió este verano fue que el brillo aparente de Betelgeuse bajó más de lo habitual. Pasó del puesto 9° al 23° en el ranking de las estrellas más brillantes. Eso generó alarma y cierta sugestión, y muchos vincularon ese decaimiento en el brillo con lo que estamos esperando: que Betelgeuse explote pronto. Pero en realidad no hay ninguna relación inmediata entre ambos hechos.

Lo que vemos por fuera y a tanta distancia, tiene poco que ver con lo que realmente pasa en su núcleo, donde ocurrirá en algún momento la explosión. Las investigaciones han avanzado y ahora existen evidencias, a través de mediciones infrarrojas, de la presencia de polvo en las capas exteriores de Betelgeuse. Según algunos especialistas, ese polvo pudo haber sido expulsado por la estrella, y eso debió haber provocado la reducción aparente de su brillo. Pero otros opinan

**07** Tres extractos de una simulación de la convección de Betelgeuse, un trabajo del Dr. Bernd Freytag del Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Uppsala, Suecia ([www.astro.uu.se/~bf](http://www.astro.uu.se/~bf)). Según el autor, así se presentaría la estrella vista a través de un telescopio si pudiéramos estar cerca de ella, y lo que se observa es el movimiento convectivo de las capas superficiales con sectores de diferentes temperaturas.

**08** Imagen de Betelgeuse realizada por el Telescopio Espacial Hubble. Su enorme tamaño permite ver el contorno de su superficie, algo que no ocurre con la mayoría de las estrellas, especialmente por las enormes distancias que nos separan. Además, Betelgeuse está rodeada por una atmósfera más grande que todo nuestro sistema solar.

que el polvo nunca formó parte de la estrella y que se pudo haber mezclado afuera con las capas expulsadas.

Además, pudieron haber coincidido un mínimo esperado en su ciclo habitual (de 423 días), con un mínimo histórico (de 2100 días), menos frecuente, pero normal a lo largo de un período mayor de tiempo. Por todo eso, esta vez el mínimo de brillo esperable fue aún menor (de +1,6). Pero el hecho de que Betelgeuse se halle en un mínimo de brillo no tiene relación con que explote como supernova, cosa que sucederá más tarde o más temprano.

Quizás nuestra generación, o generaciones futuras la vean explotar. Y cuando eso ocurra, el cielo se iluminará desde un punto en particular por debajo (visto desde el hemisferio sur) de las Tres Marías. Lo más interesante es que, desde la invención del telescopio, hace 400 años, no se ha observado una explosión de supernova tan cercana, y nunca en la historia se ha registrado la desaparición de una estrella tan conocida y observada. Eso ocurrirá una vez que Betelgeuse, tras la explosión, se vaya apagando lentamente, quizás, luego de un año de brillo esplendoroso.

Luego, la luz irá declinando paulatinamente. Los restos de la estrella destrozada se expandirán y enfriarán libremente en el espacio durante unos mil años, y abarcarán una región de 20 años luz. Allí tendremos el remanente de supernova y lo que quede del núcleo comprimido, una estrella de neutrones o un agujero negro, muy cercanos para “observar” y estudiar. Diez mil años después, los restos de la explosión habrán afectado una región de más de 100 años luz.

Según la astronomía clásica, esta estrella representa uno de los hombros de Orión. ¿Cómo lucirá el cazador cuando Betelgeuse ya no esté ahí? ■

*El próximo será en 2032*

# TRÁNSITO DE MERCURIO

01

Mariano Ribas



Los tránsitos de Mercurio se pueden producir, especialmente, porque se trata de un planeta más cercano al Sol que la Tierra. Es un fenómeno de perspectiva que tiene que ver, además, con la posición de la Tierra, cuando se da una alineación perfecta entre los tres astros. El próximo será el 13 de noviembre de 2032, y luego, en 2039, 2049 y 2052.

También se pueden dar tránsitos de Venus, pero el próximo no será hasta el año 2117.

El 11 de noviembre pasado, Mercurio comenzó a pasar por delante del Sol a las 09:35 (hora argentina), lo que llamamos inmersión; y a las 12:20 se dio el centro del tránsito. La emersión era esperada para las 15:03, unas 5 horas y media de comenzado el evento. Pero en Buenos Aires y alrededores se nubló cerca del mediodía y eso nos impidió poder observar el evento hasta el final.

De todos modos, en el Planetario lo observamos en forma pública y gratuita con algunos cientos de personas que pasaban a mirar a través de telescopios con filtros, ya que por tratarse de un fenómeno que involucra al Sol, no podemos verlo directamente. ■

*El pasado 11 de noviembre se dio un nuevo paso aparente del planeta Mercurio por delante del Sol, que pudo observarse desde toda Sudamérica.*

02



**01** El “puntito” negro en la imagen del Sol es Mercurio. En ese momento, el planeta, que mide 4880 km de diámetro, se encontraba a 101.400.000 km de la Tierra; y el Sol, que mide 1.391.000 km de diámetro, se encontraba a 148.500.000 km de nosotros.

**02** Observación en el Planetario de Buenos Aires. En la página siguiente vemos otras dos imágenes del tránsito, antes de que las nubes cubrieran el Sol.

TRÁNSITO DE MERCURIO

Mariano Ribas



Andrea Anfossi



*Un maestro del Norte argentino nombró un nuevo mundo*

# HERMANO EXOPLANETA

**Autor:** Alejandro Agostinelli, editor de Factor 302.4 (factorelblog.com).



En el año de su centenario, la Unión Astronómica Internacional (IAU) organizó un concurso para que cada país eligiera un nombre para designar un exoplaneta y la estrella que orbita. La IAU encomendó al Nodo Nacional Argentino para la Difusión de la Astronomía (NOC) poner un nombre memorable al exoplaneta HD 48265 b y a su estrella, HD 48265. Además, como la UNESCO había declarado **2019** como el **Año Internacional de las Lenguas Indígenas**, la Unión Astronómica Internacional alentó a que ambas cuestiones estuvieran vinculadas, lo que jugó un papel destacado en la selección del nombre.

Así, los hablantes de lenguas indígenas iban a poder proponer nombres en esos idiomas. No por casualidad, entonces, en la Argentina ganó la propuesta que presentó un maestro de la comunidad aborígen “El Pastoril” en Villa Ángela, Chaco. Abel Salteño es maestro bilingüe moqoit, forma parte del Centro de Estudio Superior Bilingüe Intercultural Moqoit (CESBIM) de su comunidad, y enseña en terciarios de la ciudad de Villa Ángela y Coronel Du Graty. Su propuesta ganó en la Argentina, aunque no fue el único miembro de pueblos originarios que propuso nombres significativos para objetos celestes a veces invisibles con telescopios.

## El Pastoril

Es una de las más importantes comunidades moqoit (también conocida como **mocoví**) de la provincia de Chaco. Allí funciona un colegio secundario con albergue para estudiantes y la primera carrera terciaria bilingüe e intercultural moqoit, una institución de gestión comunitaria. Abel Salteño propuso para la estrella el nombre de **Nosaxa**, que designa en moqoit a la primavera, entendida como un tiempo crucial, ligado a la renovación del ciclo anual. “*Nosaxa se pronuncia Nosadá (la ‘x’ suena como una ‘d’)*. El concepto no moqoit más parecido sería ‘renuevo de la naturaleza’. El pueblo moqoit, cuando llega la Primavera, festeja el año nuevo. Por eso pensé en ese nombre para la estrella”, explicó Abel.

Para el planeta que la orbita propuso **Naqayá**, “hermano”,

*La Unión Astronómica Internacional (IAU) ofreció en 110 países la oportunidad de nombrar más de 100 mundos recién descubiertos y sus estrellas anfitrionas. El comité designado en la Argentina seleccionó el nombre **Naqayá** para el **exoplaneta HD 48265 b**. Su estrella anfitriona, **HD 48265**, alrededor de la cual gira el planeta, fue denominada **Nosaxa**. Significan en lengua Moqoit: “hermano-familiar-pariente” (se refiere a todos los seres humanos como “hermanos”) y “primavera” (literalmente, “año nuevo”), respectivamente. El exoplaneta había sido descubierto por un astrónomo argentino y la opción ganadora, elegida entre otras 135 que llegaron de diversos puntos del país, fue propuesta por un maestro intercultural moqoit.*

la forma en que los moqoit designan al otro humano entendido como familia. “*En Naqayá la ỹ se pronuncia como i latina. Significa hermano, familiar. Así nos tratamos entre nosotros, de hermanos. No sabemos cómo está constituido ese planeta, pero llamarlo Naqayá es una forma amistosa de hacerlo*”, agrega el maestro.

El Comité Nacional para Nombrar un Exomundo 2019 fue



Alejandro López

*Abel Salteño expone sobre cosmología moqoit en un encuentro de maestros y líderes comunitarios en San Lorenzo, Chaco. Vive en la Comunidad “El Pastoril”, donde enseña Cultura, Lenguas Originarias y Cosmovisión, entre otras materias, en profesorado bilingües y no bilingües.*

**ARGENTINA**

IAU 100 NameExoWorlds

**NATIONAL CAMPAIGN OVERVIEW**

Number of proposals received in the country:  
**136**

Number of votes received in the country:  
**2188**

**CHARACTERISTICS OF SYSTEM**

Constellation:  
**Puppis**

Star identification:  
**HD 48265**

Host star type:  
**yellow-white, subgiant**

Coordinates:  
**RA 06h40m01.73s**  
**DEC -48d32m31.0s**

**RESULTS**

Name of Star:  
**Nosaxa**

Brief explanation Name Star:  
Nosaxa means spring in the Moqoit language. The word comes from a combination of nosahuec, which means renew, and faaxa, which means year.

Name of Exoplanet:  
**Naqaya**

Brief Explanation Name of Exoplanet:  
Naqaya means brother-family-relative in the Moqoit language and leads us to call all humans, indigenous or non-indigenous, brother.

**THEME**

Terms associated with the relationship between sky, life cycles, and the human community as family, as provided by a teacher and leader of the Moqoit Indigenous People of northern Argentina.

designado por el Nodo Nacional Argentino para la Difusión de la Astronomía (NOC), que depende de la IAU. Y este Comité invitó a participar a la ciudadanía a través de un sitio en internet, a representantes de universidades, institutos de investigación, CONICET, planetarios y astrónomos amateurs.

Para lograr la participación de las comunidades aborígenes jugó un rol clave el único “asesor anfibio” del Comité, el etnoastrónomo Dr. Alejandro Martín López, astrónomo y antropólogo de CONICET-Sección de Etnología del Instituto de Ciencias Antropológicas de la UBA. “*Es la primera vez que desde la Argentina se propone a nivel internacional un nombre para un objeto astronómico que no solo está expresado en la lengua de un pueblo originario, sino que surgió de un trabajo realizado con la propia comunidad de hablantes. Para Abel y los moqoit es una gran posibilidad de visibilizar su lengua y sus conocimientos astronómicos. Es un pequeño gesto, pero muy poco común en el contexto de ciencias como la astronomía*”, dijo López.

### Unión astronómica busca inspiración

Las celebraciones del centenario de la IAU fueron el pretexto para que cada país tuviera la oportunidad de nombrar un sistema planetario. En total, la institución recibió 360.000 nombres de más de 100 países. El Comité Nacional de cada país redujo sus propuestas a una lista de candidatos nacionales, que fueron presentados al público para sus votos. Un total de 420.000 personas votaron por sus candidatos preferidos. Esta campaña “*ayuda a la IAU a reflexionar para establecer las bases de una nomenclatura especial que permita nombrar futuros nuevos descubrimientos*”, destacó Eduardo

Monfardini Penteadó, el director del proyecto.

Con solo dos meses para propagar la convocatoria, a Alejandro López le tocó lograr que las comunidades aborígenes participaran y enviaran sus nombres. “*Llegaron propuestas de comunidades qom, moqoit y mbya guaraní*”, afirmó. El proceso que se pone en marcha cuando cada cultura busca cómo nombrar objetos extraterrestres dará lugar a más de un *paper*, comenta López. “*Tal vez es un gesto pequeño, pero en el contexto de marginación al que están sometidos los pueblos originarios, la elección de estos nombres propuestos por un joven maestro moqoit es de gran importancia. Nos descubre su bella y poderosa lengua y nos habla de su detallado conocimiento sobre el cielo, que no es solo algo del pasado, sino también del presente y del futuro*”. En un sentido global, el proyecto IAU100 *Nombra Exo Mundos* “*busca crear conciencia de nuestro lugar en el universo y reflexionar sobre cómo la Tierra podría ser percibida por una civilización en otro planeta*”.

### ¿Qué sabemos del exoplaneta

#### HD 48265 b Naqaya?

Poco. Es probable que sea un gigante gaseoso similar a Júpiter o Saturno. Se ubica a 285 años luz en dirección a la constelación de Puppis (la Popa), y orbita la estrella de tipo G, llamada ahora Nosaxa, una subgigante blanco-amarilla de magnitud visual aparente 8, es decir, invisible a ojo descubierto. Su sol es bastante parecido al nuestro, aunque un poco menos caliente. El sistema está compuesto de una

**03 y 04** *Los anuncios de la IAU que confirman la aceptación de los nombres propuestos en nuestro país.*

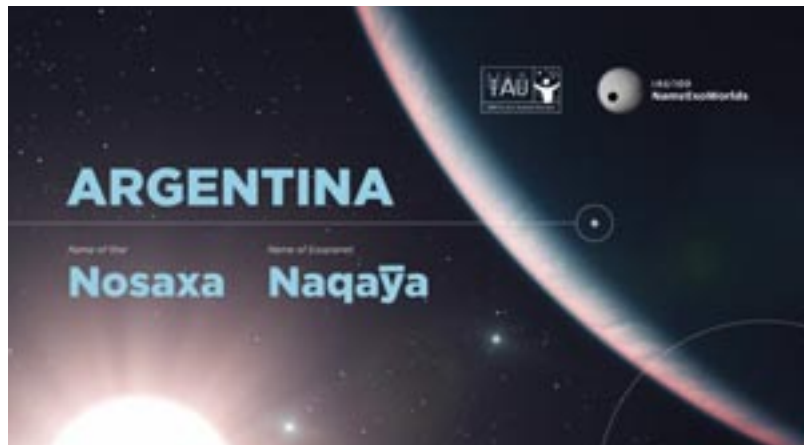


estrella individual (al menos, aún no se le conoce una compañera estelar) con un solo planeta descubierto que orbita a su alrededor, pero es probable que tenga más compañeros planetarios. Los especialistas aseguran que es más grande que Júpiter pero que está en una órbita más cercana a su estrella de lo que está Júpiter del Sol; como si estuviera en la órbita de Marte, con un período cercano a los dos años, y se encontraría en la “zona habitable”, es decir, en la franja en la que el agua, de existir, podría estar en estado líquido.

El planeta HD 48265 b Naqayā fue descubierto desde el observatorio de La Silla (Chile) el 29 de octubre de 2008 por el astrónomo santafesino Dante Minniti, quien realizó la licenciatura y el doctorado en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC).

### ¿Quiénes son los moqoit?

Son un pueblo originario de la región chaqueña cuya lengua está emparentada con el qom y el pilagá. Son más de 18.000 personas que viven en Chaco, Santa Fe, Corrientes y Buenos Aires. Originalmente cazadores-recolectores que se desplazaban estacionalmente por grandes territorios, a fines del siglo XIX fueron obligados violentamente a asentarse en pequeñas porciones de tierra y a trabajar como peones rurales. Pese a las masacres que sufrieron durante



la primera mitad del siglo XX, a enormes presiones para que dejaran de lado su lengua y costumbres, y a grandes desigualdades económicas y sociales, los moqoit lograron sostener una cultura viva y creativa. Hoy viven en comunidades rurales, barrios urbanos y periurbanos.

Para los moqoit, el cosmos está modelado por las diversas sociedades humanas y no humanas que lo habitan, cuyos vínculos están regulados por el poder. Los seres con más poder tienen una mayor diversidad de cuerpos, pueden recorrer más libremente el cosmos y tienen acceso a mayores recursos.

Según los moqoit, los humanos necesitan establecer vínculos con esos seres para hacer posible la vida. En especial el cielo es visto como un espacio particularmente potente y fecundo. Ligado a lo femenino, del cielo depende la abun-

## En el resto del mundo

Los nuevos nombres que recibieron los exoplanetas y sus estrellas tuvieron otras peculiaridades.

**Irlanda.** Fueron elegidos los nombres de los perros mitológicos Bran y Tuiren, de la leyenda irlandesa “El nacimiento de Bran”, para el planeta HAT-P-36 b, que orbita la estrella HAT-P-36, respectivamente, en la constelación de Canes Venatici (los Perros de Caza).

**Jordania.** Nombres de una ciudad antigua y un área protegida en el sur de Jordania, para el exoplaneta WASP-80 b (Wadirum) que orbita la estrella WASP-80 (Petra), en la constelación de Aquila (el Águila).

**Malasia.** Nombres de piedras preciosas en idioma malayo para el exoplaneta HD 20868 b (Baiduri), que orbita la estrella HD 20868 (Intan), en la constelación de Fornax (el Horno).

**Burkina Faso.** Las nuevas denominaciones para el planeta HD 30856 b (Nakambé) y su estrella HD 30856 (Mouhoun) se refieren a los nombres locales de ríos prominentes en Burkina Faso. Oportunamente, el sistema se encuentra en la constelación fluvial de Eridanus (el Río).

En la Argentina otras comunidades aborígenes propusieron en el sitio del Nodo nombres interesantes. Valentín Suárez, maestro intercultural bilingüe, líder de la **Comunidad Qom Riacho de Oro** en Formosa y hablante de lengua qom, propuso llamar a la estrella **Huaqañe Rapicoshe** (estrella del oeste), y al exoplaneta, **Napoxoi** (invisible, escondido).

Fernando Villalba, líder de la **Comunidad Tekoa mbya guaraní Peruti**, en El Alcázar, Misiones, hablante de lengua Mbya guaraní, quiso nombrar a la estrella **Yvyrendy** (tierra resplandeciente), y al planeta, **Yvypyaumboae** (otro planeta u otra tierra nueva).

Por supuesto, tampoco faltaron los que propusieron formas literarias como **Oesterheld**, **El Eternauta**, **El Aleph**, **Tlon**, **Martín Fierro** y hasta **Mafalda**.

Finalmente, prevaleció la poesía moqoit, cuya cosmogonía no solo transmite valores casi inefables de esa comunidad, sino que proyecta la imaginación a una escala no humana. No en vano, Alejandro López tituló uno de sus trabajos sobre los mocovíes: “Encuentros cercanos: historias de las relaciones de los moqoit con una poderosa del cielo”.

dancia en la tierra. Por eso se le presta mucha atención y sus ritmos se asocian a los de las plantas, los animales y el clima, lo que ha llevado a que los moqoit tengan un detallado conocimiento del cielo y los astros. En las últimas décadas, un número creciente de moqoit se ha formado como maestros interculturales bilingües, quienes constituyen un importante eslabón entre los jóvenes, el conocimiento de los ancianos

moqoit y el de la sociedad no aborigen.

“Hace cinco años, cuando empezamos a estudiar materias que para nosotros eran nuevas, incorporamos la astronomía porque dentro de nuestra cosmovisión tenemos una relación constante con el cielo, como así visionarios que lo interpretan. El tiempo moqoit no es lineal, son ciclos donde todo vuelve”, explicó Abel Salteño. ■

## Un carancho entre las estrellas

**Autor:** Diego Luis Hernández, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

María Belén Dri



*Hasta hace un siglo, poco se sabía acerca de qué son las estrellas, cómo están formadas, a qué distancia se encuentran y por qué brillan. Desde la prehistoria, existían narraciones y leyendas que intentaban explicar lo que, dadas las limitaciones tecnológicas, parecía imposible de conocer. Para algunos, las estrellas eran fuegos de pueblos lejanos, y según muchos mitos occidentales, eran agujeros en un telón oscuro de fondo por el que se filtraba la luz de los dioses.*

### El cielo mocoví

El pueblo moqoit, o mocoví, también mantiene una antigua tradición acerca de las estrellas. Para ellos, el cielo está muy cerca, sobre los árboles del monte, y allí habitan los seres poderosos que crearon el mundo. Pero al principio, el cielo estaba oscuro, sin estrellas. En esa época, los seres humanos aún no tenían fuego y no podían cocinar, y no se diferenciaban mucho de los animales.

En el monte había un carancho llamado Cacaré<sup>1</sup>, despreciado por la gente porque comía animales que encontraba muertos. Allí vivía también una viejita que escondía un verdadero tesoro, y que no lo compartiría con nadie: el fuego. Una noche Cacaré volaba cerca de la casa de la viejita y vio el humo del fuego salir de la choza. Entonces, Cacaré se bañó en el río para que la viejita lo dejara ingresar a su casa para secarse, mientras simulaba estar muerto de frío.

Una vez adentro, cuando la viejita se descuidó, Cacaré tomó con su gran pico unos troncos encendidos y le robó el fuego.

La viejita salió corriendo a los gritos, y hacía tanto escándalo que los demás pájaros del monte, especialmente los más pequeños que el carancho, empezaron a perseguir a Cacaré. Muchas veces, aún podemos ver en el campo, y también en las ciudades, calandrias, benteveos o tizeretas (foto) persiguiendo algún carancho.

Mientras Cacaré huía, con sus alas aventaba los tizones y producía chispas que molestaban a sus perseguidores. Mientras más lo perseguían, más chispas salían de su pico. Pero cuando paró en la rama de un árbol para descansar, se dio cuenta de que el fuego se había consumido y los troncos se habían apagado.

Triste por su esfuerzo en vano, el carancho miró el cielo y descubrió que las chispas ahora estaban allá arriba, y que habían formado las estrellas. Muchas de ellas se juntaron en un camino, llamado el Nayic, que otros conocen como la Vía Láctea. Ese camino es utilizado por los mocovíes para orientarse en la noche y marcar el paso del tiempo.

Algunas estrellas formaron la figura de un algarrobo gigante, el padre de todos los algarrobos; y otras, el tronco de un palo borracho. Unas pequeñas estrellitas que al-

Guillermo Spajic



gunos llaman las Pléyades, para los Mocovíes son Lapi-lalagachí, el abuelo, y cuando brillan fuerte indican que habrá una buena cosecha. Otras forman la mariposa, los ratones, el guazuncho, los pozos de agua, el corral y, por supuesto, el Mañic, un gran ñandú que los persigue por el monte para comérselos, y que no se forma con estrellas sino con las manchas brillantes y oscuras de la Vía Láctea. Los mocovíes conservan sus propias constelaciones, con sus personajes y animales.

Por otro lado, pedazos de los troncos que llevaba Cacaré que cayeron al suelo formaron hogueras, y así los mocovíes consiguieron por fin dominar el fuego para cocinar sus alimentos, algo que no pueden hacer los animales.

Todo esto cuentan aún hoy los mocovíes cuando se sientan a relatar historias alrededor del fuego bajo el cielo estrellado. Y si recorren el Parque 3 de Febrero, en el barrio porteño de Palermo, podrán ver algún carancho perseguido por aves más pequeñas, ya que es un oportunista que se roba los huevos de los nidos de otros pájaros. O pueden ver también a “los Caranchos”, un grupo de naturalistas que ha formado el Club de Observadores de Aves de Palermo, llamado COA Carancho, y que trabaja voluntariamente para la conservación del patrimonio natural de nuestro barrio, entre otras cosas.

<sup>1</sup> El nombre científico del carancho es *Caracara plancus*, y emite un sonido gutural que podríamos traducir como “carac-rac, crek, carc-crek...”, o algo así.



*Un fenómeno poco conocido*

# POLVO EN EL VIENTO (SOLAR)

**Autor:** Dr. Guillermo Abramson, Centro Atómico Bariloche, CONICET e Instituto Balseiro. [guillermoabramson.blogspot.com](http://guillermoabramson.blogspot.com)

*Dust in the wind...  
All we are is dust in the wind \*.  
Kerry Livgren, Kansas.*

01

Guillermo Abramson



*En las noches oscuras se puede observar un resplandor brillante a lo largo de la eclíptica, por la zona de las constelaciones zodiacales, antes de la salida del Sol o después de su puesta. Se la conoce como luz zodiacal y es luz solar que se refleja muy tenuemente en un fino polvo que orbita el Sol en el mismo plano que los planetas.*

ESO/P. Horálek



Desde un lugar bien oscuro, en una noche sin Luna, es posible ver un resplandor fantasmal que forma un triángulo sobre el horizonte occidental después de la puesta del Sol. Es la parte más brillante de una banda de luz que se extiende a lo largo de la eclíptica. Conviene tratar de observarla cerca del equinoccio de primavera, cuando la eclíptica se yergue más vertical sobre el horizonte del anochecer y esta luz se distingue mejor al alzarse por encima del cielo turbio del horizonte. También se la puede observar antes del amanecer, y forma una “falsa aurora” sobre el horizonte oriental; en tal caso conviene hacerlo alrededor del equinoccio de otoño.

La *imagen 1* muestra el fenómeno sobre el Cerro Capilla, en Bariloche, y se puede apreciar incluso su reflejo en el lago Nahuel Huapi. La foto fue tomada un 23 de septiembre, y se ve esa luz como una flecha de claridad que apunta al corazón de la Vía Láctea. Ciertamente, muchos detalles que se ven en la foto no se pueden apreciar a simple vista. Se nota, por ejemplo, que su color es blanquísimo, comparado con la variedad de tonos de la

Vía Láctea. Como recorre la región de las constelaciones del zodiaco se la llama luz zodiacal, y aquí la vemos desde la constelación de Libra hasta la de Escorpio.

Desde un sitio verdaderamente oscuro la visión es sobrecogedora, ya que las partes más brillantes de la luz zodiacal compiten con la Vía Láctea, y se tiene la ilusión de una “doble Vía Láctea”. En la *imagen 2* se la puede ver cruzando todo el cielo, de horizonte a horizonte. Incluso lejos de la eclíptica la luz zodiacal contribuye significativamente al brillo de fondo del cielo nocturno.

### ¿Qué es esta luz zodiacal?

Es luz solar reflejada por una infinidad de granos de polvo que pueblan el plano de la eclíptica en todo el sistema solar. Los más grandes, cuando la Tierra se los lleva por delante, producen las familiares estrellas fugaces del cielo nocturno. Su origen, su dinámica, su interacción con el viento y la corona solar, y su presencia en otros sistemas planetarios, son en buena parte desconocidos. La parte más brillante, más cercana al Sol, es una de las regiones de la atmósfera solar: la corona *F*. Se la puede observar

03

Guillermo Abramson



con instrumentos especiales o durante los eclipses totales de Sol (*imagen 3*), inmediatamente a continuación de la corona  $K$ , en una transición suave que ocurre a aproximadamente 4 radios solares.

La corona  $K$  es la verdadera atmósfera del Sol, dominada por un plasma de átomos casi completamente ionizados, mientras que la corona  $F$  es simplemente luz solar reflejada, y de hecho muestra las características líneas de Fraunhofer del Sol en su espectro (ver Glosario). La sonda solar *Parker*, que actualmente está explorando la profundidad de la corona como nunca antes, tiene como uno de sus objetivos medir esta poco conocida región donde el Sol se convierte en medio interplanetario, que es de crucial importancia para entender la relación de nuestro planeta con la atmósfera solar.

Uno de los pioneros del estudio de la luz zodiacal es muy famoso, aunque por otras razones. Brian May, guitarrista de Queen, la investigó durante años en la década de 1970, hasta que sus obligaciones de músico profesional lo llevaron a abandonar la astrofísica. Cuarenta años después (con una voluntad envidiable) retomó sus investigaciones, completó su tesis y obtuvo su título de Doctor en Filosofía del *Imperial College* de Londres. Lo ayudó el hecho de que muy poca gente se había dedicado a este tema, de manera que en 40 años había habido muy poco progreso y su trabajo de campo todavía era valioso. Su tesis puede descargarse libremente en la web, y tiene una interesante introducción que puede leerse sin mayores conocimientos técnicos.

En la foto de horizonte a horizonte (*imagen 2*) se nota que hay un parche de luz más denso (en medio de la mitad izquierda). Se llama *gegenschein* (pronunciado “*guéguenshain*”), y se lo encuentra en la posición exactamente opuesta al Sol. Es el polvo zodiacal que vemos iluminado de frente, sin sombrillas laterales que lo eclipsen parcialmente; así que lo vemos más brillante. Es un fenómeno de retroreflexión, como los ojos de gato de las bicicletas, la pintura de las señales de tránsito y los dispositivos LRRR dejados en la Luna por los astronautas de las misiones Apolo, que nos permiten medir la distancia a la Luna con precisión de milímetros. Para fotografiarlo hay que buscarlo a la medianoche solar local, mirando exactamente hacia el norte (en el hemisferio sur) o hacia el sur (en el hemisferio norte).

Un caso notable de luz zodiacal en otro sistema estelar es el de la estrella Beta Pictoris (*imagen 5*). Se trata de una estrella sumamente joven, de unos 20 millones de años, alrededor de la cual podemos ver todavía parte del polvo a partir del cual se formó su sistema planetario. Este forma un disco que se encuentra casi exactamente de canto desde nuestro punto de vista, de manera que lo vemos como una finísima línea de luz zodiacal (¿exo-zo-



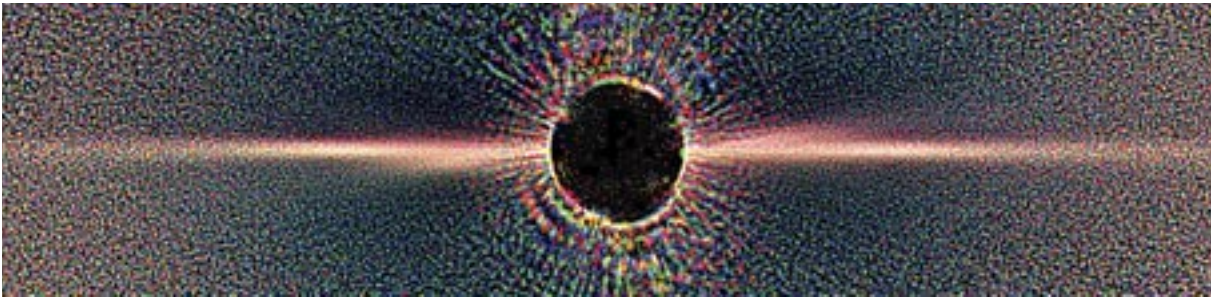
**01** La luz zodiacal sobre el Cerro Capilla, en San Carlos de Bariloche. Se observa también la constelación de Escorpio, su estrella roja Antares, el planeta Júpiter (el punto más brillante) y, entre otras, la Nebulosa de la Pipa, de la que hablamos en el siguiente artículo.

**02** La luz zodiacal de horizonte a horizonte en una imagen tomada en el Observatorio La Silla, Chile.

**03** La corona solar durante el eclipse del pasado 2 de julio de 2019, visto en la región central de nuestro país. Este fenómeno solar es observable solo durante la totalidad de un eclipse, incluso a simple vista, aunque también se puede simular con tecnología espacial, al provocar un “eclipse” artificial.

**04** Dr. Brian May, astrofísico y guitarrista de Queen, durante un concierto en el estadio de Wembley, Londres, junto a Freddie Mercury, en 1985. El músico, además de haber escrito muchas de las canciones del grupo, basó su tesis doctoral en la investigación de la luz zodiacal.

“Uno de los pioneros del estudio de la luz zodiacal es muy famoso, aunque por otras razones. Brian May, guitarrista de Queen, la investigó durante años en la década de 1970. Cuando retomó sus tareas astronómicas, 40 años después, poco se había avanzado en el tema.”



dialcal?) cruzada, curiosamente, por otra línea que delata un disco secundario debido a la presencia de planetas ya formados. De hecho, conocemos ya dos planetas que han sido fotografiados directamente alrededor de Beta Pictoris. ■

### Glosario

**Eclíptica:** plano de la órbita de la Tierra, y aproximadamente el de todos los planetas del sistema solar. En el cielo, cruza las constelaciones del zodiaco.

**Espectro:** descomposición de la luz en sus colores, que permite analizar propiedades de su fuente.

**Gegenschein:** zona oval de brillo tenue del cielo nocturno, en el punto antisolar. Es parte de la luz zodiacal.

**Líneas de Fraunhofer:** líneas oscuras en el espectro de la luz solar, que corresponden a la composición química de la fotosfera, la superficie brillante del Sol.

**LRRR:** *Lunar Ranging Retro Reflector*, dispositivos retroreflectores depositados en la Luna como parte del *Lunar Laser Ranging Experiment*. Consiste en la medición muy precisa de la distancia a la Luna usando pulsos de luz láser enviados y recuperados mediante telescopios en la Tierra.

**Luz zodiacal:** luz solar reflejada en una tenue nube de polvo en órbita alrededor del Sol, que llena el espacio entre los planetas.

**May, Brian Harold:** músico y astrofísico inglés, autor de *A survey of radial velocities in the zodiacal dust cloud* (Springer, 2007), así como de *We will rock you*, *Who wants to live forever* y tantas otras canciones de Queen.

**Polvo zodiacal o interplanetario:** partículas minerales finas (de alrededor de 1 micrón a 1 milímetro), oscuras y porosas, en órbita solar. Miles de toneladas caen a la Tierra cada año. El polvo interestelar es similar, pero generalmente más fino (de 1 micrón o menos) y en órbitas peculiares. También se lo encuentra dentro del sistema solar, algo que fue descubierto en 1995 pero que May ya había anticipado 20 años antes (ver el capítulo 4 de su tesis doctoral: B. May (2007), *A survey of radial velocities in the zodiacal dust cloud*, (Imperial College of Science, Technology and Medicine, Londres, Gran Bretaña).

**Viento solar:** partículas subatómicas cargadas eléctricamente que fluyen desde la corona solar y llenan el espacio interplanetario. Ejerce presión sobre la nube de polvo zodiacal y afecta su movimiento, y también sobre los planetas y otros cuerpos del sistema solar.



**05** Imagen del disco (visto de canto) alrededor de la estrella Beta Pictoris. Se ve un segundo disco, más pequeño, inclinado unos 5 grados. La estrella está enmascarada para permitir fotografiar el material circumestelar, mucho más tenue.

**06** Panorama de la Vía Láctea sobre la cordillera de los Andes, con la luz zodiacal extendiéndose entre ambas.

(\*) “Polvo en el viento, solo somos polvo en el viento”, dice una canción del grupo estadounidense Kansas, del disco *Point of Known Return*, de 1977.

*Nebulosas oscuras*

# ¡ESTO ES UNA PIPA!

**Autores:** Rafael Girola y Diego Hernández, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.



Carlos Di Nallo

*Una vez más, el arte y la ciencia se reúnen en una imagen espectacular del cielo. Una nebulosa oscura con forma de pipa, como la que fumaban a principios del siglo pasado los científicos y referentes sociales y políticos.*

A comienzos del siglo XX ocurrieron cambios importantes en el escenario social en general y, en particular, en los grandes avances científicos. En esa época, el hábito de fumar en pipa era común, entre otros lugares, en el ámbito científico. Varios físicos eminentes las fumaban durante sus clases o en las reuniones y debates. Era preciso conocer la técnica, la cantidad de tabaco que había que colocar, cómo encenderla y cómo mantenerla a una temperatura uniforme. Quienes fumaban correctamente la pipa creían manejar un arte y una actividad social, ya que era costumbre su uso como una valoración simbólica en los diferentes escenarios sociales y políticos, y en situaciones de enfrentamientos y discordias. Pero también era una herramienta para ser aceptado entre los miembros de la comunidad científica.

Podemos encontrar pipas de diferentes materiales, como arcilla, cerezo, porcelana, entre otros. En el arte también aparece la pipa. El pintor surrealista belga René Magritte expresó situaciones irónicas y un espíritu de debate ma-

nifestado en su obra “*Esto no es una pipa*”, cuando la pintura representa, justamente, una pipa (*imagen 1*). Y hay una pipa que los astrónomos pudieron detectar en el firmamento. Se trata de LDN 1773 (o, según el catálogo de Barnard, B 59, 65, 66 y 67), una nube molecular que tiene la particularidad de que su forma visual desde la Tierra se asemeja a la de una pipa.

## Entre pipas

Hace unos cien años, la física se encontraba en medio de cambios paradigmáticos con el advenimiento de la mecánica cuántica y la Relatividad especial y general. El ambiente social se encontraba en lo que el físico e historiador estadounidense Thomas Kuhn definió como un momento de crisis frente a las nuevas evidencias que resolvían problemas o anomalías, que la física clásica no lograba resolver.

Un ejemplo de vínculos e intercambios por parte de miembros de la comunidad científica lo encontramos

01

Los Ángeles County Museum, EEUU.



entre Edwin Hubble, proveniente del ámbito de la astronomía observacional, y Albert Einstein, de la física teórica. Fue un encuentro histórico, ambos fumando sus pipas en la noche de observación. En la *imagen 2*, Einstein está observando a través del telescopio de Monte Wilson, EE.UU., asombrado bajo la mirada del triunfante Hubble. Las observaciones de Hubble mostraban la “equivocación” de Einstein: en sus ecuaciones había agregado una constante, un valor que no cambia con el tiempo, para restablecer una solución que diera con un universo estático; la llamada constante cosmológica, propuesta en 1917 como una modificación de su ecuación original acerca del campo gravitatorio, algo que hoy juega un rol fundamental en los modelos sobre la evolución del universo.

Pero las observaciones realizadas por Hubble indicaban un universo no estático: las galaxias se alejan unas de otras, y cuanto más lejos están, lo hacen con mayor

velocidad. Hubble no interpretó correctamente lo que se entiende por la velocidad de alejamiento, ya que en realidad lo que ocurre es una expansión propia del espacio. No es una velocidad cinemática, sino que tiene que ver con las propiedades métricas del espacio.

### Una pipa en la Vía Láctea

La Tierra acompaña al Sol en su viaje alrededor del núcleo de una galaxia, a una distancia de 26.000 años luz de su centro. Esa galaxia, a la que llamamos Vía Láctea, contiene más de 300.000 millo-

nes de estrellas, gas, polvo y materia oscura. Al estar dentro de ella, nos resulta difícil ver su estructura en espiral, pero a través de estudios comparativos con otras galaxias se la ha podido clasificar como una galaxia espiral barrada: tiene forma de disco y posee una barra que cruza su bulbo central, y desde sus extremos nacen los dos brazos espirales principales (ver recuadro, pág. 28).

El disco de la galaxia está subdividido en tres partes principales. Un disco antiguo y grueso, con estrellas evolucionadas; un disco de formación más reciente que el anterior, que contiene estrellas más jóvenes, denominado disco fino; y un disco ultra fino, donde se encuentran las estrellas más jóvenes de la galaxia, gran cantidad de gas y polvo denso y zonas de formación estelar (como por ejemplo, la Pipa). Allí se encuentran los ingredientes básicos de las nebulosas oscuras denominadas de absorción, debido a que absorben la luz visible de las estrellas que están detrás. Son regiones muy densas, muy frías y ricas químicamente, con elementos más complejos generados y sintetizados por generaciones previas de estrellas, y liberados al medio interestelar por los restos de las estrellas que ya han acabado sus procesos elementales (supernovas, nebulosas “planetarias”, gigantes rojas). Es un entorno que permite que se formen grandes cantidades de hidrógeno molecular ( $H_2$ ), y son las regiones exclusivas donde se dan las condiciones posibles para la formación de nuevas generaciones de estrellas, especialmente, debido a las altas densidades y a las bajas temperaturas que permiten que la nube colapse. Allí la gravedad juega un rol de “pegamento”, y si se dan esas condiciones necesarias, es la inductora para que se geste la nueva camada de estrellas. A estas zonas se las conoce también como nebulosas moleculares de gas y polvo.

En general, estas nebulosas están distribuidas a lo largo del plano galáctico que contiene el disco, y no presentan un camino continuo sino que se encuentran entre-

02

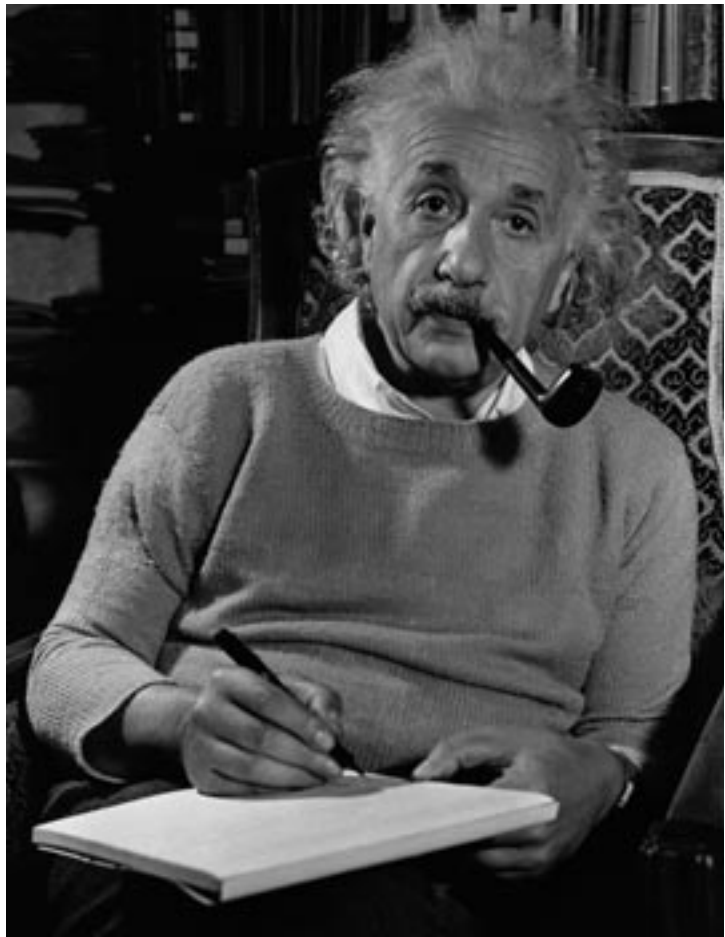




lazadas. Desde la Tierra, lejos de las luces urbanas, cuando “el río de luz” o esa banda “lechosa” que llamamos Vía Láctea está bien visible sobre el horizonte, es un verdadero espectáculo observarla. Galileo apuntó su telescopio hacia esa zona en 1609 y, en efecto, comprobó que allí hay una gran concentración de estrellas, y que también se pueden distinguir zonas más brillantes y zonas bien oscuras que interrumpen el camino de luz de las estrellas.

En las noches de invierno del hemisferio sur, bien alto se puede distinguir cómo la Vía Láctea cruza el firmamento y se ensancha en la región de las constelaciones de Escorpio, Ofiuco y Sagitario. Llama la atención cómo esa banda de luz está entrecortada por siluetas oscuras. ¿Son zonas despojadas de estrellas? No. Justamente, estamos observando allí las nebulosas de absorción y, en particular, una que tiene una forma muy curiosa que hace recordar una pipa. Por eso se la conoce como la Nebulosa de la Pipa. Recordemos que estamos observando en dirección al disco galáctico, lugar donde encontramos nebulosas con altas temperaturas, polvo bien frío y miles de millones de estrellas.

En el plano de la Vía Láctea, el abundante polvo oculta el centro galáctico e imposibilita ver sus “entrañas”. Hacia esa dirección está la Nebulosa de la Pipa flotando gravitatoriamente entre los brazos espirales, grandes nubes moleculares y estrellas muy jóvenes. Si dirigimos la mirada entre Antares, la estrella rojiza en la constelación de Escorpio, y la zona donde reside el centro galáctico (muy cerca de la Nebulosa de la Laguna en Sagitario, la mancha rosada en la *imagen 4*), se puede observar un “encadenamiento” de siluetas oscuras. Se estima que la Pipa se encuentra a una distancia de entre 600 y 700 años luz de nosotros, y es una hermosa nebulosa para, en las noches invernales, hacer astrofotografía y obtener una bella imagen. ■



**01** “Esto no es una pipa” es el nombre de esta reconocida obra de René Magritte, de 1929. Y si usted cree que sí es una pipa, intente fumarla.

**02** 1931. Albert Einstein observa a través del telescopio de Monte Wilson, EE.UU., mientras Edwin Hubble lo mira triunfante, fumando su pipa.

**03** Einstein fuma su pipa, una constante dentro del ámbito científico de comienzos del siglo XX.

**04** En las páginas siguientes, el “complejo de Ofiuco”, una colorida zona del cielo. Si seguimos desde Antares, la estrella rojiza que está arriba, por esos “ríos” oscuros, material denso y frío del disco de la Vía Láctea, llegamos hasta Júpiter, el punto brillante ubicado casi en el centro de la imagen, que allí se encontraba en 2019. A su derecha se recorta la Nebulosa de la Pipa. Más abajo aparece M8 (la Nebulosa de la Laguna), de color rosado, y varios cúmulos estelares.

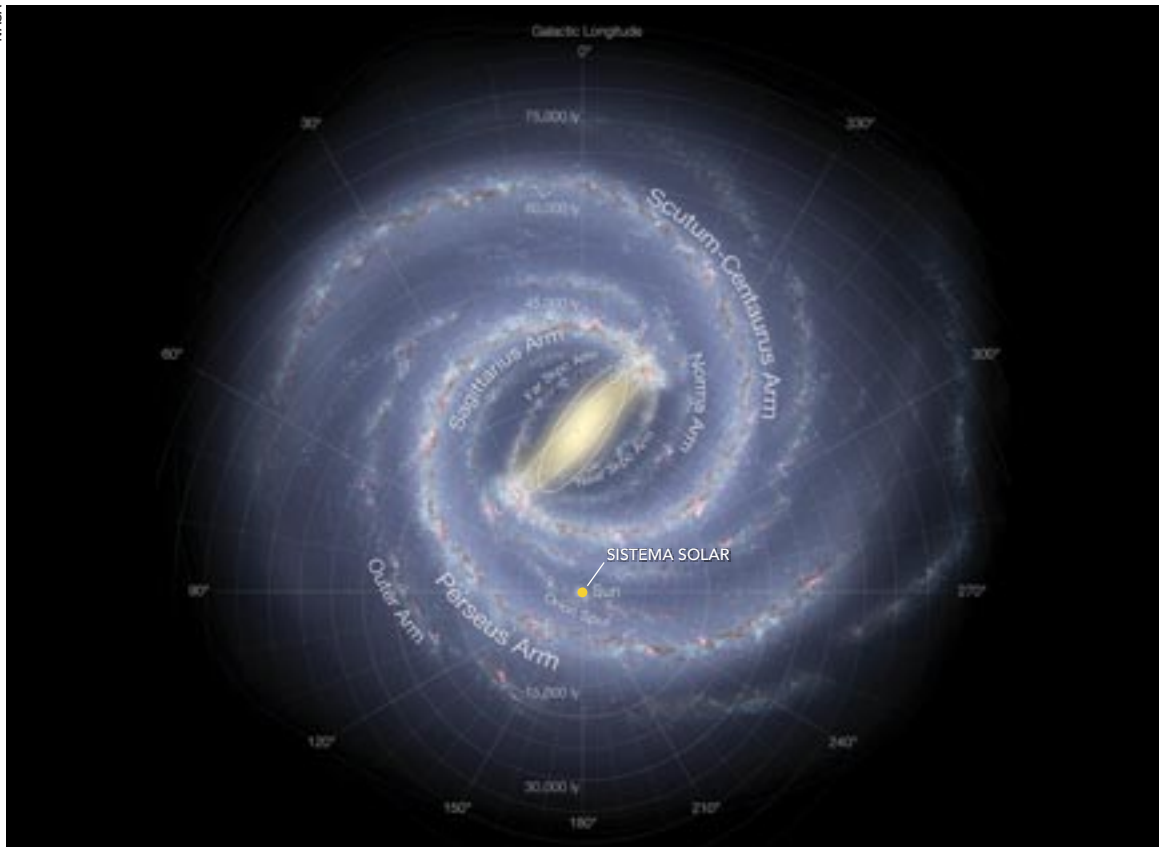
**05** La figura de la Pipa se dibuja por encima de un cardón (*Pachycereus pringlei*) en las Ruinas de Quilmes, en Tucumán. Los cardones son plantas que pueden llegar a vivir hasta 300 años y sus espinas pueden crecer hasta 30 centímetros. Podríamos considerar esta imagen como inédita, ya que estas ruinas no tienen actividad turística nocturna, y por intermedio de David Vargas, encargado del complejo y descendiente de los Quilmes, el Cacique nos dio permiso para entrar durante la noche.

“A estas zonas se las conoce como nebulosas moleculares de gas y polvo. Allí la gravedad juega un rol de ‘pegamento’, y si se dan las condiciones necesarias, es la inductora para que se geste una nueva camada de estrellas.”





NASA



Vista de frente de la concepción teórica actual de la Vía Láctea. No se puede tomar una imagen así desde afuera de nuestra galaxia, pero tras estudiar los movimientos y la distribución de sus estrellas y masas de gas y polvo, y al compararla con otras galaxias, los astrónomos consideran esta representación como la mejor lograda hasta ahora: una galaxia con forma de disco y una estructura espiral, con dos brazos principales que salen de los extremos de una barra que cruza su núcleo, mucho más poblado de materia. Se supone que esta galaxia contiene más de 300.000 millones de estrellas, más gas, polvo y materia oscura, y que tiene unos 100.000 años luz de diámetro. Vista de perfil es mucho más fina, y allí podemos ver su bulbo central y su disco de polvo.

La imagen horizontal (abajo) es un mosaico de una fusión de más de 37 mil fotos desde diferentes lugares del mundo para lograr una toma única de la Vía Láctea vista desde la Tierra. Hacia el centro de la

imagen está el centro galáctico, oculto tras las nubes de polvo oscuro y denso y millones de estrellas. Casualmente, la Nebulosa de la Pipa coincide con el centro de la imagen. Abajo a la derecha aparecen las Nubes de Magallanes, dos galaxias satélite de la Vía Láctea; y hacia el otro lado, la Galaxia de Andrómeda, a unos 2,5 millones de años luz. Para entender mejor la imagen, hay que imaginar que si miramos hacia el centro, los bordes derecho e izquierdo deberían cerrarse por detrás nuestro (en el extremo derecho aparece la constelación de Orión, y en el izquierdo, la de Tauro; ambas están juntas en el cielo). Así, al mirar "hacia adelante", estaríamos mirando hacia el centro galáctico; y al mirar "hacia atrás", estaríamos mirando hacia "afuera", aunque de la misma manera podríamos mirar "hacia afuera" observando hacia "arriba" o hacia "abajo". En realidad, en el espacio no existe ningún "arriba" ni "abajo"; todo depende de nuestra perspectiva geocéntrica y antropocéntrica.

Nick Risinger (Photopic Sky Survey)



*El nacimiento de la Unión Astronómica Internacional*

# CIEN AÑOS BAJO UN MISMO CIELO

**Autora:** Dra. Mariana Orellana, Universidad Nacional de Río Negro / CONICET, y miembro del NOC-Argentina.

01

IAU



*La colaboración internacional es fundamental para el avance de la ciencia. Con el objetivo de facilitar las relaciones entre los astrónomos de diferentes países y acordar los estándares en la astronomía, nació hace un siglo la Unión Astronómica Internacional. El siglo XXI la encuentra en plena labor, y suma como objetivos la difusión, educación y divulgación al público en general.*

Es posible apreciar distintas partes del cielo según nuestra ubicación geográfica y condiciones fortuitas, como la presencia de nubes. Por ello, desde incluso antes de la invención del telescopio, ha sido de interés para los astrónomos intercambiar y comparar datos. Y aunque ciertas efemérides y catálogos se mantenían bajo secreto, mayormente la información circulaba para que otros pudieran usarla y mejorarla. Nos referimos a datos cuantitativos que, por ejemplo, en tablas manuscritas, podían atravesar fronteras fácilmente. Estos solían ser intercambios personales, aunque más tarde fueron la semilla de la cooperación entre instituciones.

La observación de tránsitos de Venus por delante del Sol en 1761 y 1769 dio pie al inicio de cooperaciones internacionales un poco más organizadas. Durante el siguiente siglo las mayores instituciones astronómicas cobraron el estatus de observatorios nacionales. A menudo se relacionaban con las ambiciones marítimas de sus países, pues los barcos aún se guiaban por las estrellas para el cálculo

de su situación en alta mar y en las verificaciones de su rumbo. Estos observatorios cooperaban para determinar la diferencia de longitud entre ellos e intercambiaban rutinariamente sus publicaciones.

En el siglo XIX los astrónomos, como los científicos en otras disciplinas, comenzaron a organizarse en sociedades profesionales, y se reunían a intervalos regulares. Para ese entonces, varias publicaciones ya circulaban internacionalmente. Los pioneros en este sentido fueron Inglaterra y Alemania.

Una revolución tecnológica que impulsó fuertemente las cooperaciones internacionales en astronomía fue la utilización de la fotografía. A partir de 1870 las placas fotográficas permitieron registrar estrellas y planetas, e hicieron posible el análisis posterior de los datos, que se volvieron más impersonales (independientes del ojo del observador) y fáciles de trasladar. Esta poderosa herramienta de trabajo fue la que motivó la apertura de observatorios en el hemisferio sur a pesar de que la mayoría de los astrónomos residían en otras latitudes.

Entraron por entonces en escena la astrónoma estadounidense Annie Cannon y sus colegas de Harvard, que desentrañaron la clasificación estelar; más Henry Draper, médico y astrónomo aficionado. Ellos y otros talentosos hicieron enormes aportes a la disciplina.

Impresionado por las posibilidades de la fotografía, un grupo de destacados astrónomos se reunieron en París en 1887 y decidieron emprender un proyecto internacional coordinado para dividir en zonas todo el cielo, de polo a polo, y fotografiarlo. El resultado sería la *Carte du Ciel*, un atlas del universo cercano, disponible para todos, y un Catálogo Astrográfico de las posiciones medidas de las estrellas. Este fue un verdadero hito internacional, con 20 institutos astronómicos participantes tanto de Europa como de Argentina, México, Sudáfrica y las colonias británicas,

02



Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos  
George Grantham Bain Collection

India y Australia. Pero un proyecto como este requería mucha coordinación. Se creó un “parlamento” para acordar sobre los instrumentos, métodos y estándares a utilizar. Aún así, la magnitud y complejidad del proyecto habían sido subestimadas, a lo que se sumaron eventos políticos imprevistos, dificultades económicas y la consiguiente escasez de fondos y personal.

### Cambiando las reglas: años oscuros forjan la unión

La necesidad de definir patrones y marcos de referencia en común, sobre los que a veces era difícil ponerse de acuerdo, incrementó el número de conferencias e intercambios entre los astrónomos; hecho que coincidía con la definición de patrones físicos (unidades de medida) de peso y distancia; así como de tiempo, pues empezaba a comprenderse que el eje de rotación de la Tierra no era confiable<sup>1</sup>, lo que dio paso a la creación del *Bureau International de l'Heure*.

Continuaron algunos otros pasos tendientes a una mayor organización, sobre todo en Europa, con la *International Union for Cooperation in Solar Research* (IUCSR, desde 1904), y la aparición en EE.UU. del *Astrophysical Journal and the American Astronomical Society*. Se organizaron reuniones que, comparadas a las de hoy, eran más largas e intensas; además, solo permitían participar a investigadores sénior seleccionados.

Con mayores telescopios y métodos de registro, comenzó la época en la cual los observatorios se emplazaron en lugares de buenas condiciones astrométricas, y no en las instituciones académicas de zonas urbanas. El telescopio refractor de 100 pulgadas de Monte Wilson, en EE.UU., revolucionó la escena y trajo a colación la importancia del diseño mecánico del telescopio y su montura, junto a otros aspectos técnicos.

La pujante comunidad astronómica y sus logros fueron quebrados por la tragedia de la Primera Guerra Mundial que, al margen de su irreparable costo en vidas, significó una ruptura en las colaboraciones internacionales. Se cancelaron las conferencias, los viajes e, incluso, la correspondencia podía ser problemática. Muchos científicos se

vieron involucrados en el combate real o en la “guerra de la propaganda”, pues sus manifestaciones (o las que se les atribuían) provocaron un daño tan profundo que las relaciones no fueron restablecidas hasta mucho después.

La fundación de la Unión Astronómica Internacional (IAU) estuvo directamente relacionada con la guerra. El astrofísico George Ellery Hale desempeñó un papel clave como presidente del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos durante la guerra. Quería crear un Consejo de Investigación que uniera las capacidades de investigación de los países aliados para apoyar el esfuerzo bélico. Dicho Consejo no fue creado entonces, sino después de la guerra, en 1919, y ya sin la presencia de las ideas de Hale. Se trataba del *International Research Council* (IRC), que proporcionó el manto bajo el cual se fundaron uniones de las disciplinas específicas que ya tenían alguna tradición de colaboraciones internacionales.

En Bruselas, también en 1919, nació finalmente la Unión Astronómica Internacional, y además, la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica. Según sus estatutos, los objetivos de la recién fundada IAU fueron: facilitar las relaciones entre los astrónomos de diferentes países donde la cooperación nacional es necesaria o útil; y promover el estudio de la astronomía en todos sus departamentos.

Luego de algunas vacilaciones, los países que se habían mantenido neutrales en la guerra fueron invitados a participar. Holanda y los Países Bajos impulsaron en forma inmediata una campaña para la membresía internacional irrestricta. La permanencia de Alemania en las reuniones durante las primeras décadas de la IAU fue conflictiva, aunque algunos alemanes eran invitados igualmente. Alemania finalmente se unió oficialmente a la IAU en 1952. El director del observatorio de París, Benjamin Baillaud, fue el primer presidente de la IAU (entre 1919 y 1922). Los miembros del directorio siempre han incluido algunos individuos de los países que lideran el desarrollo científico. La autonomía de generar sus propias reglas llegaría a la IAU un poco más adelante, en 1931, al reorganizarse el *International Research Council*. Con las nuevas reglas se permitieron las membresías individuales y el derecho a voto. El aporte financiero de los países miembro fue inicialmente por población, lo que no impidió el crecimiento sostenido. Para 1938 eran 26 los países incluidos. En la década de 1930 surgieron problemas políticos con el auge del fascismo y las grandes purgas en la Unión Soviética. Esto afectó particularmente a la IAU cuando dos astrónomos desaparecieron y varios otros fueron amenazados. La Unión Soviética se había unido a la IAU, lo que creó un dilema: ¿protestar o no? Por un lado, ¿puede una organización políticamente neutral interferir en asuntos políticos? Mientras que por otro, no hacer nada también podría tener una interpretación política. Ante este panorama teñido de gris, la IAU decidió no pronunciarse sobre cuestiones políticas, en especial por miedo a empeorar la situación para los colegas rusos.

Afortunadamente, esas controversias internas no mancharon el liderazgo y la reputación científica que la IAU fue ga-

03

IAU



nando. La anterior IUCSR se disolvió en silencio, y la reputación de la *Carte du Ciel* fue vinculada a la IAU gracias al trabajo de una comisión dedicada a aportar a ese proyecto. Las Asambleas Generales de la IAU, llevadas a cabo cada 3 años, se convirtieron rápidamente en las más importantes conferencias internacionales en astronomía y la principal forma en que la IAU facilitó las relaciones entre los astrónomos de diferentes países. Hubo mucho para discutir durante las dos primeras décadas (debido al *impasse* entre las guerras), como la combinación de las teorías de la relatividad y la cuántica, sumada al poder de los nuevos telescopios de gran porte. Por entonces, se estableció la estructura de la Vía Láctea y se descubrió la expansión del universo.

Una figura central en muchos de estos desarrollos fue el brillante astrónomo británico Arthur Stanley Eddington, presidente de la IAU durante la mayoría de los años de la Segunda Guerra Mundial, una época muy difícil para la astronomía y la ciencia en general. Pero la reacción después de esta guerra fue mucho más rápida al reorganizarse y fundarse otras organizaciones, como las Naciones Unidas. La IAU retomó su labor con espíritu renovado.

Hay mucho más en el recorrido histórico de la IAU, sus comisiones de trabajo y los cambios en su comunidad, que puede encontrarse en un entretenido detalle en el libro sobre el cual basamos la mayoría de este artículo<sup>2</sup>.

### Un siglo de vida

Nos motiva a mirar atrás la celebración de los 100 años de la Unión Astronómica Internacional. Hoy en día la entidad está conformada por más de 13.500 astrónomos de 107 países, y es la autoridad que rige en forma indiscutida las normas y nomenclaturas astronómicas, lo que posibilita entendernos globalmente cuando hablamos de astronomía. Provee lineamientos, pero no interviene directamente en los grandes desarrollos de instrumental (lo que es propiedad de agencias o de países con normas propias).

**01** *Primera asamblea general de la IAU, en Roma en 1922, a la cual asistieron 83 personas. Allí se decidieron las comisiones que se crearían.*

**02** *Arthur Eddington fue el presidente de la IAU durante la Segunda Guerra Mundial, una época muy difícil para la ciencia.*

**03** *Asamblea de 2006 en Praga, a la cual asistieron 2412 miembros. La imagen muestra la votación y los momentos decisivos para que Plutón pase a una nueva categoría en el sistema solar, la de "planeta enano". Para la IAU también fue fundamental, puesto que el interés público en la astronomía exigió que se hablara en nombre de la comunidad profesional, lo que marcó una senda para los años que siguieron.*

**04** *La marcha por Plutón: principalmente, los familiares de Clyde Tombaugh (quien descubrió Plutón cuando tenía 24 años) se manifestaron en contra de su reclasificación.*



A comienzos del siglo XXI, la IAU se enfrentó a varios debates populares, lo que la obligó a adoptar un papel más público en temas como el riesgo potencial de los objetos cercanos a la Tierra y el estado de Plutón como "planeta"<sup>3</sup>. Además, internamente se discutía cómo hacer participar a los profesionales más jóvenes, lo que llevó en 2018 a crear la categoría de miembros "junior". Se decidió estimular la presencia de las mujeres, quienes representan un porcentaje menor en la IAU (el 84% de sus miembros son masculinos). Se sumó también un enfoque sobre la astronomía para la diplomacia y la paz, el desarrollo, las artes y la participación en la industria de alta tecnología, y se comprendió la necesidad de dedicar más tiempo al mantenimiento de recursos online.

En una suerte de metamorfosis, la IAU ha puesto en valor la difusión, la educación y la divulgación al público en general de la astronomía. Con esta visión, se destaca el 2009, declarado Año Internacional de la Astronomía, lo que marca un antes y un después en la visibilidad de esta ciencia en el planeta, gracias a las estrategias desarrolladas para la comunicación, lo que nos dejó en claro la valiosa colaboración de algunos aficionados. En 2019 todos, profesionales y amateurs, festejamos el aniversario con el lema "Cien años bajo un mismo cielo". ■

"La Unión Astronómica Internacional está conformada por más de 13.500 astrónomos y astrónomas de 107 países, y es la autoridad que rige las normas y nomenclaturas astronómicas."



El Nodo Nacional para la Difusión de la Astronomía (NOC por su sigla en inglés) coordina la comunicación con la IAU. Para conocer las actividades que hemos registrado para este año en nuestro país, pueden acceder al link: <http://sion.frm.utn.edu.ar/NOC-Argentina/>

La información completa respecto de los proyectos globales se encuentra en: <https://www.iau-100.org/>

**Notas**

1 El polo norte de la Tierra apunta actualmente a la estrella polar, pero esa dirección no está fija, sino que por sutiles cuestiones gravitatorias de la interacción con el Sol, el eje de rotación de nuestro planeta describe un cono que se completa cada 26.000 años, conocido como precesión. Se superpone a este movimiento un cabeceo de menor amplitud, conocido como nutación, que se debe a la influencia de la Luna. Estos fenómenos son las principales causas de la inconstancia de la rotación terrestre; pero además se ha observado que en escalas más pequeñas (milisegundos) los días se están haciendo

más largos, y algunos movimientos de la Tierra son ligeramente irregulares. Fue recién en 1967 que se acordó adoptar el segundo como unidad de tiempo, pero medido a partir de propiedades atómicas precisas y constantes.

2 *The International Astronomical Union, Uniting the Community for 100 Years*. Johannes Andersen, David Baneke, Claus Madsen, Springer, ISBN 978-3-319-96964-0.

3 No había una definición científica de qué es un planeta cuando se descubrió Plutón en 1930. En agosto de 2006 los astrónomos de todo el mundo, reunidos en la Asamblea General de IAU en Praga, República Checa, discutieron sobre lo que debemos entender que es un planeta. Entre otros requisitos (además de girar alrededor de una estrella), se decidió que un objeto es (oficialmente) un planeta si tiene suficiente masa como para poseer una gravedad propia que le otorgue forma esferoidal, y si es el objeto de gravitación dominante en su órbita. Los asteroides comparten órbitas similares, por lo que no son planetas. Plutón fue reubicado en la categoría de planeta enano, como lo son Ceres, Eris, Makemake y Haumea. "Los archivos de Plutón: ascenso y caída del planeta favorito de los estadounidenses" es un libro escrito por el astrofísico Neil deGrasse Tyson, que brinda todos los detalles de este asunto.

**La autora.** Mariana Orellana es doctora en astronomía, investigadora independiente del CONICET y docente en la Sede Andina de la Universidad de Río Negro. Actualmente centra sus investigaciones en el modelado de explosiones de supernovas. Es miembro del Nodo Nacional para Difusión de la Astronomía (NOC-Argentina) para el periodo 2018-2021.

LIBROS

**SUPERNOVAS**

**El espectacular fin de las estrellas**

**Gloria Dubner**  
2020. PAIDÓS



Las estrellas jóvenes suelen ser objetos violentos, pero cuando llegan al final de sus vidas pueden volverse mucho más violentos aún y terminan explotando sin remedio. La luz de esos estallidos gigantes viaja durante cientos de miles de años a través de ríos espacio-temporales hasta nosotros para contarnos su historia, que la reconocida astrofísica argentina Gloria Dubner, exdirectora del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), reconstruye en este libro, con vocación pedagógica y paciencia de orfebre.

El espectacular fin de las estrellas reúne lo que se sabe hasta el momento a nivel mundial acerca de las supernovas, explosiones estelares que pueden ser observables a simple vista. Desde una que ocurrió en la Vía Láctea, registrada en el año 1006 por los astrónomos chinos de la corte imperial de la dinastía Song, hasta las últimas, que suceden permanentemente en galaxias distantes, Dubner nos ofrece un apasionante recorrido por las características principales de estas explosiones cuyos restos en el espacio son indisolubles del comienzo de la vida en la Tierra. Gracias a su extenso trabajo con diferentes telescopios, las explicaciones están acompañadas de impactantes imágenes del espacio logradas por ella misma (y sus equipos) a lo largo de su carrera. Con datos curiosos de todo tipo, Dubner pasa revista a sus distintos proyectos de investigación, recuerda los descubrimientos de astrónomos y astrónomas de otras latitudes, vuelve sobre conceptos fundamentales de la física (clásica y cuántica) en un viaje imperdible para los curiosos y aficionados a mirar el cielo por las noches. Porque una estrella que se apaga en el universo es fuente de todo, menos de oscuridad.



*Un repaso por la historia y los hitos del telescopio más famoso*

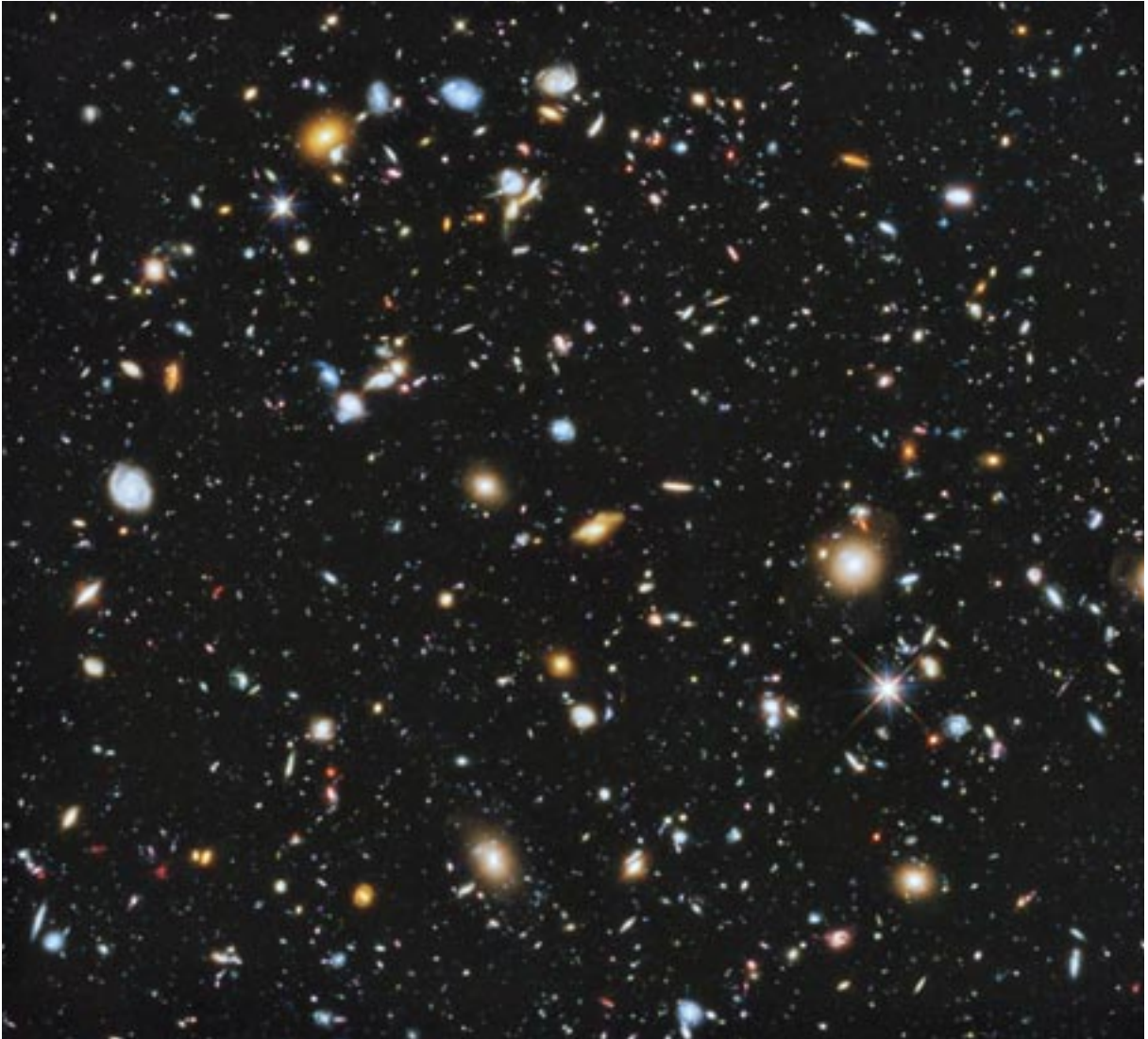
# EL HUBBLE CUMPLE 30

**Autor:** Lic. Mariano Ribas, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

01



*El Telescopio Espacial Hubble es el instrumento científico más popular del mundo y, probablemente, el mayor ícono de la astronomía contemporánea. Gracias a su posición privilegiada, por encima de la atmósfera terrestre, ha cambiado para siempre nuestra forma de ver y entender el universo. Ha estudiado y fotografiado con lujo de detalles los mundos vecinos y las entrañas de muchas nebulosas de la Vía Láctea, para ver cómo nacen las estrellas, y exploró galaxias en los límites del universo observable. Sus precisas mediciones nos ayudaron a entender mejor la escala del cosmos, su velocidad de expansión y, en consecuencia, su edad. Pero su mayor aporte quizás sean todas esas fabulosas imágenes que cautivan, emocionan y nos dejan pensando, y que han encendido la curiosidad de millones de seres humanos. Desde que abrió sus ojos por primera vez, el Hubble fue un gran provocador.*



Todo comenzó el 25 de abril de 1990, cuando la tripulación del transbordador *Discovery* lo colocó en órbita terrestre, a 600 kilómetros por encima de nuestras cabezas, dando una vuelta al planeta cada una hora y media. El Telescopio Espacial Hubble cumple 30 años (unas 165 mil vueltas a la Tierra) y *Si Muove* lo celebra contando su historia y sus grandes logros.

#### La idea

Antes que nada: ¿por qué un telescopio espacial? A fin de cuentas, desde hace siglos los astrónomos utilizan telescopios bien terrestres, cada vez más grandes y mejores. Sin embargo, desde los tiempos de Galileo, estas máquinas para ver lejos se han enfrentado con un mismo y obvio problema: la atmósfera. Ese grueso manto de aire que envuelve la Tierra entorpece el paso de la luz. A eso hay que sumarle otros factores dañinos para la observación, como la humedad, la turbulencia y la contaminación lumínica. Por eso las estrellas titilan; y por eso, cuando miramos, por ejemplo, un planeta con un telescopio, los detalles finos suelen borronearse.

No hay manera de quitar la atmósfera, y tampoco sería una buena idea. Por eso, para mirar realmente bien el universo, lo mejor es sacar un telescopio por fuera de la atmósfera. El plan no tiene nada de nuevo: ya en 1946 el astrofísico Lyman Spitzer publicó un *paper* en el que hablaba de las enormes ventajas de un hipotético telescopio espacial. Pero por entonces, poco y nada podía hacerse. A mediados de los años '60, cuando las primeras sondas espaciales habían visitado la Luna, Marte y Venus, la idea comenzó a tomar forma en la NASA. Poco más tarde ya circulaban borradores y crudos bocetos de un tal *Large Space Telescope* (Gran Telescopio Espacial).

#### Del sueño al espacio

En 1977 la NASA, con colaboración de la ESA (la Agencia Espacial Europea), puso manos a la obra, y todo un ejército de científicos, técnicos e ingenieros inició la construcción del telescopio soñado. Pero por problemas presupuestarios, técnicos y hasta burocráticos, el aparato recién estuvo listo a finales de los '80. Era un cilindro plateado del tamaño de un vagón de tren, pesaba 11 tonela-

das y su corazón era un espejo primario de 2,4 metros de diámetro. Un súper ojo equipado con una batería de instrumentos (cámaras, espectrógrafos y filtros), listos para aprovechar al máximo cada fotón proveniente de las profundidades del espacio.

Estaba listo, y su nombre fue un homenaje a Edwin Powell Hubble, aquel astrónomo estadounidense, de mirada severa y pipa en mano, que durante la década de 1920 confirmó observacionalmente la expansión del universo (aunque no fue el primero en “descubrirlo”), un hecho de extraordinarias implicancias que se convertiría en la base empírica de la posterior teoría del Big Bang.

Finalmente llegó el día: el Telescopio Espacial Hubble fue lanzado al espacio el 24 de abril de 1990, a bordo del transbordador espacial Discovery. Al día siguiente, los cinco astronautas se prepararon para la maniobra final y decisiva: ya en órbita terrestre, y a unos 600 kilómetros de altura, abrieron la bodega de carga de la nave, y con la ayuda de un brazo robot, tomaron delicadamente el telescopio y lo soltaron al espacio. Y allí quedó, orbitando la Tierra y mirando el universo desde aquel balcón privilegiado. Hace treinta años la astronomía comenzaba otra etapa de renacimiento.

### El Hubble y el sistema solar

En tres décadas, el Telescopio Espacial Hubble vio tantas

**01** *El Telescopio Espacial Hubble, colocado en órbita terrestre en abril de 1990, mide 13 metros de largo, pesa 11 toneladas y tiene un espejo primario de 2,40 metros de diámetro.*

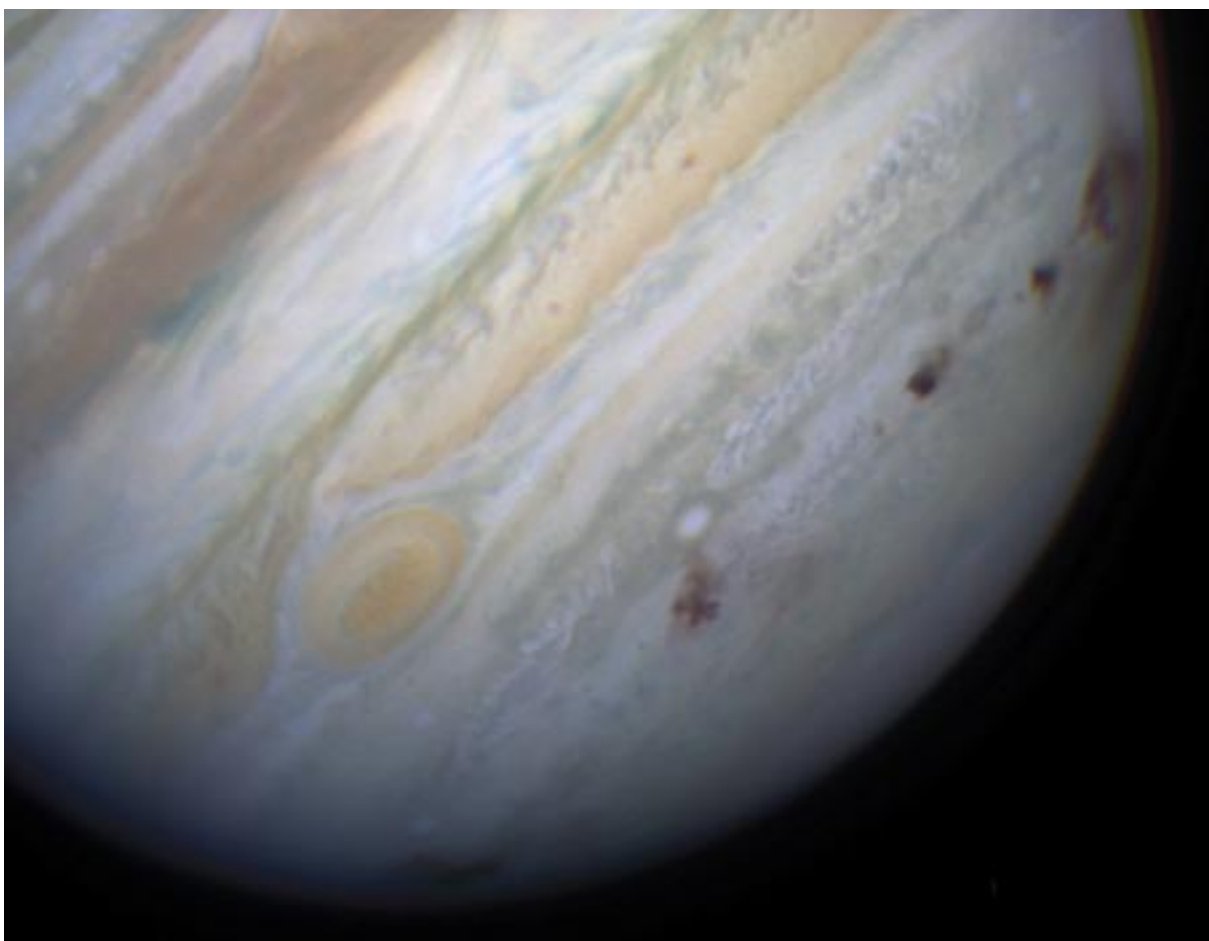
**02** *Hubble Ultra Deep Field. En 2014 la NASA publicó esta imagen de “campo profundo”, donde se observan galaxias cuya luz demoró hasta 12 mil millones de años en llegar a la Tierra.*

**03** *En julio de 1994 el Hubble fotografió Júpiter y las marcas de impactos del fragmentado cometa Shoemaker-Levy 9. Todo un hito en la historia reciente de la astronomía planetaria.*

cosas, descubrió tantas otras y vivió tantas peripecias, que haría falta todo un libro para contarlo. Pero veamos ahora los grandes temas, empezando por lo más cercano. Si bien es cierto que el Hubble fue pensado, más que nada, como una herramienta de observación galáctica y extragaláctica, destinada a medir los grandes parámetros del universo (especialmente su escala, su masa, sus cantidades de materia oscura y su velocidad de expansión), también se ha convertido en un excelente explorador planetario. Así, por ejemplo, estudió la atmósfera de Marte, sus nubes, sus tormentas de polvo y huracanes, y los ciclos de avance y retroceso de sus casquetes polares (de hielo de dióxido de carbono y algo de agua).

Mirando más lejos, obtuvo detalladísimas imágenes de la

**03**





pesada y violenta atmósfera de Júpiter y su famosa Gran Mancha Roja. Incluso, en 1994, fue testigo de un evento verdaderamente extraordinario, cuando un cometa fragmentado (el Shoemaker-Levy 9) se estrelló contra el planeta. Las fotos de Saturno y su sistema de anillos realizadas por el Hubble se acercan bastante a aquellas tomadas por naves espaciales *in situ* (como las Voyager, a comienzos de los '80, y mucho más recientemente, por la Cassini). Gracias a esas imágenes, por ejemplo, se descubrió que Saturno también tiene auroras en las zonas polares.

El Hubble también enfrentó retos mucho más difíciles dentro del sistema solar: observó detalles bastante finos en Urano y Neptuno, planetas que para casi todos los telescopios terrestres son apenas ínfimos discos verdeazulados. Y hasta resolvió, por primera vez, la silueta del asteroide Vesta y el planeta enano Ceres.

Pero el mayor desafío local del Hubble fue Plutón. Y salió airoso: en los años '90 logró sus primeras vistas aceptables, y en 2010 las superó ampliamente. De hecho, esas vistas de Plutón (donde se apreciaban detalles muy gruesos y tonos rojizos, claros y oscuros) fueron lo mejor que tuvimos hasta mediados de 2015, cuando la sonda *New Ho-*

*rizons* nos lo reveló con lujo de detalles, por primera vez en la historia (al igual que Caronte, su luna principal).

### Estrellas y nebulosas

Si hay algo en lo que el Hubble se lució en estos últimos treinta años, y donde cosechó algunas de sus imágenes más memorables, fue en el rubro “estrellas y nebulosas”, especialmente dentro de la Vía Láctea (donde por obvias razones de proximidad, pueden verse mucho mejor que en otras galaxias). Cual paparazzi astronómico, científicos de distintas partes del mundo utilizaron el telescopio espacial para espiar todas las intimidades de la vida de las estrellas. Se estudiaron a fondo las características, composición y comportamiento de decenas de nebulosas, esas enormes nubes de gas y polvo, en cuyas zonas más densas se forjan nuevos soles. Al combinar observaciones en luz visible y luz infrarroja, los astrónomos pudieron ver montones de protoestrellas y discos protoplanetarios, los “embriones” de lo que alguna vez serán nuevas estrellas y nuevos planetas. Las impresionantes fotos de la Nebulosa de Orión, de la Nebulosa de Carina y, muy especialmente, del interior de la Nebulosa del Águila (con sus imponentes “pilares” de

gas y polvo) figuran al tope de las postales del Hubble en el rubro de nacimientos estelares. Y también en el de largas y violentas agonías: el telescopio estudió estrellas muy próximas a su muerte, como la supermasiva Eta Carinae, con sus enormes “lóbulos” de gas en expansión. Y hasta restos de estrellas que ya se han apagado para siempre y que solo han dejado coloridas y fantasmales cáscaras de gas en expansión, como las bellísimas nebulosas planetarias M57 (Anillo), NGC 7293 (Helix) y M 27 (Dumbbell).

### Galaxias y cuásares

Salgamos de la Vía Láctea. En estos treinta años, el Hubble ha demostrado ser todo un experto para sondear las profundidades del espacio intergaláctico. Estudió y fotografió como nunca antes detalles estructurales en galaxias relativamente cercanas, como Andrómeda y M83. Y también otras situadas a decenas de millones de años luz: en 2010, la NASA publicó un impresionante primer plano de la galaxia espiral M66, una de las más populares.

Todas estas imágenes han permitido entender mucho

mejor la historia, anatomía y funcionamiento de estas monumentales islas de estrellas; incluso, sus interacciones recíprocas, sus roces, choques y fusiones, tal como puede verse, por ejemplo, en el caso de las galaxias NGC 4038 y 4039, conocidas como las Antenas.

El Hubble detectó claros indicios de la presencia de súper agujeros negros en los núcleos de grandes galaxias como Andrómeda, Centaurus A o la monstruosa M87 (una de las más grandes del universo). Concretamente, el telescopio fotografió grandes discos de gas, polvo y estrellas que se arremolinan en torno a objetos invisibles que, en función del desorden observado a su alrededor, podrían tener cientos y hasta miles de millones de masas solares.

Hablando de núcleos galácticos, en sus primeros años el Hubble desenmascaró los misteriosos cuásares, objetos increíblemente brillantes y energéticos situados a miles de millones de años luz de la Vía Láctea. Desde hacía décadas, los astrónomos sospechaban que esas criaturas, que apenas lucían como puntos para los telescopios terrestres, podían ser los afebrados núcleos hiperactivos de lejanas

05





galaxias, alimentados por agujeros negros supermasivos. Bien entrados los años '90, el Hubble se convirtió en el primer telescopio que lo confirmó al resolver detalles en torno a los cúasares, algo que sugiere, efectivamente, la silueta de las galaxias que los contienen en sus núcleos.

### Miradas cosmológicas

Exprimiendo al máximo su potencial, que fue aumentando a lo largo de los años y de sucesivas misiones de servicio a manos de astronautas, el infatigable cilindro plateado se asomó a las fronteras del universo observable. A lo largo de los años fue logrando varias vistas de “campo profundo” (las llamadas *Hubble Deep Field*, *Ultra Deep Field*, y así...). La primera, a mediados de los '90; y la última, allá por 2014. Como túneles de espacio y tiempo, esas imágenes revelan galaxias a distintas profundidades. Algunas, a “solo” mil o dos mil millones de años luz. Otras, que apenas se ven como puntos de luz enrojecidos, a 13 mil millones de años luz. La luz de esas lejanísimas islas de estrellas ha estado viajando desde que el universo recién empezaba a “gatear”. Las vemos como eran por entonces: pequeñas y primitivas.

### Oscuros asuntos

No podemos terminar esta reseña sin mencionar otras dos

**04** *Los “Pilares de la Creación” (1996) es una de las imágenes más famosas jamás tomadas por el HST. Estas densas columnas de gas y polvo están en el centro de la nebulosa M16, y en su interior se están formando estrellas.*

**05** *Choque de galaxias: en 2006 el Hubble fotografió la colisión entre las galaxias NGC 4038 y NGC 4039 (conocidas como Las Antenas), a 62 millones de años luz de la Tierra.*

**06** *Saturno fotografiado el 20 de junio de 2019. Cuando el Hubble obtuvo esta imagen, el planeta se encontraba a 1359 millones de km de nuestro planeta.*

cuestiones en las que los aportes del Telescopio Espacial fueron verdaderamente trascendentales: la medición de la famosa Constante de Hubble y la misteriosa energía oscura. La primera es, a grandes rasgos, la velocidad de expansión del universo. El dato no es menor, dado que es esencial para determinar su edad; es decir, el tiempo que transcurrió desde el Big Bang. Las observaciones más recientes del Hubble –basadas en las velocidades de alejamiento de distintas galaxias– sitúan la Constante de Hubble en torno a los 70 km/seg por megaparsec (un megaparsec son 3,26 millones de años luz); un valor que, junto a otros datos, nos dice que todo comenzó hace casi 14 mil millones de años.

Vamos a la cuestión de la energía oscura: en 1998 y gracias a observaciones realizadas con el Hubble, dos grupos de astrónomos descubrieron que, además de expandirse (cosa que ya se sabía hacía rato), el universo está acelerando su expansión; y la causa sería, justamente, una supuesta “energía oscura”, algo así como una antigravidad.

### Horizontes

Volvamos a 1990: cuando la NASA puso en órbita el Hubble, las estimaciones sobre su vida útil rondaban los diez a quince años. De hecho, hacia 2005 parecía que pronto sería *de-orbitado* (hacerlo caer fatalmente hasta la superficie). Pero la agencia espacial estadounidense cambió de idea y decidió salvarlo. A fin de cuentas, era más barato hacerle un mantenimiento que poner otro en su lugar. Así, en 2009 el Hubble fue visitado por quinta y última vez por un grupo de astronautas. Y gracias a una serie de mejoras instrumentales y técnicas, quedó mejor que nunca. Desde entonces siguió entregando imágenes y datos asombrosos.

Todo indica que el venerable Hubble está transitando, ahora sí, sus últimos años. De hecho, la NASA ya casi tiene listo a su “sucesor”: el *James Webb Space Telescope*, mucho más grande (su espejo primario mide 6 metros) y complejo, que sería lanzado al espacio en marzo de 2021. Mientras tanto, allí continúa el cilindro plateado, dando vueltas alrededor de la Tierra, siempre con la mirada clavada en las oscuras y frías profundidades del cosmos. Como desde hace 30 años.

¡Salud, querido Telescopio Espacial Hubble! ■

# EL ORIGEN CUÁNTICO DEL UNIVERSO

**Autor:** Dr. Gabriel R. Bengochea, Investigador del CONICET en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA). Presidente del Club de Astronomía Ing. Félix Aguilar ([www.caifa.com.ar](http://www.caifa.com.ar)). [gabriel@iafe.uba.ar](mailto:gabriel@iafe.uba.ar).

*“Einstein, deje de decirle a Dios lo que tiene que hacer.”*

**Niels Bohr**

01



*¿Por qué nos resulta interesante tratar de entender el origen del universo? Todo lo que hoy observamos, incluyendo nuestra existencia, surgió de ese suceso. El estudio de la época muy temprana del universo involucra el terreno ideal para estudiar la interfase entre dos de las más exitosas teorías físicas de la actualidad, la Relatividad General y la física Cuántica. Pero además es un área en la que contamos con una gran cantidad de datos observacionales para poner a prueba nuestras ideas teóricas. Dos de los padres de la física Cuántica, Niels Bohr y Werner Heisenberg, compartían algunos pensamientos que podrían describirse así: **la física Cuántica nos dice que hay una línea entre lo observado y el observador, y por lo tanto la ciencia debe limitarse a lo que se observa. Debemos renunciar a una teoría completa, objetiva y realista del mundo.** Este artículo orbitará alrededor de estas ideas, y propone que hoy estamos en posición de intentar desafiarlas, al menos en parte, a través de la cosmología, buscando el origen cuántico del universo.*

## **Física Clásica vs física Cuántica**

Aquí vamos a referirnos a la física Clásica como aquella descrita por las leyes de Newton (o por las teorías de la Relatividad de Einstein). A estas leyes las usamos para calcular y predecir, por ejemplo, cuáles son los valores de la posición y la velocidad de un objeto a un tiempo dado. Dados los valores a un instante, las leyes de Newton nos

permiten predecir perfectamente cuál será su trayectoria en el espacio. Desde este punto de vista, la física Clásica es objetiva, completa y realista. Brevemente, con *objetiva* queremos decir que no depende de que alguien haga las mediciones (no necesitamos de un observador); es *completa* porque en la teoría está toda la información necesaria para describir las propiedades de los objetos (o sea, todo

elemento de la 'realidad' tiene una contraparte en la teoría); y *realista* porque los elementos de la teoría describen realmente objetos *reales* que tienen propiedades con valores bien definidos. Esos objetos existen en el mundo independientemente de que alguien los observe y, con la teoría, uno puede predecir esos valores.

Por otra parte, en física Cuántica estándar las propiedades físicas como la posición o la velocidad de un objeto en general, *no tienen valores definidos hasta que se lleve a cabo una medición*<sup>1</sup>. Toda la información accesible de un sistema cuántico está contenida en lo que llamamos su *función de onda*. Dicha función no es algo que uno pueda observar, sino que es lo que nos permite poder calcular probabilidades, con una regla para tal fin dada por Max Born en 1926, la cual constituye uno de los postulados de la mecánica cuántica.

¿Probabilidades para qué? Para los posibles valores que podrían obtenerse de magnitudes físicas<sup>2</sup> (como la posición, por ejemplo), si realizáramos una medición con algún dispositivo apropiado para medir la propiedad física que nos interesa conocer (la posición del objeto en nuestro ejemplo). Con esta teoría hemos podido describir de manera extremadamente precisa y exitosa numerosos fenómenos y experimentos: desde los átomos y las partículas elementales, a cómo es que brilla el Sol y las demás estrellas; la energía nuclear, los láseres y toda la electrónica que utilizamos en nuestra vida cotidiana, por citar solo algunos ejemplos. De hecho, nuestra idea es que todo el universo en su esencia es cuántico y entonces nuestras teorías macroscópicas cotidianas serían solo muy buenas aproximaciones clásicas de algo más profundo y fundamental. Pero, ¿cómo es que los objetos macroscópicos de nuestra vida cotidiana, estando compuestos de átomos, no parecen estar descritos por la física que tan exitosamente describe los átomos?

En 1927 Werner Heisenberg propuso lo que se conoce como *Principio de incertidumbre*<sup>3</sup>. Este principio nos dice

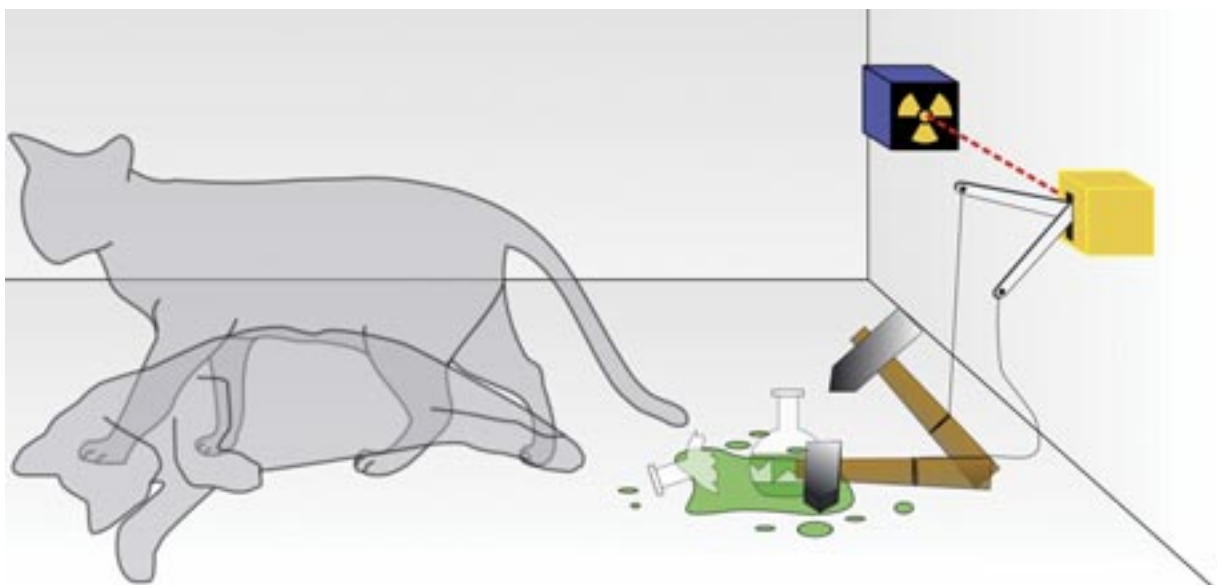
que cuanto mejor determinado esté el valor de cierta magnitud física en cierto estado cuántico (la posición, por ejemplo), menos determinado estará el valor de otra magnitud conjugada (su momento, o la velocidad). Recordemos que, según la física Clásica de Newton, los objetos tienen, en cualquier instante, todos los valores de todas las propiedades perfectamente definidos. En cambio, las incertidumbres cuánticas, junto con la regla de probabilidades de Born, nos dan el rango en el que más probablemente estarán los valores de las propiedades si hiciéramos mediciones. Hasta que no hagamos mediciones con aparatos diseñados para conocer los valores de las magnitudes físicas observables, estos (e inclusive las propiedades mismas) no están determinados, y además no son independientes. De esta manera, aunque midamos algunas propiedades, otras

**01** *Representación de la evolución del universo según el modelo del Big Bang. El origen de las estructuras que hoy vemos en el cielo habría tenido lugar en épocas muy tempranas del universo, que podemos describirlas combinando la teoría de gravedad de Einstein y la física Cuántica.*

**02** *Esquema del experimento pensado que plantea la Paradoja del gato de Schrödinger y el problema de la medición en la física Cuántica. Hasta que no realizamos una medición, todo el conjunto se encuentra en una superposición de todos los valores posibles. Pero en nuestra vida cotidiana no observamos gatos en estados de superposición.*

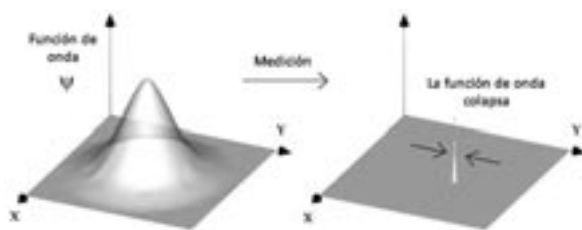
**03** *Colapso de la función de onda. En la interpretación estándar de la física Cuántica, hasta que no se lleva a cabo una medición la función de onda de un sistema es una superposición de todos los estados y valores posibles consistentes con el principio de incertidumbre de Heisenberg. Cuando se realiza una medición con algún aparato, la función de onda colapsa haciéndose muy angosta y como resultado de ello se obtienen valores bien definidos.*

02





03



permanecerán indefinidas o serán alteradas. Entonces, el estado cuántico más general será un estado de superposición. Por superposición queremos decir que, como los valores de algunas propiedades no están determinados, el estado cuántico es una “combinación” de los posibles estados y la regla de Born nos permite calcular, a partir de la superposición, las probabilidades de los posibles valores.

Es aquí donde entra en juego la mascota más conocida en la física: el gato de Schrödinger. Erwin Schrödinger fue quien logró formular en 1925, siguiendo las ideas de Luis de Broglie, una ecuación (hoy conocida como la *ecuación de Schrödinger*), que determina cómo evoluciona en el tiempo la función de onda de un sistema cuántico y sus probabilidades. Es la ecuación pilar de la física Cuántica. Y con ella vamos a plantear lo que se conoce como *la paradoja del gato de Schrödinger*.

### El problema de la medición en la física Cuántica

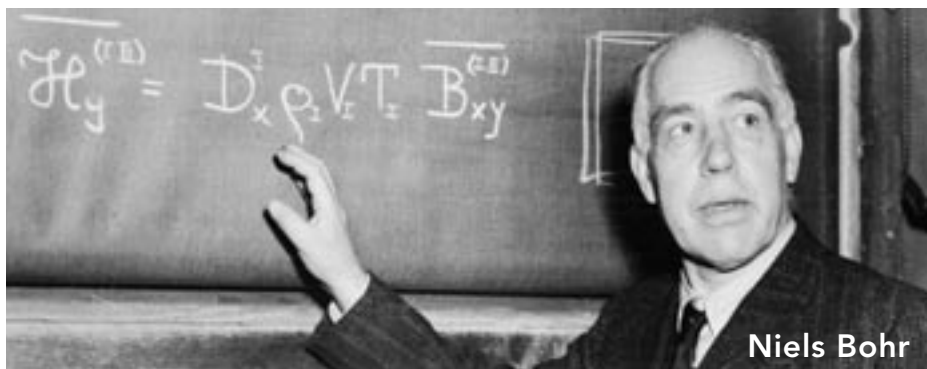
El experimento teórico que Schrödinger pensó en 1935 consiste en lo siguiente: dentro de una caja bien cerrada y sin ventanas hay un gato. En la caja junto a él hay una botella que contiene un veneno mortal y también hay un dispositivo atómico *aleatorio* con dos estados posibles, con un 50% de probabilidad cada uno de ellos. Uno de los estados del dispositivo tiene un 50% de probabilidad de actuar sobre un martillo rompiendo la botella, liberando el veneno y así matando al gato, en algún momento que no podemos precisar con exactitud. El otro estado tiene un 50% de probabilidad de no actuar, y por lo tanto el gato seguirá vivo. Pero, y aquí viene el punto importante, la física Cuántica nos dice que el estado más general del dispositivo atómico es una combinación de los dos estados posibles. Pero tanto el dispositivo, como la botella con el veneno, el martillo, el gato y la caja están hechos de átomos. Por lo tanto, todo debería ser descripto por la física Cuántica, si esta, como se supone, es aplicable a todo lo que hay en el universo. Si el dispositivo atómico inicialmente está en un estado cuántico de superposición, al considerar tanto el aparato como el gato como sistemas cuánticos que interactúan entre ellos, el estado del gato se “*entrelazará*” con el del dispositi-

tivo, y entonces, también estará en un estado de superposición hasta que se realice alguna medición. Si quisiésemos saber algo, por ejemplo sobre la propiedad “*vida del gato*”, según la física Cuántica (en su interpretación estándar), hasta que no hagamos una medición de dicha propiedad el estado cuántico más general es una superposición de los dos estados posibles: ‘*gato vivo*’ y ‘*gato muerto*’, con 50% de probabilidad para cada posibilidad. Esto es, el gato no está vivo ni muerto. No hay valor definido de la propiedad “*vida del gato*”<sup>4</sup>. Y es un estado perfectamente válido y posible para la física Cuántica.

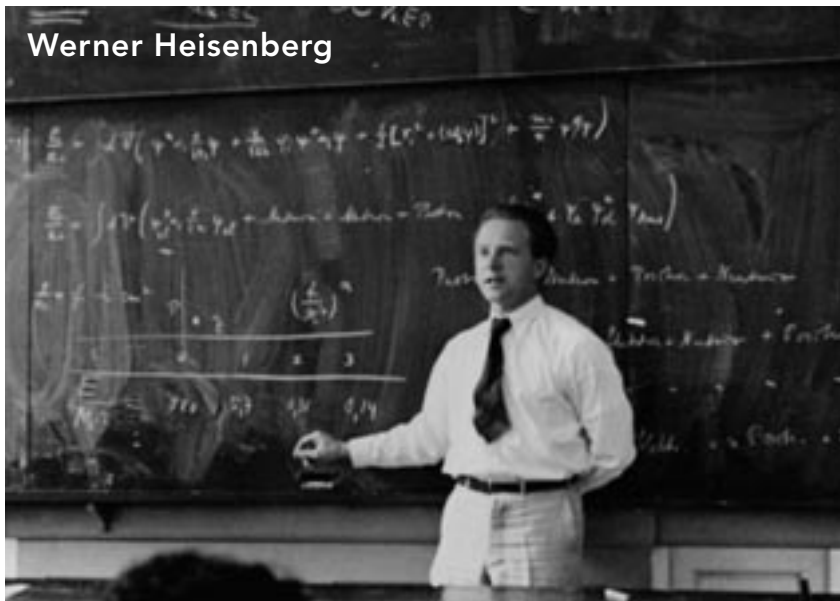
La ecuación de Schrödinger, que nos permite saber la evolución en el tiempo del estado de cualquier sistema cuántico, determina que el gato seguirá en el estado de superposición “*vivo-muerto*” hasta que alguien o algún aparato para tal fin haga una medición (abrir la caja, por ejemplo). La ecuación de Schrödinger no destruye superposiciones, probabilidades, no rompe simetrías presentes; es determinista y reversible. Con determinista queremos decir que se puede conocer perfectamente a cada instante cuál es la función de onda del sistema. Y reversible, porque en todo momento podemos calcular hacia atrás o adelante en el tiempo, cuál es y cuánto vale la función de onda. A esto lo llamaremos “*Proceso 1*”.

Pero luego de una medición, algo pasa. La función de onda “*colapsa*” y se obtiene un valor bien determinado (por ejemplo, la vida del gato resulta en “*gato vivo*”). Este otro proceso es aleatorio (podría haber resultado “*gato muerto*”), es irreversible (una vez que medimos, no podemos saber si antes de eso el gato estaba vivo, muerto, o vivo-muerto) y, por lo tanto, se pierde información. A este segundo proceso lo llamaremos “*Proceso 2*”.

De manera análoga, cuando un científico prepara un sistema en un laboratorio (partículas en un acelerador, por ejemplo) en un estado de superposición (por ejemplo, para la posición) y luego dicho sistema interactúa con algún aparato de medición destinado a medir la posición, los estados de los indicadores y las agujas del aparato se entrelazarán con las del sistema y, entonces, todo el conjunto (sistema+aparato) termina en un estado de superposición cuántico. Mientras nada ni nadie haga una medición, las agujas del aparato continuarán en un estado de superposición. ¡Lo que definitivamente no es observado en el laboratorio!



Niels Bohr



Entonces, si la teoría Cuántica es aplicable a todo, ¿por qué objetos pequeños como átomos pueden permanecer en estados de superposición, pero objetos cotidianos, como mi silla o las agujas de un aparato, no están en una superposición de dos lugares al mismo tiempo?

La situación general es, entonces, que hasta que no hacemos una medición, el estado más general de un sistema físico es estar en una superposición de estados, y las incertidumbres cuánticas, junto con la regla de Born, nos dicen los rangos de valores posibles y más probables para las propiedades. Y luego, cuando llevamos a cabo una medición para conocer alguna magnitud física, la posición  $X$  digamos, la función de onda colapsa y se obtiene para  $X$  un valor bien definido, compatible con el Principio de incertidumbre.

Pero, ¿cómo pasamos de una superposición de estados para  $X$  a otro estado sin superposiciones, y con un valor bien definido de  $X$  si la ecuación de Schrödinger no destruye superposiciones? Si alguien (o algo, para tal fin) realizara una medición, nos revelaría en qué estado está el sistema. Pero algo 'externo' debe hacer colapsar la función de onda a otro estado bien definido. Por otra parte, es importante decir aquí que, además, el concepto "medición" no está satisfactoriamente definido dentro de la física Cuántica. ¿Qué tan grande debe ser un objeto para que su estado colapse y no se encuentre en una superposición? ¿Del tamaño de un gato? ¿Cuándo sucede una medición? La Cuántica no nos lo dice. No hay un criterio claro de cuándo debemos usar la evolución dada por el *Proceso 1* y cuándo emplear el *Proceso 2* que determina el colapso de la función de onda cuántica. Esto se conoce como "el problema de la medición" en la física Cuántica<sup>5</sup>.

En la física Clásica las cosas suceden siguiendo determinadas leyes sin importar que existan observadores que decidan cuándo y cómo hacer mediciones para que se aplique una u otra ley de evolución. ¿Por qué la Cuántica parece ser tan diferente?

Hemos dicho que la evolución cuántica, dictada por la ecuación de Schrödinger, no puede producir el colapso de la función de onda. Entonces, ¿qué lo produce? Algunos, como Bohr, sostenían que la física debe encargarse solo de lo que se observa. Esto es, renunciar a una teoría objetiva, libre de una descripción del mundo por quién decide observar. Otros dicen que es culpa del aparato de medición. El aparato interactúa con el objeto, le modifica el estado y sucede el colapso. Pero, ¿cuán grande debe ser un aparato para ser y actuar como aparato? ¿Un electrón orbitando un núcleo atómico está midiendo los protones del núcleo? ¿Será quizás el observador el que

hace que la función de onda colapse? ¿Y qué representa un observador? ¿Un humano? ¿Un chimpancé? ¿Un gato?

Otra versión dice que, puesto que un objeto completamente aislado del resto del mundo no existe, el *medio ambiente* es el que interactúa con el objeto, altera su estado y produce que la superposición macroscópica de todos los estados posibles desaparezca y resuelva todo el asunto<sup>6</sup>.

Pero, ¿cuál es la regla a aplicar para decidir en cada caso dónde termina el objeto y dónde comienza y termina el medio ambiente? ¿Qué cosa o quién es el que decide qué es y qué no es medio ambiente? ¿Somos nosotros? ¿Entonces la naturaleza cuántica del mundo depende de que nosotros existamos? La realidad es que nada de esto está bien definido en la teoría Cuántica y nada de esto ha podido resolver el problema de la medición. Entonces, la pregunta *¿cómo pasamos de un estado de superposiciones cuánticas a otro estado sin superposiciones?* al día de hoy no tiene una respuesta completa y satisfactoria.

¿Por qué entonces es tan exitosa la física Cuántica si tiene este problema de la medición? La respuesta está en que la Cuántica trata acerca de hacer mediciones, y cuando queremos emplear la teoría, en la práctica, dividir el mundo entre lo observado y el observador resulta fácil en un laboratorio a pesar de que la teoría no nos proporcione una regla clara al respecto. En general está muy definida la separación entre cuál es el objeto de estudio y qué constituye el aparato. A lo sumo, bastará con incorporar más componentes al sistema cuántico objeto hasta que las predicciones ya no se alteren más, y así los resultados serán concordantes con lo observado. Por otra parte, siempre resulta sencilla la mencionada separación en las situaciones de laboratorio, porque la escala de los sistemas cuánticos de estudio (átomos, por ejemplo) está muy alejada de la escala humana, de la escala de los aparatos y también de la resolución y precisión de nuestros aparatos.

Pero esto no puede ser del todo satisfactorio. Y aquí es donde nos movemos al terreno del universo a gran es-

cala. El problema de la medición cuántica empeora terriblemente en el caso cosmológico<sup>7</sup>. Veamos por qué.

### El caso cosmológico

El modelo del Big Bang, con el que buscamos describir cómo fueron el origen del universo y su evolución temporal hasta llegar a nuestros días, involucra fundamentalmente los dos pilares de la física moderna: la gravitación (la teoría de la Relatividad General de Einstein) y la física Cuántica. Más precisamente, cuando queremos entender cómo fueron los primeros instantes del universo y cómo surgieron las primeras “semillas” (las *inhomogeneidades* primordiales<sup>8</sup>) de la estructura cósmica, que luego terminaron en, digamos, galaxias, la física Cuántica toma un rol extremadamente protagonista en esta descripción. Estos primeros instantes del universo están descritos por un modelo que llamamos *inflación cósmica*.

Fundamentalmente con el trabajo de Alan Guth en 1981 [5], y por trabajos de Andrei Linde, Paul Steinhardt, Andreas Albrecht, Viacheslav Mukhanov, Alexei Starobinsky y Stephen Hawking entre otros [6-12], surgió la propuesta de que si al comienzo de su historia ( $\sim 10^{-35}$  segundos) el universo hubiera atravesado por una brevísima fase inflacionaria de expansión acelerada conducida por un exótico campo llamado *inflatón*<sup>9</sup>, algunos problemas para entonces ya conocidos del modelo estándar del Big Bang podían ser resueltos, y todos ellos con un mismo mecanismo.

No entraremos en detalle aquí sobre cuáles eran esos problemas, ya que no es el objetivo de este artículo. Lo que nos interesa decir es que a partir de un encuentro científico llevado a cabo en Cambridge (Reino Unido) en 1982, organizado por Gibbons y Hawking, y con las ideas de un trabajo de Andrei Sakharov de 1965 en mente [13], dichos autores empezaron a mostrar que el surgimiento de las semillas de las estructuras en el universo podría haber ocurrido debido a “*fluctuaciones cuánticas*”<sup>10</sup> de ese campo inflatón durante ese mismo proceso inflacionario. La evolución gravitacional de esas semillas generadas en inflación, con el paso del tiempo, habrían terminado en todo lo que observamos hoy en el cielo; y esa evolución, además, parece estar muy bien reproducida con simulaciones numéricas que se llevan a cabo con grandes arreglos de computadoras.

Una de las líneas observacionales que más desarrollo ha tenido y que más cantidad de datos ha logrado en las últimas décadas, es la que trata con el análisis de lo que se



Erwin Schrödinger

conoce como el *fondo cósmico de microondas*. Este fondo cósmico es radiación electromagnética que nos llega con un espectro prácticamente idéntico desde todas las direcciones del cielo (hoy con mayor intensidad en el rango de las microondas), y caracterizado con una temperatura media de tan solo unos 2,7K. La existencia de esta radiación fue predicha hacia fines de los años '40 por George Gamow, pero fue descubierta recién en 1965 por Arno Penzias y Robert Wilson. Pensamos que proviene de la época en la cual se generaron los primeros átomos neutros en el universo, unos 380 mil años después del Big Bang. El análisis estadístico de las pequeñas diferencias en la temperatura de esta radiación que se observan en las diferentes direcciones del cielo constituye lo que se llama el estudio de las *anisotropías* del fondo cósmico de microondas. Estas pequeñísimas diferencias de temperatura son de una parte en cien mil. Teóricamente, como empezaron a mostrar los autores que mencionamos más arriba, esperamos que estas diminutas diferencias de temperatura estén presentes en el cielo, puesto que serían el resultado de la evolución de las semillas (*perturbaciones primordiales*) generadas al comienzo del universo, y cuyo origen se lo atribuimos al mecanismo de inflación. El hecho sorprendente es que las anisotropías observadas en el cielo son exactamente como las que predice el modelo inflacionario, y sin este modelo hoy resultaría bastante difícil poder explicar el origen de lo que observamos<sup>11</sup>.

Entonces, hasta aquí tenemos esta situación: observamos grandes estructuras (galaxias y cúmulos de galaxias) y también pequeñas anisotropías en la temperatura del fondo cósmico de microondas. Suponemos que su origen se remonta al comienzo del universo, donde debieron existir las semillas cósmicas originales. Hacemos nuestras cuentas y todo encaja perfectamente entre teoría y observación. Pero, ¿de dónde salieron esas semillas iniciales? ¿Cómo se generaron durante la inflación cósmica?

Es aquí donde vuelve a aparecer nuestra protagonista principal del artículo: la física Cuántica.

¿Cómo aplicamos la ecuación de Schrödinger de la física Cuántica al caso del inflatón al comienzo del universo? ¿Cuál pensamos que fue el estado cuántico inicial de las perturbaciones primordiales con el que hacemos nuestros cálculos para hacer predicciones teóricas?

Al momento en que comienza a ocurrir la fase inflacionaria tenemos, por un lado, el espacio-tiempo (cuya evolución es descrita por las ecuaciones de Einstein de la Relatividad General) y, por otro lado, el campo inflatón que produce la expansión acelerada y cuyas inhomogeneidades queremos saber cómo surgieron cuánticamente<sup>12</sup>. Luego, las ecuaciones de Einstein nos dictan cómo reacciona y es afectado el espacio-tiempo (su curvatura) ante la presencia de las inhomogeneidades del campo inflatón. Suponemos que inicialmente el espacio-tiempo fue el más simétrico y sencillo de todos. Era perfectamente isótropo (no había dirección privilegiada) y homogéneo (todos los puntos del espacio eran idénticos). Suponemos, además, que las inhomogeneidades del inflatón se encontraban al comienzo de inflación en un estado de vacío cuántico perfectamente isótropo y homogéneo. O sea, un estado con energía definida y que poseía también las mismas simetrías que el espacio-tiempo inicial<sup>13</sup>. Podríamos partir de una situación inicial diferente, un poco más compleja, sin algunas simetrías, o que ya de antemano contenga las semillas cósmicas de las futuras galaxias. Pero entonces nos encontraríamos con la tarea extra de elaborar otra teoría para explicar por qué el universo nació con una situación más compleja y no la más sencilla. Al igual que con cualquier sistema cuántico, podemos ahora calcular los valores esperados y las incertidumbres cuánticas de las perturbaciones en el estado cuántico de vacío. Y de la misma manera que cuando dijimos que en un experimento de laboratorio hasta que no ocurra una medición para la posición de una partícula en general esta no está definida, que se encuentra en un estado de superposición y que además la incertidumbre cuántica nos dice en qué rango de valores posibles más probables podremos encontrarla cuando midamos, lo mismo debe aplicar ahora a nuestro caso del universo cuántico. En el caso del laboratorio, cuando medimos algo la función de onda colapsa y de esa manera nuestros aparatos nos dan valores definidos.

Entonces es cuando surge la pregunta central de este artículo: ¿cómo pasamos cuánticamente de un estado de vacío, con superposiciones, perfectamente isótropo y homogéneo (sin semillas cósmicas), a otro estado que no es

más isótropo y homogéneo, con las semillas de estructuras? Hemos dicho que el estado cuántico de un sistema contiene toda la información de dicho sistema y que la evolución de cualquier estado cuántico es dictada por la ecuación de Schrödinger, la que no rompe ninguna simetría ni destruye superposiciones cuánticas. Hasta que no se rompan las simetrías y cambie el estado cuántico el espacio seguirá siendo isótropo y homogéneo, la curvatura del espacio será igual en cada punto y, por lo tanto, no habrá ninguna posibilidad de que aparezca en algún lugar una galaxia o cualquier otra cosa en el futuro.

¿Quién o qué cosa realizó una medición produciendo el colapso, la pérdida de las simetrías iniciales y el surgimiento de las semillas de estructura al comienzo del universo, otorgando valores bien definidos para las perturbaciones del inflatón y del espacio-tiempo? ¿Fue algún aparato? ¿Algún observador? ¿El medio ambiente? Por supuesto, queremos pensar que nada de esto existía al comienzo del universo.

Típicamente, la versión más ortodoxa de este análisis recurre al Principio de incertidumbre para decir que las “*fluctuaciones cuánticas del vacío*”<sup>14</sup> iniciales son el mecanismo de generación de las semillas de las estructuras. Desde este enfoque, las fluctuaciones cuánticas tienen existencia real en el universo. O sea, los campos cuánticos adquieren en cada instante valores reales, aleatorios pero bien definidos, y hacen que la curvatura del espacio se modifique (y oscile como un resorte, por ejemplo), de la misma manera que en la teoría de Newton la posición de una pelota de tenis va tomando valores definidos siguiendo una trayectoria en el espacio. Esto contradice lo que entendemos de la física Cuántica y no es lo que tenemos en mente cuando un experimentador hace su trabajo en un laboratorio terrestre. Las fluctuaciones cuánticas no son otra cosa que las incertidumbres cuánticas<sup>15</sup>. Y una incertidumbre cuántica distinta de cero para las perturbaciones en el estado de vacío lo único que nos brinda, junto con la regla de Born, es el rango de sus valores más probables, pero que *no hay valores definidos* para las perturbaciones hasta

“Con esta teoría hemos podido describir de manera extremadamente precisa y exitosa numerosos fenómenos y experimentos: desde los átomos y las partículas elementales, a cómo es que brilla el Sol y las demás estrellas; la energía nuclear, los láseres y toda la electrónica que utilizamos en nuestra vida cotidiana, por citar solo algunos ejemplos.”

que se lleve a cabo una medición. Al igual que en un laboratorio, debemos hablar siempre de posibles resultados de mediciones para que las predicciones de la física Cuántica tengan algún sentido. Por lo tanto, bajo este enfoque del análisis, todos los puntos del espacio deben seguir siendo equivalentes, el espacio permanece isótropo y homogéneo, y no hay semillas de estructura de ningún tipo. Las fluctuaciones cuánticas del vacío no pueden ser las semillas para formar estructuras. El estado de vacío tiene fluctuaciones (las incertidumbres cuánticas) pero no tiene inhomogeneidades [15].

El enfoque estándar, entonces, no puede justificar cómo se encienden las perturbaciones iniciales en el universo temprano. Se requiere algún proceso que actúe “*como una medición*”, tal como sucede en el laboratorio, y que produzca algo como un colapso de la función de onda. Ese nuevo estado deberá contener las perturbaciones o semillas de las estructuras.

### **Nuestro enfoque al problema y otros temas relacionados**

El enfoque que junto a otros colegas adoptamos, como guía para nuestros trabajos de investigación, tiene como eje central el hecho de que pensamos que para dar respuesta al problema de la medición en la física Cuántica, y en particular para el caso del origen cuántico de las semillas primordiales de las estructuras, debemos explorar teorías cuánticas no-estándares. Teorías en donde el colapso de la función de onda sea auto-inducido por algún mecanismo novedoso.

Desde mediados de los '70 y más intensamente en los '80 y '90, autores como Pearle, Ghirardi, Rimini, Weber, Penrose, Diosi y otros [16-20], comenzaron a buscar y desarrollar modificaciones a la ecuación de Schrödinger para alterar la evolución del estado cuántico y que se produjera el colapso de la función de onda, sin observadores externos ni aparatos presentes que tengan que hacer mediciones; y de esa manera, resolver el problema de la medición en la física Cuántica. Y que con esa misma teoría se puedan explicar tanto los fenómenos microscópicos excelentemente descritos por la teoría Cuántica estándar, así como también los fenómenos macroscópicos que no presentan superposiciones (en estas teorías, el gato de Schrödinger está vivo o ya está muerto antes de que abramos la caja). Es decir, buscaron lograr una teoría que con la misma ecuación puedan describirse estados de superposición de electrones, por ejemplo, y también que dé cuenta de por qué los gatos y los objetos cotidianos no lo están.

La modificación a la ecuación de Schrödinger debe ser tal que evite las superposiciones cuánticas para objetos macroscópicos y los localice en el espacio de la manera en la que vemos que sucede cotidianamente. Para ello, debe incorporar algún “*mecanismo de amplificación*” que discrimine objetos pequeños de grandes y que la dinámica misma provoque los colapsos y conduzca cualquier estado cuántico inicial a otro, de manera estocástica (para explicar la aleato-

riedad observada en los resultados de mediciones en laboratorio) y reproduciendo las exitosas predicciones de las reglas de probabilidades cuánticas propuestas por Max Born. Guiados fundamentalmente por las ideas de Diosi y Penrose, en el año 2006 Daniel Sudarsky y colaboradores propusieron aplicar las ideas de modificar la teoría Cuántica al caso cosmológico [21]. Es decir, incorporar en las ecuaciones de Einstein para la dinámica del universo los efectos de los colapsos auto-inducidos de teorías cuánticas modificadas.

De esta manera, durante el período de inflación cósmica se habrían producido colapsos espontáneos en los estados de vacío cuánticos iniciales, semejantes a una medición, de tal forma que el resultado final es un nuevo estado con simetrías diferentes a las iniciales, sin superposiciones cuánticas, encendiendo las perturbaciones y dándoles valores definidos no nulos, alterando la curvatura del espacio-tiempo y creando de esta manera las semillas de estructura en el universo. Sin observadores ni aparatos de medición.

Con estas modificaciones pueden realizarse predicciones teóricas, las que luego permiten poner a prueba estas teorías y así poder decir algo sobre su viabilidad para explicar las precisas observaciones existentes, por ejemplo, del fondo cósmico de microondas. Algunas predicciones han resultado ser muy interesantes puesto que han podido explicar ciertas cotas observacionales de una manera más natural y clara que en el caso estándar (por ejemplo, [22-27]).

Estas ideas siguen evolucionando. Más recientemente, se ha mostrado que este enfoque permitiría abordar de manera diferente otros interrogantes de origen gravitacional que están abiertos desde hace muchos años. Tales son los casos de la paradoja de la información en los agujeros negros y el origen de la energía oscura [28-29]. La propuesta de algunos autores acerca de que podrían existir otros universos además del nuestro, está atada, en parte, a la ocurrencia de la fase inflacionaria al comienzo del universo y a los problemas teóricos que se mencionaron anteriormente. Por lo tanto, este enfoque también podría convertir en un mito la posibilidad de que exista el llamado “*multiverso*” [30-31]. Aún las teorías cuánticas modificadas no están en sus versiones finales, enfrentan sus propios interrogantes y son un desafiante trabajo en progreso.

### **Epílogo: el secreto cuántico**

El Big Bang, nuestro modelo para el universo, combina fundamentalmente dos de las más exitosas teorías desarrolladas en el siglo XX: la Relatividad General y la física Cuántica. El modelo describe y explica de manera exitosa numerosas observaciones cosmológicas. Aun así, sabemos que no puede ser la versión final de la historia. Al día de hoy aún no tenemos una teoría cuántica de la gravedad completamente satisfactoria que logre unificar ambas teorías. Por lo que no conocemos, entre otras cosas, el origen y la naturaleza del espacio-tiempo, ni el origen de los campos cuánticos como el caso del inflatón.

Existen propuestas para lograr una física Cuántica que de alguna manera resulte, en algún sentido, realista y objetiva, que desafían las ideas originales de científicos reconocidos

como Bohr. Y con estas propuestas no solamente podría resolverse el problema de la medición en la física Cuántica, sino que también podría explicarse de una manera más completa y clara el origen cuántico de las estructuras en el universo temprano.

¿Podrá un mismo mecanismo resolver el problema de la medición de la Cuántica y al mismo tiempo los problemas gravitacionales que aún no tienen solución satisfactoria? Este mecanismo, quizás, también podría servir de guía en la búsqueda de una teoría cuántica de la gravedad. ■

#### Notas

1 Por física Cuántica “estándar” nos referimos a la llamada *interpretación de Copenhague*, que es la adoptada por la amplia mayoría de los autores en los libros de texto. Sin embargo, las diversas interpretaciones de la física Cuántica estudiadas en la actualidad afrontan los problemas mencionados en el presente artículo. Ver por ejemplo [1].

2 Usamos aquí los términos “magnitudes físicas” y “propiedades” físicas de los objetos como sinónimos.

3 También llamado más apropiadamente *Principio de indeterminación*. Pero vamos a usar aquí el término incertidumbre por ser el más difundido en la literatura.

4 Pero cuidado: no es que ya podría tener un valor pero no lo sabemos por ignorancia. No tiene ningún valor definido aún, hasta que se realice una medición. Y cuando midamos, aún hay muchas otras propiedades que no pueden tener sus valores definidos simultáneamente.

5 Para más detalles, ver por ejemplo la referencia [2]. Hay quienes optan por negar la existencia de este problema, afirmando que la Cuántica solo trata de cálculos para predecir probabilidades, y que cuando hacemos mediciones en el laboratorio, todo encaja perfectamente. Pero veremos en “el caso cosmológico” que esta postura no puede sostenerse.

6 Si bien este enfoque (conocido como *de coherencia cuántica*) en algunos casos logra resolver parcialmente el problema, no termina de ser una solución satisfactoria y, además, suele requerir de un observador externo que subjetivamente decida cuestiones o lleve a cabo mediciones. Un análisis detallado de estos y otros problemas de este enfoque que aquí no mencionamos puede verse en [3].

7 Una de las primeras referencias en donde se nota esto es en la *Introducción* de uno de los trabajos de J. Bell [4].

8 Para ser correctos, en español a algo que no es homogéneo le llamamos *heterogéneo*. Por otra parte, técnicamente, a estas semillas de estructura o “*inhomogeneidades*” las llamamos *perturbaciones*. Por lo tanto, usaré los términos inhomogeneidades o perturbaciones indistintamente.

9 En la naturaleza, muchos fenómenos físicos son descritos a través de campos. Tales como el campo eléctrico, el campo magnético, el campo gravitatorio, etc. El Inflatón habría sido un exótico campo escalar, cuya energía potencial habría sido dominante solo al comienzo del universo, expandiéndolo aceleradamente.

10 Más abajo quedará claro a qué nos referimos con este concepto.

11 Algunos autores reconocidos como P. Steinhardt y R. Penrose han estado destacando que la inflación tiene algunos serios problemas, y es justo mencionar que existen algunas variantes y alternativas al paradigma inflacionario, incluyendo modelos de universos cíclicos. Pero a la fecha no han podido lograr ser suficientemente competitivos.

12 Si bien la versión más estándar procede *cuantizando* tanto el espacio-tiempo como el campo inflatón, aquí adoptaremos el enfoque de que el espacio-tiempo (por lo menos desde inflación) es siempre clásico y que la *cuantización* se realiza solo al campo inflatón. Esto no modifica en nada el eje central del artículo, los problemas que se abordan y las conclusiones.

13 Un estado de vacío es aquel que, por lo menos para algún instante de tiempo, tiene una energía bien definida (y en gene-

ral es mínima). Si bien en este punto hay un problema técnico que no abordaremos aquí, que tiene que ver con que no hay una manera única de elegir un estado de vacío cuántico en un universo que se expande, el consenso es que el estado de vacío inicial de las perturbaciones cosmológicas fue el que se conoce como *vacío de Bunch-Davies*, y es perfectamente isótropo y homogéneo.

14 Nótese que lo correcto sería hablar de las *fluctuaciones cuánticas del inflatón* en el estado de vacío. De hecho esta ligereza en el discurso muchas veces es acompañada con frases como “las fluctuaciones cuánticas de la energía del vacío”, la cual es totalmente errónea, puesto que la incertidumbre cuántica de la energía en el estado de vacío es exactamente cero. El argumento de las fluctuaciones cuánticas del vacío también resultó ser inadecuado como mecanismo de resolución del problema de la constante cosmológica [14].

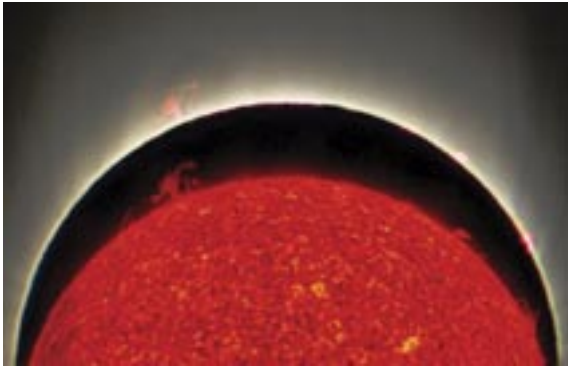
15 La palabra “*fluctuaciones*” en física suele usarse (y confundirse) en varios contextos diferentes. Puede significar las variaciones o el rango de valores para alguna característica dentro de un conjunto; o también puede referirse a variaciones en distintas regiones de algo extendido y homogéneo, como las olas en el mar; o como en este artículo, puede referirse también a la indeterminación cuántica.

#### Referencias

- [1] M. Castagnino et al., *Found. Phys.* **47** (2017) 11, 1387.
- [2] E. Okon, *Rev. Mex. Fis. E* **60** (2014), 130.
- [3] E. Okon and D. Sudarsky, *Found. Phys.* **46** (2016) 7, 852.
- [4] J. S. Bell “*Quantum Mechanics for cosmologists*”, *Quantum Gravity 2*, eds. C. Isham, R. Penrose and D. Sciama (Oxford, 1981), 611.
- [5] A. H. Guth, *Phys. Rev. D* **23** (1981), 347.
- [6] A. D. Linde, *Physics Letters* **108** (1982), 389.
- [7] A. Albrecht and P. Steinhardt, *Phys. Rev. Lett.* **48** (1982), 1220.
- [8] V. F. Mukhanov and G. V. Chibisov, *JETP Lett.* **33** (1981), 532.
- [9] A. A. Starobinski, *JETP Lett.* **30** (1979), 682.
- [10] J. M. Bardeen, P. Steinhardt and M. S. Turner, *Phys. Rev. D* **28** (1983), 679.
- [11] R. H. Brandenberger, *Nuc. Phys. B* **245** (1984), 328.
- [12] S. W. Hawking, *Physics Letters* **115** (1982), 295.
- [13] A. D. Sakharov, *J. Exptl. Theoret. Phys. (U.S.S.R.)* **49** (1965), 345.
- [14] G. R. Bengochea et al, *Eur. Phys. J. C* **80** (2020), 18.
- [15] D. Sudarsky, *Int. J. Mod. Phys. D* **20** (2011), 509.
- [16] P. Pearle, *Phys. Rev. D* **13** (1976), 857.
- [17] P. Pearle, *Phys. Rev. A* **39** (1989), 2277
- [18] G. C. Ghirardi, A. Rimini and T. Weber, *Phys. Rev. D* **34** (1986), 470.
- [19] R. Penrose, *Gen. Rel. Grav.* **28** (1996), 581.
- [20] L. Diosi, *Phys. Lett. A* **120** (1987), 377.
- [21] A. Perez, H. Sahlmann, y D. Sudarsky, *Class. Quant. Grav.* **23** (2006), 2317.
- [22] P. Cañate, P. Pearle and D. Sudarsky, *Phys. Rev. D* **87** (2013), 104024.
- [23] G. R. Bengochea, P. Cañate and D. Sudarsky, *Phys. Lett. B* **743** (2015), 484.
- [24] G. León and G. R. Bengochea, *Eur. Phys. J. C* **76** (2016), 29.
- [25] S. J. Landau, C. G. Scoccola and D. Sudarsky, *Phys. Rev. D* **85** (2012), 123001.
- [26] M. P. Piccirilli et al., *Int. J. Mod. Phys. D* **28**(2019), 1950041.
- [27] G. León et al., *Phys. Rev. D* **98** (2018), 023512.
- [28] S. K. Modak et al., *Phys. Rev. D* **91** (2015), 124009.
- [29] T. Josset, A. Pérez and D. Sudarsky, *Phys. Rev. Lett.* **118** (2017), 021102.
- [30] G. León, *Eur. Phys. J. C* **77** (2017), 705.
- [31] G. R. Bengochea, *Si Muove* **14** (2017), 15.

**El autor.** Gabriel R. Bengochea es Licenciado y Doctor en Ciencias Físicas de la Universidad de Buenos Aires. Realizó estudios postdoctorales en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA) y actualmente es Investigador del CONICET y forma parte del Grupo de Teorías Cuánticas Relativistas y Gravitación del IAFE. Hizo estadías en el Departamento de Teorías de Campos y Gravitación del Instituto de Ciencias Nucleares de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección del Dr. Daniel Sudarsky, y mantiene colaboraciones desde 2012. Trabaja en cosmología observacional, modelos de energía oscura y cosmología inflacionaria. Es coordinador del área de divulgación del IAFE y preside las actividades del grupo de aficionados a la astronomía CAIFA.

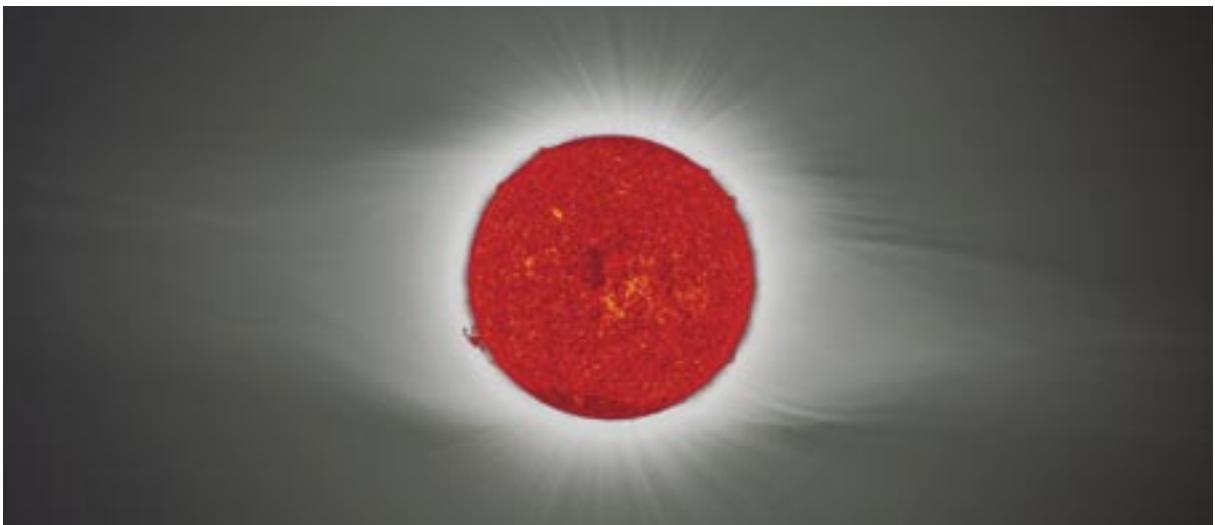
# Un eclipse protuberante



Las protuberancias solares, como las que vemos en estas imágenes, son proyecciones del plasma de la fotosfera (la superficie brillante del Sol), que atraviesan la cromósfera y llegan hasta la corona solar. Como la cromósfera, son de color rojo intenso y resultan solo visibles a simple vista durante los eclipses totales. Son inmensas, mucho mayores que el planeta Tierra. La más grande que vemos en las fotos se alza 94.000 km sobre la superficie. Pueden explotar violentamente al compás del campo magnético solar, ser expulsadas hacia el espacio interplanetario y formar eyecciones de masa coronal. Cuando impactan con la Tierra producen serios disturbios en nuestro campo magnético, afectan las telecomunicaciones, las redes de distribución eléctrica, los grandes oleoductos y gasoductos, etc.

La foto de fondo fue tomada durante el eclipse solar total del 2 de julio de 2019 (1/500 s F/5 ISO 100), y se muestra superpuesta una imagen del *Solar Dynamics Observatory* (NASA), que observa el Sol permanentemente desde el espacio con una variedad de instrumentos. La cromósfera y las protuberancias son manifiestas en el instrumento AIA, en la longitud de onda de 30,4 nm (ultravioleta, correspondiente a temperaturas de 50.000 K).

Dr. Guillermo Abramson



*2 de julio de 2019*

# RECUERDOS DEL ECLIPSE TOTAL DE SOL

Cristian López, Venado Tuerto.



Verónica Espino, el "vuelo del eclipse".





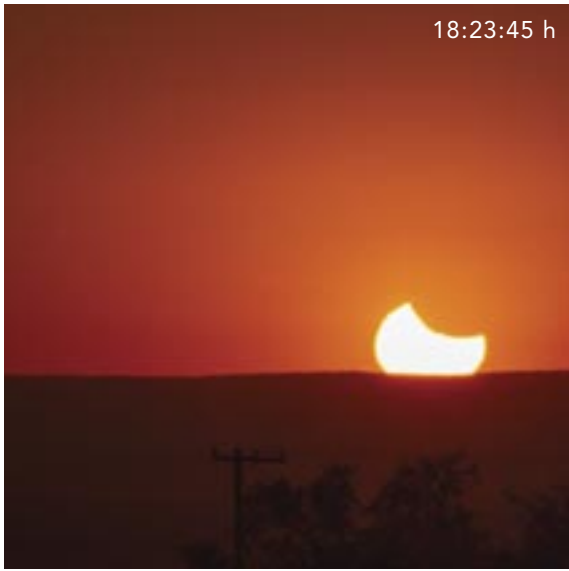


Mariano Ribas, Carpintería, San Luis.

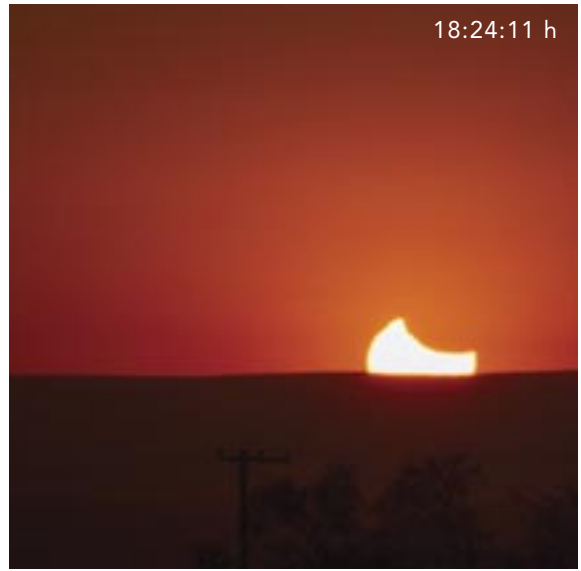


Alberto Russomando, Carpintería, San Luis.

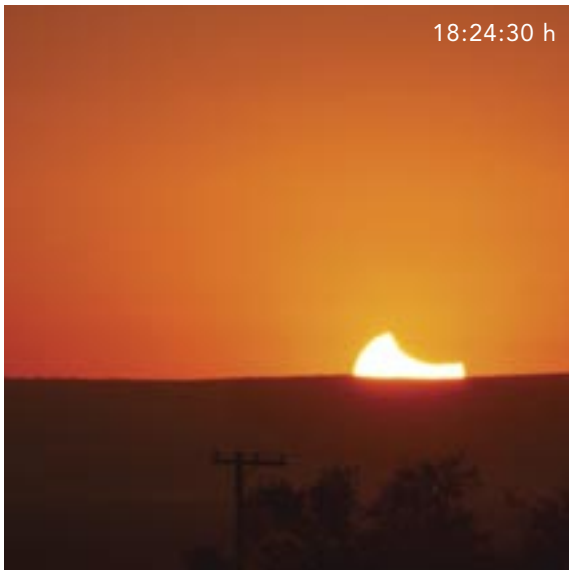
01



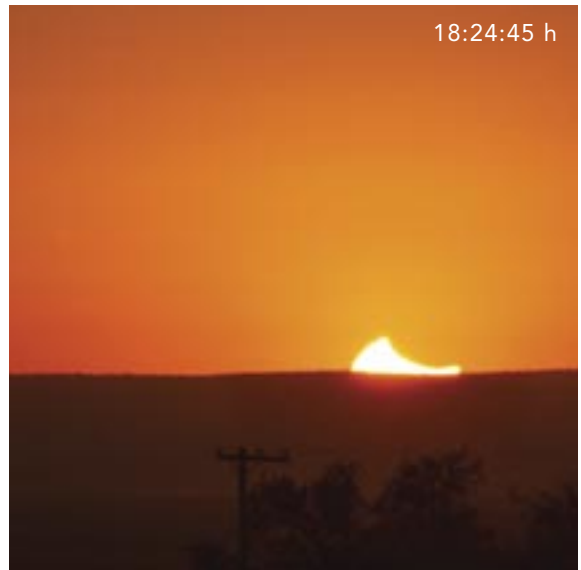
02



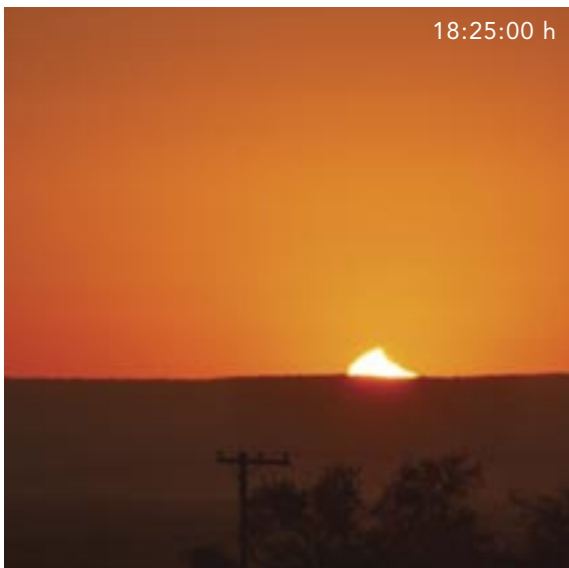
03



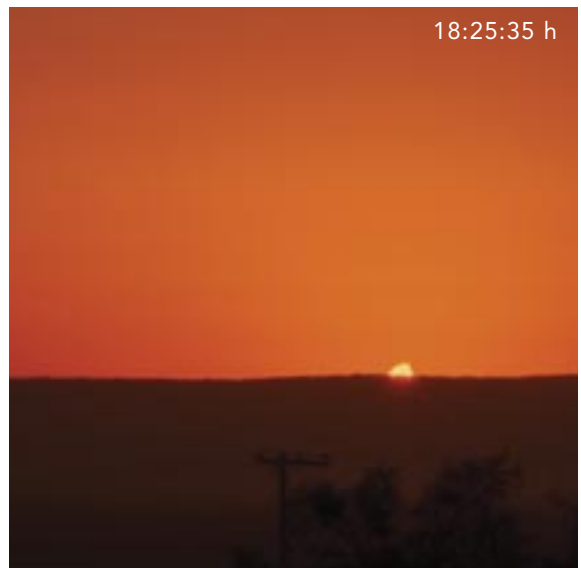
04



05



06




Alberto Russomando, Carpintería, San Luís.

# DE LA TIERRA AL UNIVERSO

Espectáculo inclusivo narrado en castellano,  
subtitulado e interpretado por Personas Sordas  
en Lengua de Señas Argentina (LSA).



CAS  
CONFEDERACION  
ARGENTINA DE  
SORDOS

 COPIDIS



PLANETARIO  
Galileo Galilei - Buenos Aires



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires

# En Movimiento

Espectáculo de divulgación astronómica para público en general

Cuando estamos sentados frente a una PC, por ejemplo, tenemos la sensación de estar inmóviles. Sin embargo, nada más lejos de la realidad. A nivel cósmico TODO está ¡EN MOVIMIENTO!

Vivimos en un planeta que rota y se desplaza alrededor del Sol continuamente y sin detenerse nunca. El Sol arrastra su sistema planetario alrededor del centro de la Vía Láctea, y hasta nuestra galaxia se desplaza incesantemente a través del espacio. El universo todo está en movimiento en una verdadera coreografía cósmica.



  
PLANETARIO  
Galileo Galilei - Buenos Aires



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires