

SI MUOVE

NÚMERO 30 - PRIMAVERA 2025





MUNDOS MÁS ALLÁ DEL SISTEMA SOLAR

NUEVO ESPECTÁCULO FULLDOME



 exoplanetas



PLANETARIO
Galileo Galilei - Buenos Aires

BA Buenos
Aires
Ciudad

SI MUOVE

NÚMERO 30 - PRIMAVERA 2025

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

EDITORA RESPONSABLE
ESTEFANÍA COLUCCIO LESKOW

DIRECTOR PERIODÍSTICO
DIEGO LUIS HERNÁNDEZ

DISEÑO GRÁFICO
ALFREDO MAESTRONI
FLORENCIA BARRAU

SECRETARIO DE REDACCIÓN
MARIANO RIBAS

REDACTARON PARA ESTA EDICIÓN

GUILLERMO ABRAMSON
GABRIEL BENGOCHEA
FACUNDO RODRÍGUEZ
ROCÍO BERMÚDEZ

COLABORACIONES

Karina Herrera, Pablo Laise, María Anté,
Alberto Russomando, Mario Casco,
Andrea Anfossi, Carlos Di Nallo,
Franco Meconi, Ezequiel Bellocchio,
Leonardo Julio, Maximiliano Falieres,
Sergio Eguivar.

AGRADECIMIENTOS

NASA, ESO, Observatorio Vera Rubin.

CORRECCIÓN

Walter Germaná, Natalia Jaoand,
Iván Castillo.

FOTO DE TAPA

Nebulosa planetaria IC 5148.
Autor: Ezequiel Bellocchio.

FOTO DE CONTRATAPA

Autora: Andrea Anfossi.

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 Cultura

JePe de Gobierno: Jorge Macri.
Ministra de Cultura: Gabriela Ricardes.
Subsecretaría de Gestión Cultural:
Alejandra Gabriela Cuevas.
GO del Planetario: Estefanía Coluccio Leskow.



EDITORIAL

Como Planetario, como comunicadores de ciencia y como puente entre el conocimiento y las personas, creemos profundamente que acercarse al saber y a la naturaleza enriquece la experiencia de vivir. No se trata solo de formar futuros científicos o profesionales exitosos —aunque eso pueda ocurrir—, sino de sembrar amor por lo que uno hace, curiosidad por el mundo y sensibilidad hacia lo que nos rodea. Estamos convencidos de que esa semilla se planta en la infancia: una etapa clave, poderosa, donde todo es posible y donde un futuro distinto se puede forjar, si a los niños se los acompaña con inteligencia, con pasión y con belleza.

Esta edición de la revista reúne artículos que, desde distintos ángulos, nos invitan a mirar más lejos, a explorar los límites de lo que sabemos —y también de lo que imaginamos. Desde los sutiles brillos de los *airglows* hasta las huellas del universo temprano, desde las imágenes del Sol en H-alfa hasta los retratos espectaculares de nebulosas planetarias, la astronomía nos ofrece un mosaico de belleza y preguntas fundamentales. Nos preguntamos por el origen y el destino de las estrellas, celebramos un siglo de física cuántica y nos asomamos a lo que será la nueva era del Observatorio Vera C. Rubin. También celebramos —con entusiasmo y responsabilidad— el camino hacia la reunión de la IPS en Buenos Aires en 2028, una oportunidad histórica para nuestra comunidad planetarista y para la región. Como siempre, esta revista es una invitación abierta a asombrarse, a comprender un poco más y a mirar el cielo con nuevos ojos. ¡Que la disfruten!

Dra. Estefanía Coluccio Leskow

Gerente Operativa del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.



Código QR



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



06 Airglows



16 Cosmología

SUMARIO

- 03 Editorial.
- 06 Fotografía astronómica: Airglows. No todo lo que brilla es aurora.
- 08 Fotografía astronómica: imágenes del Sol en H-alfa.
- 12 Pole position estelar. Las estrellas más brillantes.
- 16 Cosmología: huellas de un universo temprano discreto.
- 21 100 años de la física cuántica.
- 22 Astrofísica: el encantador final de las estrellas como el Sol.
- 26 Galería astronómica: nebulosas planetarias.
- 32 Reunión de la IPS: Buenos Aires 2028.
- 34 Historia: ¿Quién fue Giordano Bruno?
- 41 Estrellas: la gemela del Sol.
- 45 Observatorio Vera C. Rubin: una nueva era de la astronomía.

26 Nebulosas planetarias

ESO



Fenómenos atmosféricos

NO TODO LO QUE BRILLA ES AURORA

Autor: Dr. Guillermo Abramson, Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro (guillermoabramson.blogspot.com).

01



G. Abramson

A veces nos alejamos de las ciudades para disfrutar de un cielo nocturno bien oscuro, y nos encontramos con luces inesperadas en el cielo. Es la atmósfera misma, que brilla sutilmente allí donde está expuesta a la radiación del espacio exterior.

En mayo de 2024, el mundo se maravilló con unas extraordinarias auroras que pudieron ser observadas desde latitudes donde usualmente no se puede disfrutar de este hermoso fenómeno, como las regiones centrales de Argentina (ver Si Muove 28) o el Mar Mediterráneo. Al acercarse el máximo del ciclo de actividad solar, con una cadencia aumentada de fulguraciones, eyecciones de masa coronal y todo tipo de erupciones en la superficie visible del Sol, el espacio interplanetario se llenó de partículas subatómicas muy energéticas, más un intenso campo magnético, que interactuaron con el propio campo magnético terrestre y dispararon una tormenta geomagnética con auroras intensas y extendidas.

Pero las auroras no son la única consecuencia del bombardeo solar en la atmósfera superior de la Tierra. Varios procesos, que aumentan de frecuencia alrededor del máximo solar, producen un brillo uniforme en la ionósfera¹. El más conspicuo es el que genera la

fotoionización del oxígeno atómico², que brilla con un color verde de 557.7 nanómetros³. Esto ocurre justo debajo de los 100 km de altura, en el borde entre la mesósfera y la termósfera, que de manera convencional marca el comienzo del “espacio exterior”. Es del mismo color que las danzantes cortinas verdes de las auroras boreales y australes. Un resplandor más tenue, amarillo, se produce por una excitación del sodio. Muchos grandes observatorios astronómicos modernos excitan esta capa de sodio usando láseres poderosos, para producir “estrellas artificiales” que usan en los sistemas de óptica adaptativa, lo que corrige el efecto distorsivo de la atmósfera terrestre en sus telescopios. Ambos resplandores, el amarillo y el verde, pueden verse en fotos y videos tomados desde la Estación Espacial Internacional durante la noche, en imágenes que apuntan hacia el limbo de la Tierra.

En una expedición a un sitio oscuro en la estepa patagónica, no lejos de la ciudad de Bariloche, observamos



este resplandor del aire (*airglow*, en inglés). Después de esperar que la Vía Láctea austral surgiera detrás del tanque de agua de la estación de tren donde estábamos ubicados, hicimos una toma única, de gran angular (01, izquierda). Al revisar la imagen en la pantallita de la cámara notamos un inusual tinte verde, que no era aparente a simple vista. Reposicionamos la cámara apuntando hacia el sur, para controlar si era algún reflejo de la superficie. El verde resultó aún más notable y mostraba, incluso, las bandas características del *airglow*. En la siguiente imagen (01, al medio) vemos también el resplandor de las luces de Bariloche, a unos 30 km de distancia. Al apuntar hacia el norte, donde no hay un asentamiento humano en cientos de kilómetros, también se veía el verde (01, derecha).

La misma noche hicimos también exposiciones múltiples de objetos de cielo profundo, con lente teleobjetivo y montura motorizada. Pero al procesar las imágenes no había rastros del *airglow*. Evidentemente, se trata de un resplandor tan tenue que en un campo visual angosto no produce ningún efecto apreciable. ■

01 Paisajes nocturnos con *airglow*, tomados desde la remota estación de tren Perito Moreno, en la estepa patagónica, a unos 30 km de San Carlos de Bariloche.

02 Foto desde la Estación Espacial Internacional hacia el limbo de la Tierra, en la que se observa sobre el horizonte el resplandor verde del *airglow*.

Notas

1 La ionósfera es la parte más alta de la atmósfera terrestre, por encima de los 50 km sobre la superficie. Por efecto de la radiación solar, los átomos que la forman están en buena parte ionizados, es decir, que algunos de los electrones están separados de ellos, formando iones y electrones libres. El resultado es una substancia eléctrica, que influye en la propagación de las ondas de radio de los sistemas de comunicaciones y navegación.

2 El oxígeno atómico son átomos de oxígeno "sueltos", a diferencia del oxígeno más familiar que respiramos, que es una molécula formada por dos átomos "unidos".

3 La luz visible corresponde a las longitudes de onda entre 400 nm (violeta) y 700 nm (rojo). Un nanómetro (nm) es un millonésimo de milímetro.

"Como consecuencia de la actividad solar y su influencia en la alta atmósfera terrestre, se producen las auroras, y también este brillo en el borde del espacio exterior, llamado *airglow* -resplandor del aire-, que aparece en algunas fotos nocturnas".

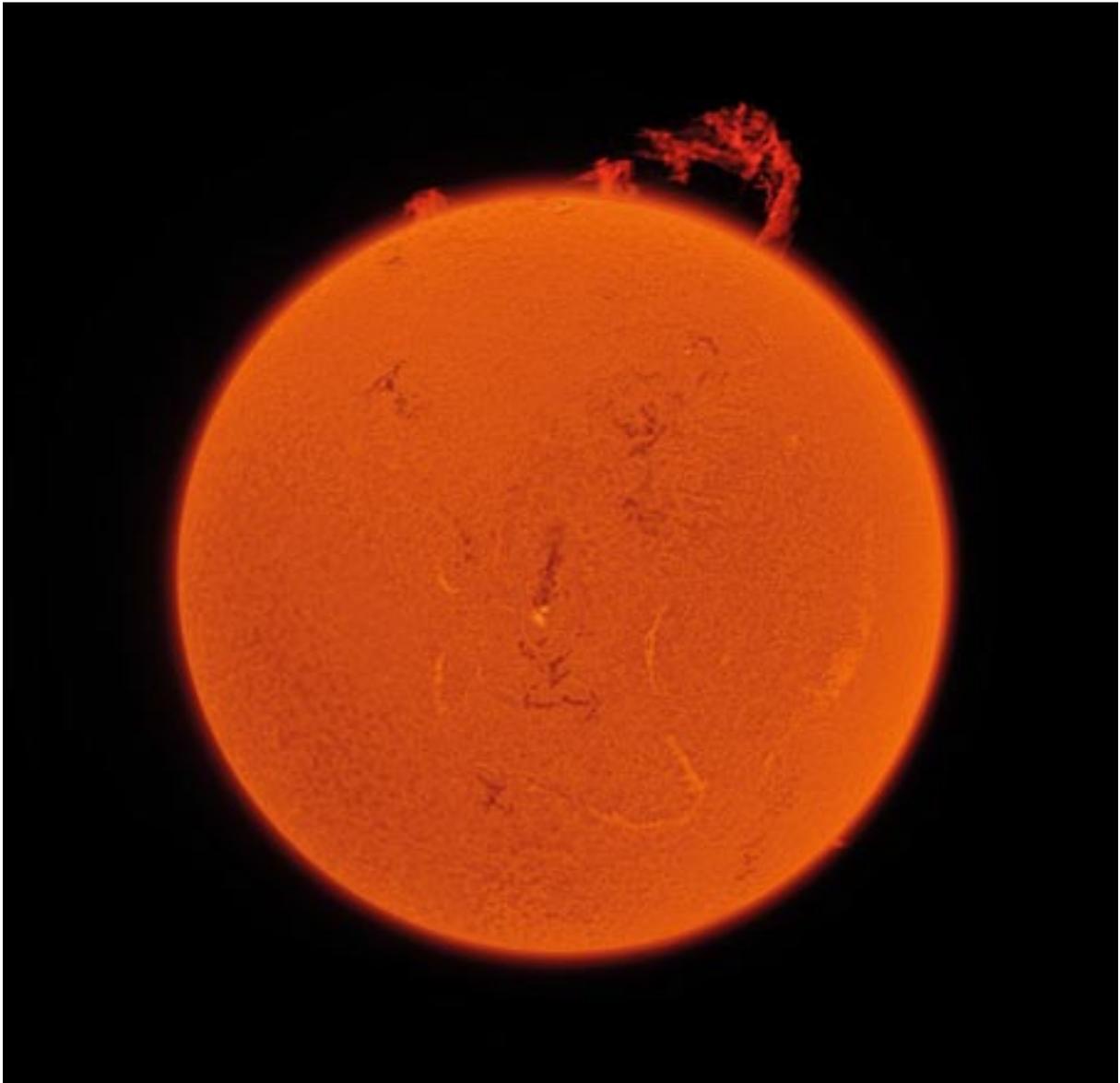
El Sol y sus fenómenos observados con telescopios H-alfa

UNA MIRADA ROJA A NUESTRA INQUIETA ESTRELLA

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

01

Mariano Ribas



El Sol está recién a mitad de camino de su larguísima vida astrofísica: es una estrella madura, estable y extremadamente activa. Una bola de plasma de casi un millón y medio de kilómetros de diámetro que, fusión termonuclear mediante, entrega luz y calor a paso firme. También es el gran escenario de una amplia variedad de fenómenos: algunos, visibles con telescopios comunes; otros, aún más espectaculares, que podemos observar gracias a la finísima “mirada roja” de instrumentos más complejos que, afortunadamente, van entrando en el mundo de la astronomía amateur.

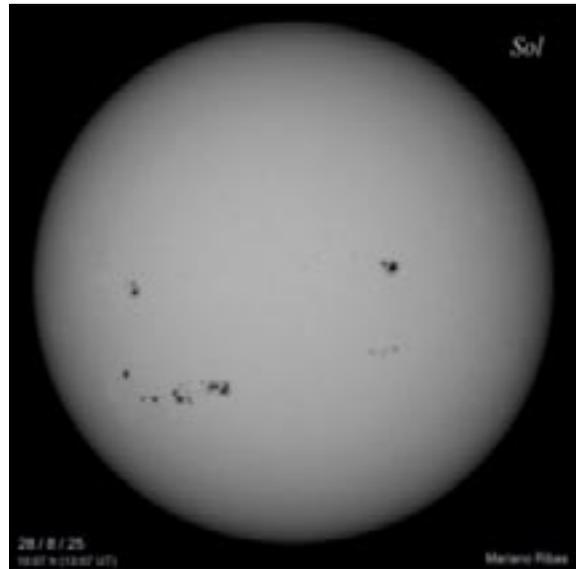
Aunque ya lleva unos 4600 millones de años de pleno funcionamiento y “quema” unos 700 millones de toneladas de hidrógeno por segundo, forjando helio y liberando luz y calor en ese proceso, el Sol está muy, pero muy lejos de su etapa final de decadencia y muerte estelar. Sí, hay Sol para rato: todavía le quedan unos 5000 millones de años antes de convertirse en una estrella *gigante roja*, y otros cientos de millones de años más para “desarmarse”, dejar su núcleo ultradenso al desnudo y, a su alrededor, capas concéntricas de gases en lenta y continua expansión. La astronomía tiene términos específicos para una y otra cosa: *enana blanca* y *nebulosa planetaria*, respectivamente.

Esa será la suerte final del Sol (ver artículo de la página 22), la de su “gemela” *HD 143436* (ver artículo de la página 41) y, a grandes rasgos y con matices, del 99 % de las estrellas de la Vía Láctea y del universo en general. No es raro, entonces, que el cielo nocturno esté repleto de residuos estelares al alcance de los telescopios y las cámaras de astrónomos profesionales y aficionados. De hecho, por su belleza, colores y delicadas texturas gaseosas, las nebulosas planetarias figuran entre los blancos favoritos de los astrofotógrafos (ver galería de las páginas 26 a 31). Pero volvamos al Sol y a todos los fenómenos que podemos observar, tanto con instrumentos convencionales como con otros que, con su finísima “mirada roja”, nos revelan nuestra estrella en toda su natural espectacularidad.

Manchas solares y fáculas

A diferencia de lo que pueda parecer en un primer golpe de vista, nuestra estrella es mucho más que un “disco” liso, perfecto e inmutable. Por el contrario, es una inmensa, hiperactiva y siempre cambiante bola de plasma. No solo libera ingentes cantidades de energía (que mayormente percibimos como luz y calor), producto de las reacciones termonucleares en su núcleo, a 15 millones de grados, sino que también da lugar a un abanico de fenómenos astrofísicos. Los más conocidos y fáciles de ver con telescopios y filtros adecuados son las manchas solares: regiones “oscuras” de la *fotosfera* (la superficie visible del Sol, cuya temperatura ronda los 5600 °C), que son menos calientes (cerca de 4000 °C) y menos brillantes que su entorno, y están asociadas a un intenso magnetismo localizado que inhibe el normal flujo convectivo de los gases (foto 02).

Bastante menos notables, pero también al alcance de telescopios comunes, son las *fáculas*: a la inversa de las manchas, se trata de abrigamientos localizados de la fotosfera, lugares donde el gas superficial es más caliente (alrededor de 8000 °C) y, por ende, más luminoso. Las manchas y las fáculas suelen aparecer muy próximas entre sí, y al igual que todos los demás fenómenos solares, sus cantidades y tamaños aumentan y disminuyen siguiendo el famoso *ciclo de actividad solar* que dura alrededor de 11 años. Dicho sea de paso, el actual *Ciclo 25* está en su máximo desde 2023, con un enorme despliegue de manchas, fáculas y otros fenómenos de los que nos ocuparemos a continuación.



Protuberancias, estallidos y eyecciones

Las manchas y las fáculas son propias de la fotosfera solar y se ven con telescopios/filtros convencionales. Pero hay otras espectaculares manifestaciones del temperamental funcionamiento del Sol que, salvo raras excepciones, no podemos ver con instrumentos comunes: *protuberancias*, *filamentos*, *flares* y *desprendimientos* y *eyecciones de plasma*. Definamos brevemente uno por uno.

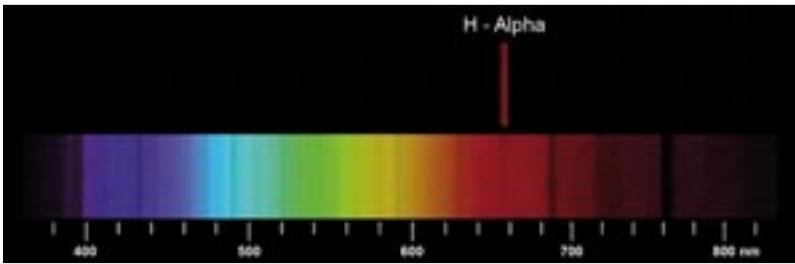
Protuberancias: son las coloquialmente conocidas como “llamaradas solares”, aunque no son llamas, porque el Sol no es de fuego. Son erupciones de plasma (a unos 5000 °C) que se elevan desde la *cromósfera*, una capa de gas *rojizo* (¡atención con esto!) de decenas de miles de km de espesor, ubicada por encima de la fotosfera. Las protuberancias son elevadas, sostenidas y modeladas por las líneas del campo magnético solar. Suelen medir decenas de miles de km, aunque en algunos casos llegan a 300 mil km o más.

Filamentos: son protuberancias, pero vistas *sobre* el disco solar y no elevándose desde los bordes hacia el espacio. Esta perspectiva las hace lucir menos espectaculares, más oscuras y de aspecto de “pelo” o “filamento” serpenteante.

Flares: son potentísimos estallidos localizados, generalmente asociados a grandes manchas solares. Emiten luz, rayos X y suelen arrancar y lanzar al espacio material solar. Suelen durar segundos o unos pocos minutos, y

01 *El Sol y una de las más grandes protuberancias registradas en lo que va de este siglo, fotografiados en marzo de 2015 con un pequeño telescopio H-alfa de 60 mm y una cámara digital de 24 mpx.*

02 *Manchas solares. Imagen tomada el 28 de agosto con un telescopio refractor de 120 mm de diámetro, filtro solar de apertura completa y cámara digital de 24 mpx.*



según su brillo en rayos X se los clasifica, de menor a mayor, en A, B, C, M y X, más un número del 1 al 9 entre cada letra (ejemplo: un *flare* tipo M8).

Eyecciones de masa coronal: a veces, las explosiones que se producen en la fotosfera y la cromósfera son tan potentes que arrancan y lanzan al espacio colosales masas de plasma de la *corona solar*, la muy pálida e irregular “atmósfera externa” que se extiende millones de km (la podemos ver durante un eclipse total). El plasma coronal arrancado viaja de 250 a 3000 km/seg y, según su dirección e intensidad, puede impactar contra el campo magnético de la Tierra, lo que dispara una *tormenta solar* o *geomagnética* y un aumento en intensidad y extensión de las auroras polares.

Ya tenemos nuestra “caja de herramientas” de definiciones solares. Ahora podemos continuar...

La luz roja del hidrógeno

Hasta hace un par de décadas, la única manera de ver y fotografiar protuberancias, filamentos, estallidos y eyecciones solares era mediante sofisticados telescopios profesionales, ubicados tanto en la superficie como en el espacio; instrumentos de costo multimillonario que no solo pueden observar nuestra estrella en el rango de los rayos X y la luz ultravioleta, donde se expresan los fenómenos más energéticos y calientes, sino también en otras partes del espectro electromagnético, incluso la luz H-alfa que hoy nos ocupa.

La luz H-alfa es una *línea de emisión* muy específica del espectro visible, localizada en plena zona del rojo, con una longitud de onda de 656,28 nm¹. Esta luz roja es emitida por los átomos de hidrógeno cuando, a temperaturas de varios miles de grados Celsius, un electrón salta de un nivel de energía a otro (concretamente, del 3° al 2°), y en ese proceso emite un fotón de luz con esa longitud de onda. En resumen: la luz H-alfa es luz emitida por átomos de hidrógeno (por eso la “H”) excitados, en el rango visible del espectro electromagnético. No es la única longitud de onda visible del hidrógeno (hay otras tres en la zona del cyan, azul y violeta), pero es la más importante. Por eso lo de “alfa”.

Telescopios H-alfa

Si las protuberancias solares (y los demás fenómenos de la cromósfera) se manifiestan en esa luz roja específica, pero en el rango visible, ¿por qué no podemos verlas con telescopios ópticos comunes? El “problema” es que el Sol

emite en un continuo de longitudes de ondas visibles, del violeta al rojo: de los 380 a los 780 nm; y esa emisión continua y pareja, o mezcla de colores, da como resultado la luz blanca. En ese contexto, la luz H-alfa queda irremediablemente “perdida”, y la única manera de verla es aislándola, separándola de modo muy estricto de todo el

resto de la luz solar visible.

Exactamente eso es lo que hacen los telescopios solares H-alfa (foto 04). Además de la óptica, cuerpo y mecánica de los telescopios comunes, estos instrumentos cuentan con varios accesorios internos, incluyendo el más importante de todos: el *etalon*². Técnicamente hablando, se trata de un *filtro de interferencia* extremadamente estricto, que solo permite el pasaje de un ancho de banda ultrafina, centrado en los 656,28 nm, con un margen de tolerancia menor a 1 ángstrom³.

Postales de un Sol H-alfa

Durante mucho tiempo, los telescopios H-alfa estuvieron reservados al ámbito profesional. Afortunadamente, de la mano de su construcción comercial a mayor escala, sin ser baratos, han entrado también al mundo de la astronomía amateur. Las fotos 01 (de 2015) y 05 (todas de este año) fueron obtenidas con una simple cámara digital acoplada a un telescopio H-alfa de solo 60 mm de diámetro, un instrumento del tamaño de un termo. Actualmente, con estas herramientas podemos tomar cientos de imágenes del Sol y, mediante computadores y softwares, seleccionarlas y apilarlas digitalmente. Y de esa manera, obtenemos fotos similares a las que hace un par de décadas solo podían lograrse en el ámbito de la astronomía profesional con aparatos extremadamente grandes y costosos. Así, la astronomía solar nos abre nuevos caminos de observación, estudio, descubrimiento y fascinación. ■

04



Mariano Ribas

Notas

1 Un nanómetro (abreviado: nm) es la millonésima parte de un milímetro. Para tener una idea, un cabello humano tiene un espesor de 50 a 60 mil nanómetros. Los nanómetros se utilizan para medir longitud de onda en el espectro electromagnético.

2 El *etalon* utilizado en los telescopios H-alfa es un dispositivo formado, esencialmente, por dos finos cristales perfectamente planos, enfrentados y paralelos. Sus superficies están cubiertas con una capa dieléctrica altamente reflectiva, cuyo pico de reflectividad de luz está justamente en el ancho de banda deseado. Ambas superficies están ligeramente separadas por una lámina de aire o un material sólido. La luz solar que ingresa al telescopio rebota una y otra vez entre ambas capas y, debido a la interferencia de ese espacio intermedio, solo la luz que incide correctamente puede pasar, pero todo el resto de la luz se desvía y se pierde. Como resultado final de todo ese proceso, solo la luz H-alfa llega al final del camino en el telescopio, es decir, al ocular por donde ponemos el ojo para observar o la cámara fotográfica que acoplamos.

3 Un ángstrom es una diezmillonésima parte de un milímetro, o la décima parte de un nanómetro.

“El Sol es mucho más que un ‘disco’ liso, perfecto e inmutable. Es una inmensa, hiperactiva y siempre cambiante bola de plasma”.

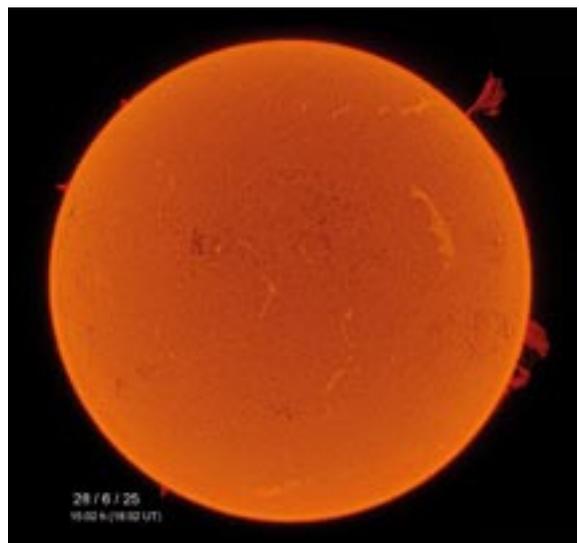
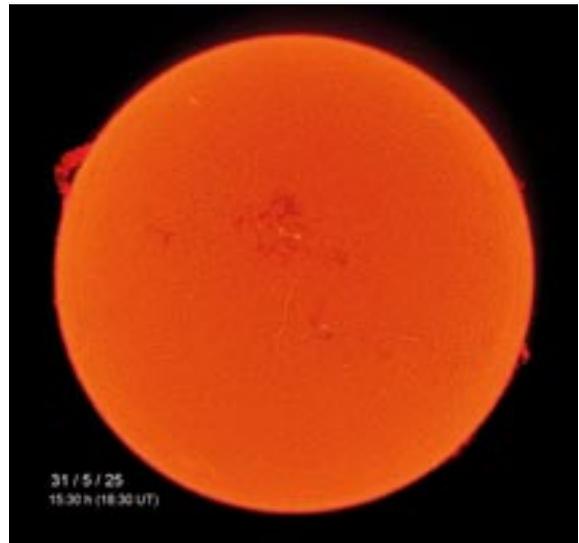
03 Ubicación de la rojiza luz H-alfa (656,28 nm) dentro del espectro de luz visible.

04 Telescopio H-alfa de 60 mm de diámetro con una cámara réflex digital acoplada.

05 Imágenes del Sol obtenidas los días 6 y 31 de mayo, y 22 y 28 de junio de este año con el telescopio y la cámara de la foto 04.

05

Mariano Ribas



La carrera por el brillo

POLE POSITION ESTELAR

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

01



Ezequiel Bellocchio

Sirio es la estrella más brillante del cielo nocturno, pero eso no siempre fue así. El movimiento de las estrellas hace que las posiciones relativas y las distancias vayan cambiando. Para notar esos cambios desde nuestro lugar tienen que pasar muchos miles de años.

Entre el final del otoño y el comienzo del invierno, mirando hacia el suroeste tras el anochecer, se ve una estrella muy llamativa: Sirio, la más brillante del cielo. Si se deja pasar toda la noche o si se vuelve a observar a la mañana siguiente, cuando esté por amanecer, se la verá aparecer nuevamente, hacia el sureste. Esa es la época del año en la que la podemos ver tanto al amanecer como al anochecer, en un mismo día. Y como Sirio está en el hemisferio sur de la esfera celeste, desde nuestras latitudes resulta visible durante todo el año, en diferentes horarios. Sin embargo, en general decimos que es una estrella “típica” del verano, cuando aparece bien alta en horarios cómodos, tras la puesta del Sol, no muy tarde. Por ser la más brillante del cielo, Sirio ha llamado la atención y ha sido importante para todas las culturas. En latín, *Sirius*; para los griegos era *Seirios*, con raíces provenientes del egipcio *Osiris*, el dios del Nilo. Para los árabes fue el “líder” y para los escandinavos, la “antorcha”. Para muchos representa, junto con Proción, los perros, enmarcadas por las constelaciones del Can Mayor (Sirio) y el Can Menor (Proción).

Sirio es una estrella blanca con una temperatura superficial de 9700°, y se encuentra relativamente cerca de nosotros, a unos 8,6 años luz. Es más grande que el Sol y posee el doble de su masa, pero es muchísimo más joven: 230 millones de años de edad, contra los 4600 millones de años del Sol. No se trata de una estrella solitaria como el Sol, sino que es una estrella binaria, ya que posee una pequeña compañera llamada Sirio B; una enana blanca que gira a su alrededor cada 50 años, pero que no se ve a simple vista y, dada la proximidad a la componente principal del par, su brillo la oculta y es difícil de ver con telescopios de aficionados.

01 *Sirio, la estrella más brillante del cielo nocturno.*

02 *El gráfico que inspiró este artículo muestra cómo, con el paso del tiempo, el brillo de varias de las principales estrellas va cambiando, vistas desde la Tierra. El eje vertical muestra la magnitud (mientras más chico es el número, más brillante será el astro) y, el horizontal, el tiempo (desde hace 100 mil años, hasta dentro de 100 mil años).*

Brillo vs. tiempo

En la actualidad, y a lo largo de la historia, Sirio ha sido la estrella más brillante del firmamento. Pero no siempre fue así, ni lo será en un futuro lejano. El movimiento propio de cada estrella, incluyendo el del Sol, hace que las posiciones relativas y las distancias entre unas y otras vayan cambiando. Pero para notar esos cambios desde nuestro lugar tienen que pasar muchos miles de años.

El gráfico de la figura 02 es lo que inspiró este pequeño artículo. Allí, en el eje vertical, aparece la magnitud aparente de las estrellas más brillantes del cielo, es decir, la medida de la intensidad de su brillo. Para eso, en astronomía se utilizan números positivos, negativos y el cero, y mientras más chico sea el número, más luminoso será el astro, en una medida exponencial. Por eso, una estrella -Sirio, por ejemplo- con magnitud $-1,46$, será más brillante que otra con magnitud 0, como Vega; u otra con magnitud 1, como Spica. Y cada orden de magnitud (de la 1 a la 2, por ejemplo) será 2,5 veces menos brillante que el anterior. Así, exponencialmente, una estrella de magnitud 1 es 100 veces más luminosa que una de magnitud 6 (las que apenas se observan a simple vista bajo cielos oscuros). Esta medida solo expresa el brillo aparente, ya que todas las estrellas están a diferentes distancias, y eso resulta una contingencia excluyente que no nos dice su brillo real, la magnitud absoluta.

En el eje horizontal del gráfico figura el tiempo, desde hace unos 100.000 años, hacia la izquierda; a la actualidad, en el medio (0); y hacia unos 100.000 años en el futuro, a la derecha. Los astrónomos estudian el movimiento de las estrellas y han calculado que, con el tiempo, el cielo presenta cambios paulatinos en el brillo y la posición de las estrellas. Aquí detallamos algunas curiosidades.

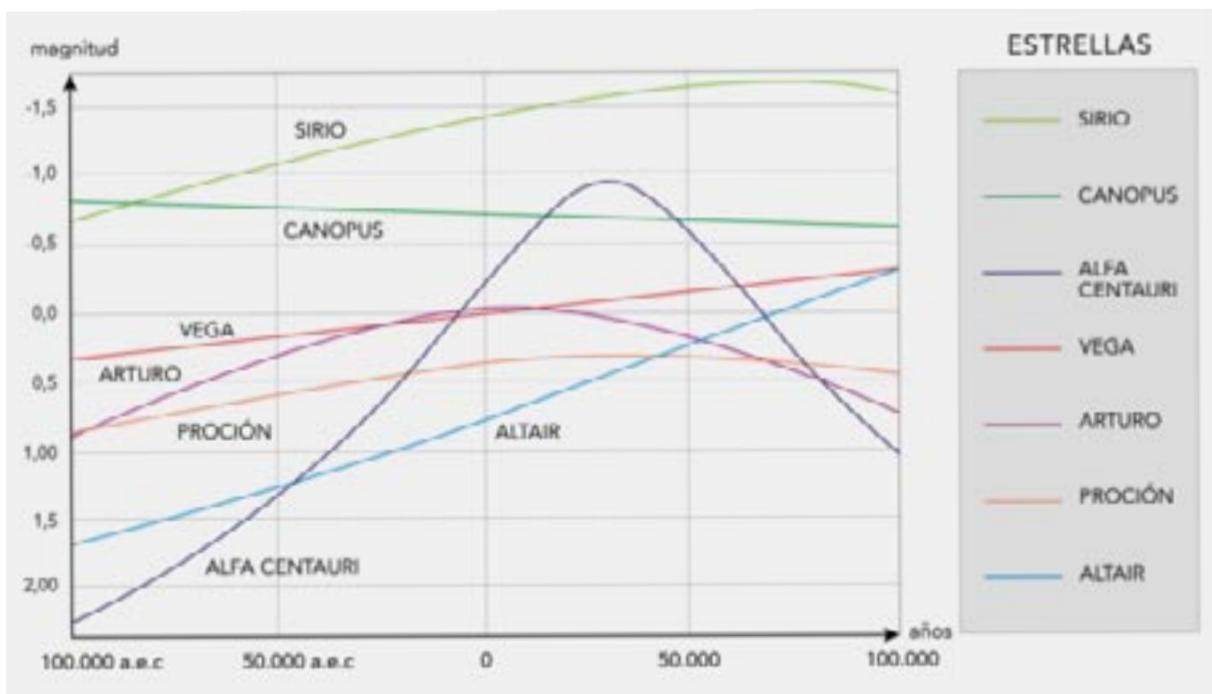
En los últimos 100 mil años, ha habido pocos cambios en la tabla de posiciones de las estrellas más brillantes. Lo más significativo es que hasta hace 80 mil años, Canopus era la estrella más brillante, y Sirio, la segunda. La configuración actual, con Sirio en la primera posición y Canopus en la segunda, tiene que ver con que Sirio está mucho más cerca de nosotros que Canopus (casi 9 años luz contra 300). Sirio es la sexta estrella más cercana que tenemos, y por eso su movimiento parece mucho más rápido, tanto para acercarse (en el pasado) como para alejarse (en el futuro).

En 700 años luz a la redonda, Canopus es la estrella más importante. Es tan grande y luminosa que, a pesar de encontrarse mucho más lejos que muchísimas otras estrellas, mantendrá su segundo lugar por unos 15 mil años más, cuando lo pierda con Alfa Centauri; aunque volverá a recuperarlo dentro de 45 mil años. La razón es la misma: Alfa Centauri está tan cerca nuestro que, así como se acerca rápidamente, también lo hará al alejarse, pasados unos 30 mil años.

Alfa Centauri, además de ser la tercera estrella más brillante del cielo en la actualidad, es la más cercana, a unos 4,3 años luz (43 billones de km). Por eso, su movimiento es uno de los más fáciles de medir. Podemos saber que, hace unos pocos miles de años, estaba más lejos, tanto que en nuestro cielo brillaban más Arturo (la cuarta más brillante en la actualidad) y Vega (la quinta). Y más atrás aún en el tiempo, también la superaban Proción (la octava, actualmente) y Altair (la undécima).

Alfa Centauri es un sistema estelar triple. La componente principal del trío es muy parecida al Sol, en edad, tamaño y temperatura. Eso quiere decir también que, desde Alfa Centauri, el Sol se vería muy parecido

02



a como se ve Alfa Centauri desde aquí¹. Desde allá, el Sol sería la tercera estrella más brillante, tras Sirio y Canopus también, y se ubicaría entre las estrellas de la constelación de Casiopea (en las antípodas del Centauro, en la esfera celeste). El resto del cielo, visto desde Alfa Centauri, no presentaría cambios muy relevantes en la posición y el brillo de todas las demás estrellas.

Por su parte, en la actualidad, Arturo y Vega tienen brillos muy similares: la cuarta supera apenas a la quinta. Pero dentro de algunos miles de años, Vega pasará a ser la cuarta y, más adelante, la tercera. Además, su propio movimiento combinado con el de nuestro sistema solar, más el movimiento de precesión del eje terrestre, la ubicarán en algún momento muy cerca del polo norte celeste, lo que la convertirá en la estrella polar, desplazando a Polaris, de la Osa Menor, la guía histórica de los navegantes del hemisferio norte. Incluso mucho más adelante, dentro de 235.000 años, Vega reemplazará a Sirio en la primera posición, y en 260.000 años, Canopus volverá a ser la segunda, por detrás de Vega y por delante de Sirio.

Podría pensarse que el movimiento propio de las estrellas no debería ser el único factor a la hora de medir los cambios en sus brillos aparentes vistos desde la Tierra. Su propia evolución, haciéndolas brillar más, menos, provocando su propia expansión, la expulsión de sus capas externas desnudando su núcleo y convirtiéndose en una enana blanca, y hasta la explosión de una nova o una supernova, podrían jugar también un rol importante a la hora de verlas brillar en nuestro cielo. Y cada tanto, algo así puede ocurrir. Por ejemplo, en marzo de

1843, la estrella *Eta Carinae* experimentó una intensa erupción que la hizo extremadamente brillante, lo que la convirtió en la segunda estrella más brillante del cielo nocturno, para luego decaer a su magnitud habitual y dejar de observarse a simple vista. Pero estos son fenómenos impredecibles y mucho más prolongados en el tiempo, del orden de millones, cientos y hasta miles de millones de años. Unos pocos cientos de miles de años, en general, no representan mucho tiempo para la vida de una estrella, y el cielo nocturno que estamos acostumbrados a ver, el que veían nuestros antepasados y el que verá la gente del futuro, poco habrá cambiado. ■

Nota

1 Incluso, el Sol brillaría un poco menos, porque desde la Tierra vemos la suma de los brillos de las dos componentes mayores del sistema de Alfa Centauri.

“Desde Alfa Centauri, el Sol se vería muy parecido a como se ve Alfa Centauri desde la Tierra, y se ubicaría en la constelación de Casiopea. El resto del cielo sería igual al nuestro”.

03

Mariano Ríbas





03 Sirio y su constelación, el Can Mayor.

04 Entre las 88 constelaciones oficiales que utilizamos en astronomía, alrededor de la mitad proviene de culturas antiguas como las sumerias y babilonias, tomadas también por los antiguos griegos. Las estrellas están tan lejos, que sus propios movimientos no han sido aún suficientes como para que las constelaciones se “desarmen” y pierdan la configuración actual. Por eso podemos seguir utilizando, hoy en día, las mismas constelaciones inventadas hace miles de años, más otras agregadas a partir del siglo XVI tras cartografiar los cielos australes y rellenar huecos “vacíos” en el resto del firmamento. Estos hermosos mapas y dibujos fueron realizados para el atlas celeste publicado en 1674 por el francés Ignace-Gaston Pardies. Está centrado en la región ecuatorial, en la constelación de Orión. El norte aparece hacia arriba y muestra las constelaciones de Hydra, Cáncer, Gemini, Auriga, el Can Menor y Tauro; y al sur, hacia abajo, aparecen el Can Mayor, la Liebre, el Navío Argo, la Paloma y el río Eridano, todas visibles desde nuestras latitudes, especialmente en verano.

“En 700 años luz a la redonda, Canopus es la estrella más importante. A pesar de estar más lejos que otras, mantendrá su segundo lugar por 15 mil años más, cuando lo pierda con Alfa Centauri, y volverá a recuperarlo dentro de 45 mil años”.

Los orígenes del espacio-tiempo

HUELLAS DE UN UNIVERSO TEMPRANO DISCRETO

Autor: Dr. Gabriel R. Bengochea, Investigador en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA).
Presidente del CAIFA¹.



El mecanismo por el cual se generaron en el universo temprano las semillas cósmicas primordiales, que luego se convirtieron en galaxias y otras estructuras, propicia una oportunidad única para indagar la interfase entre la gravitación y la física cuántica. En este artículo exploramos las ideas detrás de un novedoso modelo que evoca la posibilidad de que algunos de los principales enigmas de la cosmología moderna puedan encontrar una explicación basada en ciertos enfoques de gravedad cuántica.

Big Bang es el nombre del modelo cosmológico con el que describimos actualmente la historia de la evolución del universo. Dicho modelo está construido y sostenido por dos grandes teorías del siglo XX: la relatividad general y la física cuántica.

Todos los fenómenos gravitacionales conocidos al día de hoy son explicados con *la teoría de la Relatividad General* de Einstein: según ella, lo que denominamos *campo gravitatorio* viene dado por la geometría del espacio-tiempo (su curvatura), y dicha estructura geométrica se la supone como un continuo; esto es, que

no está formada por piezas elementales ni tiene huecos. Pero la relatividad general no es una teoría *cuántica*. Mientras que a los campos de materia los describimos con la física cuántica, el espacio-tiempo sigue siendo *clásico*. Según la física clásica los objetos tienen sus propiedades y trayectorias bien definidas a todo tiempo. Por el contrario, la cuántica nos enseña que eso no puede ser cierto a nivel fundamental: muchísimos experimentos avalan que el mundo está regido por otro tipo de reglas. ¿Cómo lograr entonces una teoría cuántica de la gravedad? Esta pregunta ha estado buscando

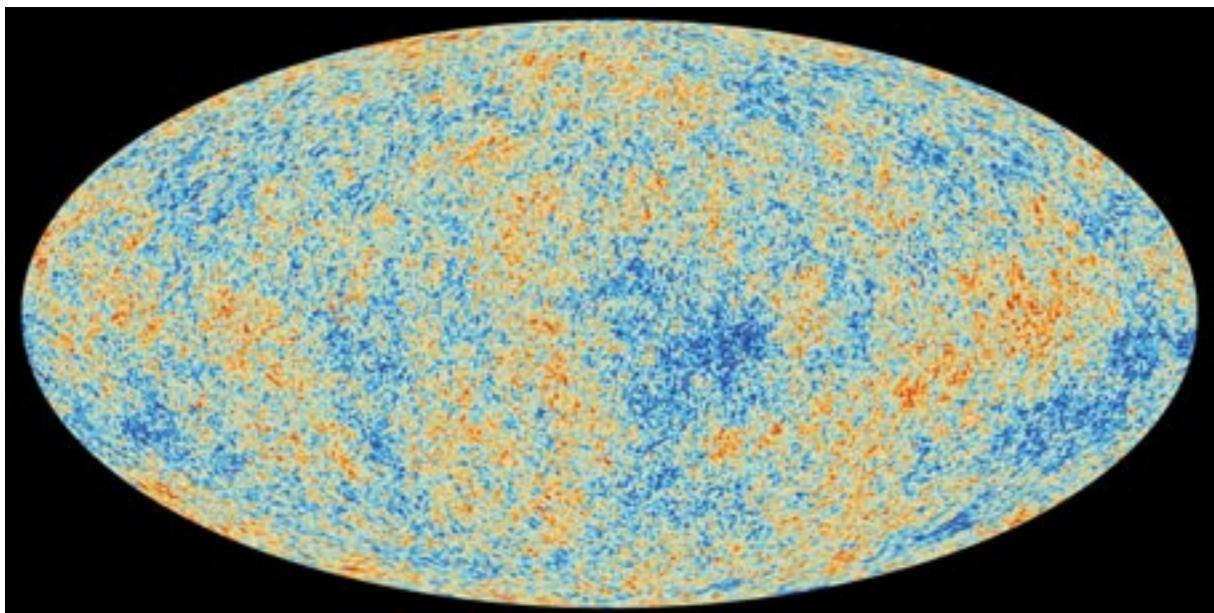
una respuesta desde la época de Einstein, pero enfrenta enormes obstáculos técnicos que han evitado lograr una teoría final.

Algunos enfoques, como el caso de la *gravidad cuántica de bucles* (LQG, por *Loop Quantum Gravity*, en inglés), sostienen que a nivel fundamental el espacio-tiempo no sería suave y continuo, sino que estaría constituido por pequeños “ladrillos discretos”; algo así como “legos” o “átomos” de espacio-tiempo [1, 2]. En nuestra vida cotidiana macroscópica esto no es para nada evidente. Pero si pudiésemos observar el espacio microscópicamente, a una escala de unos 10^{-35} metros (conocida como *longitud de Planck*), estos ladrillos fundamentales deberían manifestarse². Algo análogo a lo que sucede cuando miramos un estanque con agua: la superficie parece continua y lisa, pero en realidad está constituida a nivel microscópico por moléculas. La pregunta que ahora nos hacemos es: ¿podríamos detectar alguna huella *indirecta* de la existencia de estos *legos* fundamentales a través de la cosmología?

El modelo cosmológico estándar sostiene que fue en el universo muy temprano cuando nacieron las *semillas primordiales*³ de las estructuras. El enfoque estándar sostiene que debió haber ocurrido, además, una especie de *transición*, desde una situación isótropa y homogénea a una que no lo es⁴. El universo pasó de un estado en donde no había ninguna estructura a uno en el que aparecieron semillas, lugares un poco más densos que otros, que con el tiempo congregaron materia y permitieron la formación de galaxias. Y esto, además, está vinculado a lo que suele mencionarse a veces como la “*transición cuántico-clásica*”. O sea, ¿cómo y cuándo podemos describir clásicamente (con una muy buena aproximación) las propiedades del universo, a partir de un mundo que es cuántico a nivel fundamental? El paradigma de *inflación cósmica* estándar propone

que la energía potencial de un desconocido campo escalar, llamado *inflaton*, habría dominado el universo muy temprano (cuando este tuvo unos 10^{-33} segundos, una escala de energía de unos 10^{16} GeV). La energía potencial de ese campo produjo una brevísima expansión acelerada del universo, durante la cual “*fluctuaciones cuánticas*” de dicho campo en su estado de vacío generaron las semillas de estructura primordiales. Este proceso físico inflacionario logra predecir muy bien el espectro observado de las anisotropías en la temperatura de la radiación del fondo cósmico de microondas (FCM) [3]. Por otro lado, sostiene que deberían existir, genéricamente, ondas gravitacionales primordiales que podrían ser detectadas próximamente a través de cierta polarización del FCM. Debemos mencionar también aquí, que el campo inflatón nunca ha sido detectado *directamente* ni aparece en otros contextos de la física; y que el paradigma inflacionario enfrenta varios inconvenientes teóricos (ver, por ejemplo, [4]).

01 *Mapa de anisotropías en la temperatura del fondo cósmico de microondas (FCM). Estas exquisitas observaciones, de la radiación que proviene de cuando el universo tenía solo 380 mil años, tendrían su origen en una época muy temprana conocida como inflación cósmica. Estas anisotropías deben poder ser explicadas con cualquier teoría viable que pretenda describir el universo temprano.*



“Según algunos enfoques, el espacio-tiempo no sería suave y continuo, sino que estaría constituido por pequeños ‘ladrillos discretos’; algo así como ‘legos’ o ‘átomos’ de espacio-tiempo. ¿Podremos detectarlos a través de la cosmología?”

Un nuevo enfoque para el universo temprano

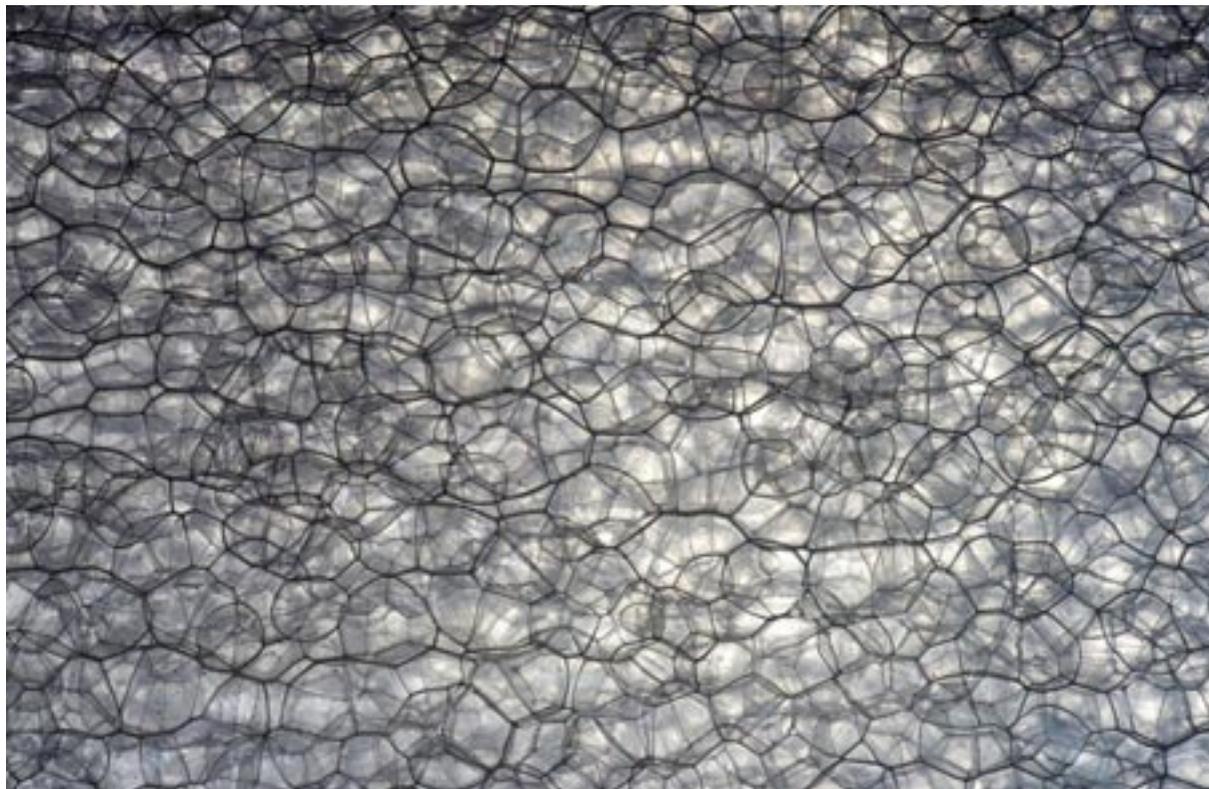
Algunos marcos teóricos para la gravedad cuántica, como el caso de LQG, sostienen que a la escala de Planck las simetrías típicamente asumidas localmente para el espacio-tiempo (por ejemplo, la isotropía y la homogeneidad) deberían dejar de existir. Por lo tanto, a estas escalas fundamentales no deberían ocurrir restricciones en la naturaleza, tales como la conservación total de la energía-momento que predice la relatividad general. Parece algo difícil de negociar, pero que resulta muy evidente dentro del contexto de LQG. Por otro lado, el espacio y el tiempo deberían ser discretos, caracteri-

zados por pequeños *volumencitos* o ladrillos fundamentales. Estos rasgos cuánticos de la gravedad se manifestarían en regiones o situaciones en donde la curvatura del espacio-tiempo (el campo gravitatorio) es grande. Por ejemplo, en el interior de los agujeros negros o cerca de singularidades como la del inicio del universo. Dentro de este contexto, el surgimiento de las semillas cósmicas primordiales podría tener un origen diferente al enfoque de inflación estándar descrito anteriormente.

En recientes trabajos [5-7], se propuso una manera novedosa de lograr los éxitos de inflación, pero con algunas modificaciones conceptualmente radicales que nos permiten abordar, además, otros interrogantes de la cosmología. La primera modificación tiene que ver con que la *granularidad* del espacio-tiempo propuesta provoca que sus simetrías ya estén “rotas” desde el comienzo. Las *inhomogeneidades* nacen a la escala de

02 *¿Es el espacio-tiempo discreto, formado por bloques elementales, a la escala de Planck? Si la estructura fundamental del universo tuviese esta característica (predicha por algunos enfoques de gravedad cuántica), e inflación ocurriera a esa escala de energía, entonces funcionaría como mecanismo de generación de las semillas primordiales de las estructuras cósmicas. Y quizás, algunas huellas, podrían ser detectadas de manera indirecta a través de observaciones cosmológicas.*

02



Planck y, se propone, lo hacen en un estado que no es el estado cuántico de vacío usual de inflación estándar⁵, sino que es un estado “excitado” con propiedades diferentes. La escala de energía a la que habría ocurrido la inflación es la energía de Planck, unas mil veces más alta que la de inflación estándar. Por otro lado, el campo de materia en juego no tendría por qué ser el inflatón; podría ser, por ejemplo, el campo de Higgs, que sí ya fue detectado en laboratorios terrestres. Tampoco se requiere que la teoría de gravedad clásica sea la relatividad general; podría ser esta u otra alternativa que reconcilie de manera más directa y elegante el hecho de que la granularidad permite cierta violación de la conservación de la energía.

Y aquí viene lo más interesante: la interacción entre el campo de materia masivo dominante durante inflación (el Higgs u otro) y los bloques del espacio-tiempo producirían un mecanismo estocástico, cuyo resultado concreto es el flujo de energía necesario desde el espacio-tiempo hacia la materia, para crear las semillas en el universo temprano⁶. Al emerger, estas inhomogeneidades pueden ser descritas clásicamente, por lo que se evita tener que explicar la transición cuántico-clásica mencionada más arriba, y además el modelo predice el espectro observado del FCM de manera correcta [7]. También, el enfoque contiene fundamentos claros que permiten explicar y predecir una supresión de las ondas gravitacionales primordiales respecto al enfoque estándar.

Un candidato para la materia oscura

Tras la fase inflacionaria, la energía efectiva (del orden de la densidad de Planck) decae mediante interacciones con la materia, recalentando el universo hasta alcanzar aproximadamente la temperatura de Planck. Un Big Bang tan caliente podría producir *agujeros negros primordiales* (PBH) de masa planckiana ($\sim 10^{-8}$ kg); ver, por ejemplo, [5, 6, 8]. Existen razones para esperar que la granularidad del espacio-tiempo tenga un efecto drástico en las propiedades físicas de estos PBH elementales y que, contrariamente a la expectativa semiclásica de que se evaporarían mediante la radiación de Hawking (solo justificada para grandes agujeros negros en unidades de Planck), los agujeros negros de masa planckiana podrían ser estables e interactuar solo gravitacionalmente. De ser así, su abundancia puede estimarse fácilmente, y el resultado es sorprendente, ya que corresponde, en orden de magnitud, a la cantidad necesaria para explicar la densidad actual de toda materia oscura [6]. Las únicas hipótesis que sustentan esta estimación es que las partículas estables de masa de Planck forman parte del espectro de la gravedad cuántica y que interactúan únicamente gravitacionalmente. Y dado que estas partículas solo interactúan gravitacionalmente, la forma de materia oscura que se desprende de estas suposiciones —que requiere una cantidad mínima de nueva física— sería la más difícil de detectar mediante observación directa. Sin embargo, algunos protocolos experimentales sugieren que esto podría ser posible en un futuro próximo [9].

Conclusiones finales

Hemos mencionado en este artículo algunas ideas detrás de recientes propuestas novedosas, para describir el universo temprano, donde el origen de la estructura encuentra una explicación más fundamental, sin mecanismos extras para explicar transiciones cuántico-clásicas. La fase inflacionaria del universo habría ocurrido a una escala de energía naturalmente fundamental, a la que dentro del enfoque estándar resultaría muy difícil de modelar dadas las cotas observacionales más recientes del FCM. El enfoque mencionado aquí se enmarca dentro de algunas ideas provenientes de teorías cuánticas de gravedad, donde el espacio-tiempo tendría una estructura “granular” a nivel fundamental. Y es esta granularidad la que, al interactuar con la materia, provee una fuente de energía capaz de encender las perturbaciones cosmológicas al inicio del universo en la era de Planck. Para terminar, mencionemos que otros problemas ya han sido abordados desde este enfoque granular del espacio-tiempo: el problema de la constante cosmológica y su relación con “la peor predicción de la física teórica” [10], otorgando un origen para la energía oscura [11], y propiedades de los agujeros negros [12]. Quizás sea este camino el que nos permita explorar desde otro enfoque la interfase entre la gravitación y la física cuántica. ■

Notas

1 Club de Astronomía Ing. Félix Aguilar. Fundado en 1980. Sitio web: www.caifa.com.ar. Contacto: gabriel@iafe.uba.ar.

2 Esta escala está relacionada con lo que se llama “*la era de Planck*”: jugando con algunas constantes fundamentales de la naturaleza (\hbar , G y c), terminamos sospechando que cuando un proceso físico involucra energías de unos 10^{19} GeV (giga-electronvoltios), o longitudes características del orden de 10^{-35} metros, la gravitación necesitaría una descripción cuántica completa. En cosmología significa que con nuestras teorías actuales no podemos decir nada acerca de lo que pudo haber ocurrido más atrás del *tiempo de Planck* ($\sim 10^{-44}$ segundos).

3 Usamos aquí “semillas primordiales”, “inhomogeneidades” o “perturbaciones” indistintamente para referirnos a variaciones de los campos que se apartan del caso isótropo y homogéneo. Un campo representa la distribución espacio-temporal de una magnitud física.

4 Las simetrías de isotropía y homogeneidad hacen referencia a que no hay direcciones ni lugares privilegiados en el universo.

5 El estado cuántico de vacío inicial que típicamente se adopta para las perturbaciones durante inflación se conoce como *vacío de Bunch-Davies*, y representa una configuración totalmente isótropa y homogénea. La elección de este estado inicial tiene algunas severas críticas.

6 Pensemos en la siguiente analogía cotidiana: imaginemos el piso de una habitación, construido con baldosas de cierto tamaño. En algunos lugares el suelo está bien liso y en otros no tanto, haciendo que las baldosas no encajen bien, estén algo elevadas, etc. Ahora arrojamos bolitas con cierta masa,



las cuales se desplazarán por el piso, con cierto rozamiento, cuya fricción generará energía. Esa energía será emitida, por ejemplo, en forma de calor hacia las bolitas. En esta analogía, las baldosas son el espacio-tiempo discreto, las bolitas el campo escalar, y la energía disipada es empleada para la generación de las semillas de estructura primordiales.

Referencias:

[1] Gambini R. and Pullin J., *Loop Quantum Gravity for everyone*, World Scientific, Singapore, 2020.

[2] Agulló I., *Más allá del Big Bang*, Debate, Penguin Random House Grupo Editorial, 2020.

[3] Akrami Y. et al. (Planck), *Astron. Astrophys.* 641, A10 (2020).

[4] Bengochea G. R., *El origen cuántico del universo*, Revista Si Muove, N°18 (2020).

[5] Amadei L. and Pérez A., *Phys. Rev. D* 106, 063528 (2022).

[6] Bengochea G. R., León G. and Pérez A., *Universe* 11, 139 (2025).

[7] Bengochea G. R., León G. and Pérez A., *Emergence of cosmic structure from Planckian discreteness*, (2025). Versión preimpresión disponible en: <https://arxiv.org/abs/2506.15413>.

[8] Barrau A., Martineau K., Moulin F. and Ngono J.-F., *Phys. Rev. D* 100, 123505 (2019).

[9] Christodoulou M., Pérez A. and Rovelli C., *Phys. Rev. Lett.*

133, 111001 (2024).

[10] Carroll S. M., *Living Rev. Relativ.* 4, 1 (2001).

[11] Pérez A. and Sudarsky D., *Phys. Rev. Lett.* 122, 221302 (2019).

[12] Pérez A., *Class. Quant. Grav.* 32, 084001 (2015); Pérez A., *Rept. Prog. Phys.* 80, 126901 (2017).

“El universo temprano pasó de un estado sin estructuras a uno en el que aparecieron ‘semillas’, lugares un poco más densos que otros, que con el tiempo congregaron materia y permitieron la formación de galaxias”.

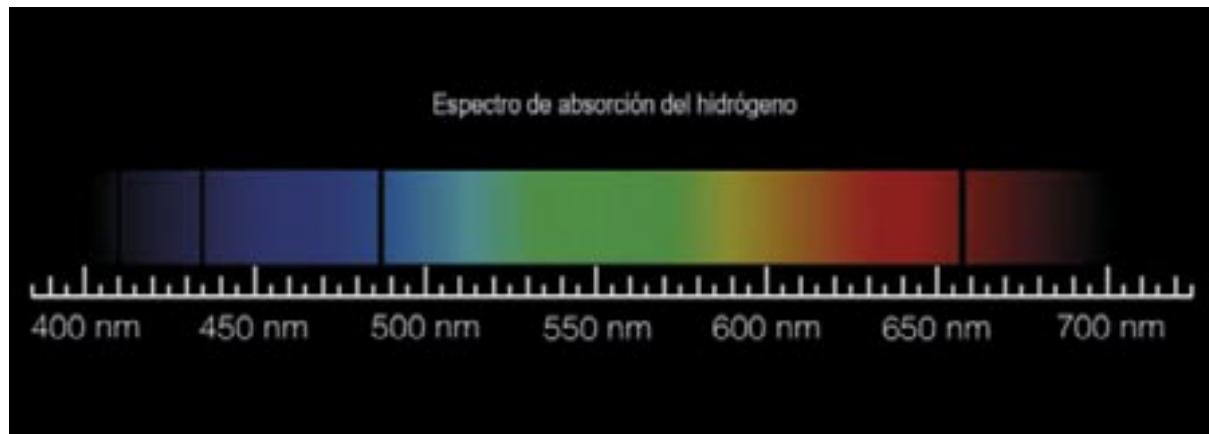
03 *Estructuras en el universo. Las semillas cósmicas primordiales, generadas durante inflación en el universo temprano, evolucionan gravitacionalmente y terminan formando las galaxias que hoy observamos en el cielo, como las del cúmulo de Virgo.*

El estudio de las partículas subatómicas

UN SIGLO DE LA CUÁNTICA

Autora: Dra. Rocío Bermúdez, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

01



Este año celebramos el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, una oportunidad para reflexionar sobre cómo la Física Cuántica ha revolucionado nuestra comprensión del universo.

Aunque solemos asociarla con el mundo microscópico, la mecánica cuántica también está presente en muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Esta rama de la física estudia las partículas subatómicas, su comportamiento y su dinámica, y nos permite hacer predicciones sobre sus interacciones. Entre esas partículas, los electrones ocupan un lugar central. El estudio del comportamiento de los electrones, no solo permitió comprender cómo se organiza la materia, sino que es fundamental para el desarrollo de la electrónica moderna. Gracias a la física del electrón, hoy tenemos desde computadoras y teléfonos celulares, hasta las más avanzadas tecnologías que forman parte de nuestra vida. Es por esto que las Naciones Unidas declararon 2025 como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas, ya que se reconocen 100 años transcurridos desde el desarrollo inicial de la mecánica cuántica. Podríamos decir que los inicios de la cuántica se remontan a algunos años antes de lo que se establece en esta conmemoración, especialmente en una época en la que los experimentos y descubrimientos relacionados con el átomo eran frecuentes. Por ejemplo, cuando Max Planck explicó la radiación del cuerpo negro, a comienzos del siglo XX. Sin embargo, fue en 1925 cuando Werner Heisenberg publicó el artículo por el cual fue galardonado, en 1932, con el Premio Nobel de Física. De hecho, le fue otorgado “*por la creación de la mecánica cuántica, cuya aplicación tiene, entre otras cosas, el estudio y descubrimiento de las formas alotrópicas del hidrógeno*”. Heisenberg presentó una forma de estudiar el átomo

enfocándose en cómo cambian los electrones cuando interactúan con la energía, en lugar de describir cómo se mueven, estableciendo un marco teórico de los fenómenos cuánticos en lenguaje matemático. Pero esto fue tan solo el inicio, y dio paso a grandes nombres como Schrödinger, Fermi, Pauli, Dirac, entre muchos otros.

En astronomía, la cuántica permitió analizar las estrellas y galaxias sin necesidad de viajar hasta ellas. Esto se hace utilizando espectroscopía, una herramienta que nos permite conocer la composición y temperatura de los astros a partir de la luz que emiten. Resulta que los electrones en el átomo saltan entre niveles de energía, es decir, absorben o emiten luz en longitudes de onda específicas. Tomando como base el espectro electromagnético (de allí espectroscopía), se crea una especie de “código de barras” único para cada elemento.

Gracias a este principio cuántico, sabemos que el Sol y la mayoría de las estrellas están compuestas principalmente de hidrógeno y helio (aprovecho para recomendar el artículo del Dr. Guillermo Abramson, “El color de las estrellas”, disponible en el número 26 de la revista Si Muove). Así, sin la Mecánica Cuántica, nuestro conocimiento del cosmos sería muy distinto. ■

01 *Espectro de absorción del hidrógeno, marcado por las líneas oscuras sobre la luz continua (los colores), producidas por la absorción de energías específicas por parte de los electrones, al saltar de niveles de energía bajos a otros más altos, dejando “huecos”.*

Nebulosas planetarias

EL ENCANTADOR FINAL DE LAS ESTRELLAS COMO EL SOL

Autor: Dr. Guillermo Abramson, Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro (guillermoabramson.blogspot.com).

01

Leonardo Julio



Cuando llegan al final de sus larguísimas vidas, las estrellas como el Sol (un poco más grandes y masivas, un poco menos) se convierten en uno de los objetos astronómicos más hermosos y efímeros: una nebulosa planetaria. Es un término confuso y poco claro (ya que no se trata ni de una nebulosa, ni de un planeta), pero es como conocemos a estos objetos que ya han dejado de ser una “estrella” y que, tras perderse el equilibrio que las mantiene estables, han expulsado sus capas exteriores al espacio. Aquí y en las páginas siguientes compartimos algunas hermosas imágenes de nebulosas planetarias.

El final de la vida del Sol va a ser digno de verse. No va a explotar como una supernova: eso le ocurre solo a las poquísimas estrellas más pesadas. Tampoco se va a ir apagando lentamente, como hacen las abundantes enanas rojas. Las estrellas como el Sol, cuando llegan al final de sus vidas, se convierten en uno de los objetos astronómicos más hermosos y efímeros: una **nebulosa planetaria**. En las imágenes 01 y 02 vemos la **nebulosa de la Hélice**, conocida también como *Helix*. La estrellita del centro es la enana blanca **WD 2226-210** (imagen 03), el núcleo remanente de

la estrella, brillando a 100 mil grados, aunque ya no sostiene reacciones nucleares.

¿Cómo ocurre esto? Las estrellas se mantienen infladas, resistiendo la tendencia de la fuerza de la gravedad a comprimir las hacia el centro, gracias a la energía que producen las reacciones nucleares que ocurren en su centro. Durante la mayor parte de su vida, fusionan hidrógeno en helio, que se acumula en el núcleo de la estrella. Pero cuando el hidrógeno empieza a escasear y el ritmo de fusión a menguar, no se produce energía suficiente para equilibrar la contracción gravitatoria.



El núcleo se contrae y convierte energía gravitatoria en calor. Este calentamiento del núcleo tiene dos consecuencias. Por un lado, a mayor temperatura, llega un punto en que puede fusionarse el helio acumulado, produciendo carbono y oxígeno. Por otro lado, el calor producido por la contracción del núcleo infla las capas exteriores de la estrella (en las cuales no se produce fusión nuclear). La superficie exterior puede crecer muchísimo, lo cual hace que la temperatura superficial disminuya y la estrella se vuelva roja. Y gigante. O sea: una **gigante roja** (ver Si Muove 26, p. 18). Eventualmente, también el helio empieza a agotarse, la energía de fusión vuelve a perder la lucha contra la gra-

01 La nebulosa planetaria de la Hélice (NGC 7293, conocida también como Helix) en un campo de unos 4 grados y una exposición de 3 horas (apilado de 90 tomas de 2 minutos cada una). Con una magnitud visual de 7,3, resulta visible con telescopios de aficionados bajo cielos oscuros. Se encuentra en la constelación de Acuario y en el cielo mide aproximadamente la mitad de la Luna, aunque en realidad posee cerca de 6 años luz de diámetro. Se encuentra a 680 años luz de distancia de nosotros.

02 La Hélice es una nebulosa planetaria, es decir, el material de una estrella que ya se ha desprendido de sus capas exteriores, tras el final de sus reacciones termonucleares. En el centro, lo que queda es una enana blanca, el núcleo caliente y compacto de la estrella.



vedad y el núcleo de la estrella vuelve a contraerse. En estrellas más pesadas el ciclo puede repetirse, fusionando progresivamente elementos más y más pesados: carbono y oxígeno en neón y magnesio, luego silice e, incluso, hierro. Pero las estrellas como el Sol nunca alcanzan la temperatura en el centro necesaria para fusionar el carbono y el oxígeno. La contracción del núcleo finalmente se detiene debido a una fuerza de origen cuántico, llamada presión de degeneración de los electrones, cuando su materia alcanza una densidad extremadamente alta (del orden del millón de veces la del agua). Se ha formado una **enana blanca** (ver Si Muove 27, p. 15). Una gran parte de las capas exteriores de la estrella, que se encuentran ya muy infladas, continúa expandiéndose lentamente, brillando intensamente con la radiación de la enana. Es una etapa breve y transitoria, llamada **nebulosa planetaria**. Cuando esto le ocurra al Sol, ¿qué pasará con la Tierra y los demás planetas? Durante la etapa de gigante roja,

seguramente englobará a Mercurio y Venus, que serán destruidos. La Tierra quizás sobreviva, así como todos los planetas exteriores. Pero las nebulosas planetarias son mucho más grandes que el sistema solar (la nebulosa de la Hélice mide casi 3 años luz de radio), así que los planetas quedarán dentro.

Dentro de la Hélice (foto 03), en órbita alrededor de su enana blanca, hay un planeta tipo Neptuno. Y, además, desde hace décadas, se sabe que la estrella emite una cantidad inusual de **rayos X**, que se ven en la foto 04, hecha por el telescopio espacial Chandra. El puntito del centro es la enana blanca. La radiación observada es compatible con un proceso llamado *acreción*, que es como la inversa de un viento estelar: materia cayendo sobre la estrella. La acreción es capaz de liberar enormes cantidades de energía, simplemente por convertir energía potencial gravitatoria en calor. En este caso, la acreción necesaria es bastante grande (más o menos 10 mil veces mayor que

Ni nebulosa, ni planeta

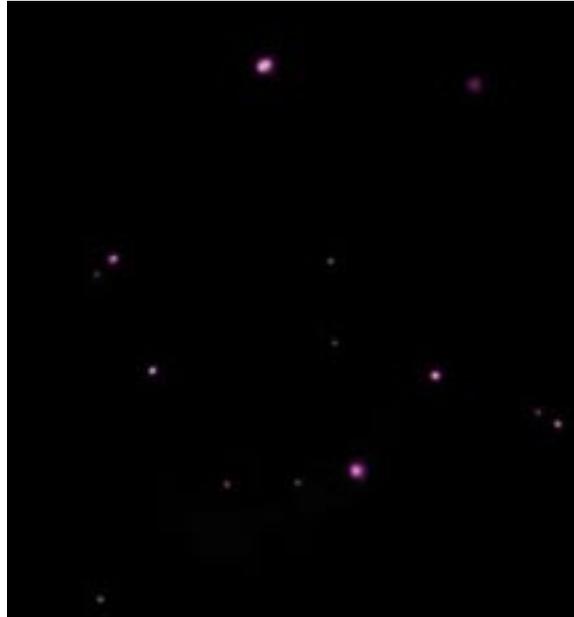
Las nebulosas planetarias no tienen ninguna relación con los planetas. El nombre es de origen histórico, ya que en los telescopios defectuosos y pequeños de hace siglos, se las veía con el aspecto de los planetas, como un pequeño disco coloreado, a diferencia de las estrellas, que siempre se ven puntuales. Son también objetos muy distintos de las nebulosas brillantes, que son parte del medio interestelar, generalmente mucho más grandes. Empujadas por la radiación de la enana blanca central, de todos modos, el material de las nebulosas planetarias acaba integrándose al medio interestelar, a partir del cual se podría formar una generación siguiente de estrellas y planetas.

“Tras formarse una enana blanca -el núcleo compacto y denso de la estrella-, las capas exteriores se expanden lentamente durante una etapa breve y transitoria, llamada nebulosa planetaria”.

el viento solar). En general, este material lo suministra una estrella compañera, como en los sistemas que acaban produciendo una supernova de tipo Ia (uno-a). En este caso, no hay ninguna estrella compañera distinguible, y los datos observados se explican adecuadamente si el material lo aporta un planeta tipo Júpiter, en el proceso de ser destrozado por la proximidad a la estrella.

¿Será este el destino de la Tierra? Aunque nuestro planeta sobreviva a la etapa de gigante roja, la expansión de la nebulosa planetaria seguramente modificará las órbitas de los planetas sobrevivientes. Habrá un caos en el orden kepleriano que disfrutamos hoy en día. Las órbitas de los planetas se estirarán, se harán alargadas como la del cometa Halley, y podrán acercarse mucho a la enana blanca central. En tal caso, serán destrozados, y su materia acabará cayendo en espiral hacia la enana blanca (imagen 05), donde podrán producir radiación X como la que vemos en la Hélice.

Vale la pena terminar diciendo que nadie debería preocuparse. Es algo que ocurrirá tantos miles de millones de años en el futuro, que más bien ocupémonos de no arruinar lo que queda de nuestro ecosistema en el próximo siglo. ■



NASA/CXC/SAO/Univ. México/S. Estrada-Dorado et al.

03 Imagen compuesta de la nebulosa de la Hélice, con rayos X, ultravioleta, óptico e infrarrojo. En magenta, nótese la enana blanca central, el núcleo remanente de lo que fue una estrella y que ya se ha desprendido de sus capas exteriores, las que se van expandiendo lentamente y brillan con la radiación de la enana. Los demás puntos brillantes de la imagen son estrellas que, casualmente, quedan en el mismo campo, más lejos o más cerca que la enana blanca y su nebulosa planetaria.

04 Imagen realizada por el Observatorio espacial de rayos X Chandra, mediante la que se detectó que la enana blanca WD 2226-210 emite una cantidad inusual de rayos X.

05 Representación artística de un planeta que se ha aproximado demasiado a su estrella enana blanca WD2226-210 y está siendo destrozado. Se ven otros dos planetas del sistema y el brillo de fondo de la nebulosa planetaria de la Hélice.

05



NASA/CXC/SAO/Univ. México/S. Estrada-Dorado et al. MNRAS 536:2477-2484 (2025).

01

Franco Meconi



02

Maximiliano Falieres



03

Sergio Eguivar





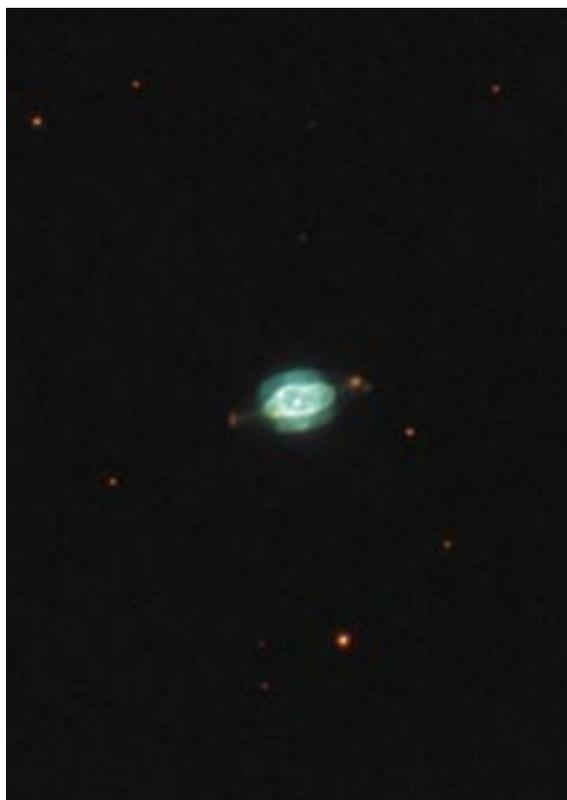
06

Maximiliano Falleres



07

Maximiliano Falleres



08

Maximiliano Falleres

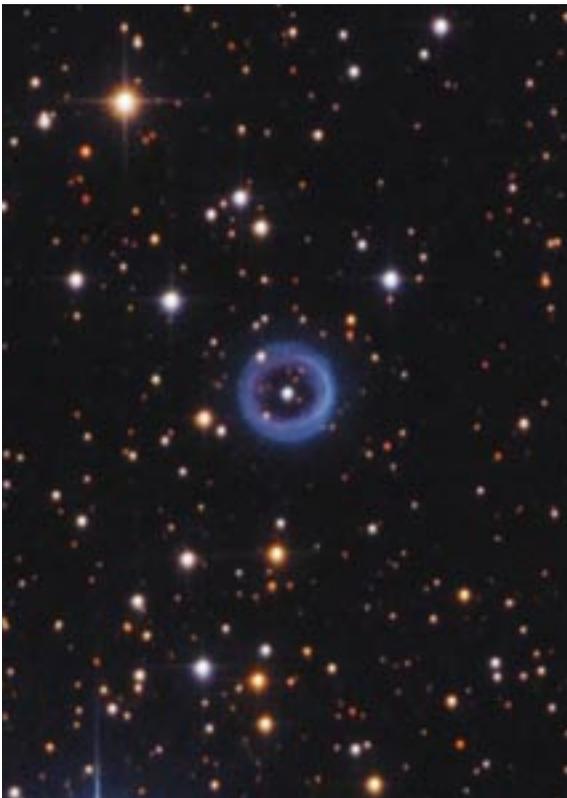




10

11

Sergio Eguivar



Sergio Eguivar



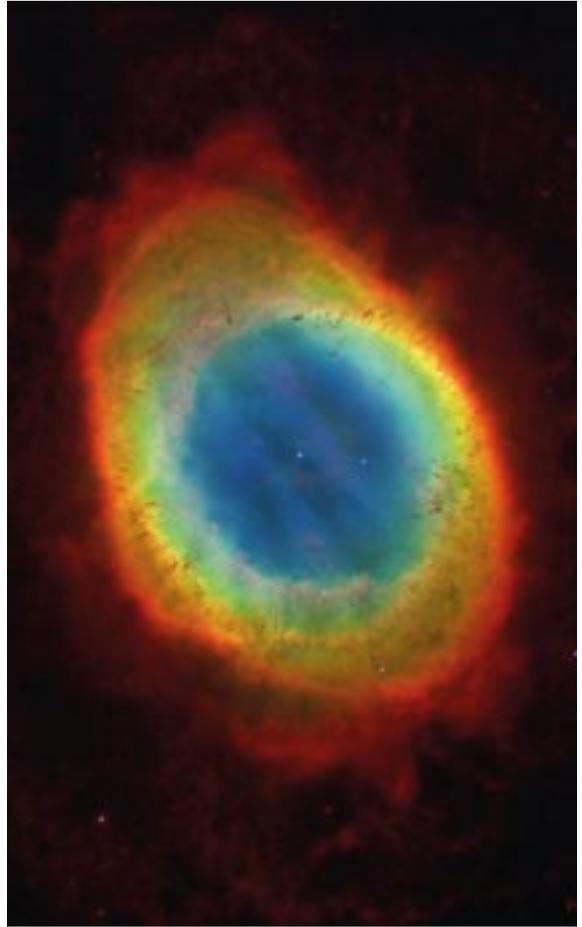
12

ESO



13

NASA/Hubble



14

Sergio Eguivar



Foto de tapa - IC 5148. Apodada la “Rueda de auxilio”. Se encuentra a menos de un grado de la estrella Lambda (λ) de la constelación de Gruss, la Grulla. De magnitud 11, es difícil de observar con telescopios de aficionados. Está a 3000 años luz, tiene un diámetro de dos años luz y se expande a 50 km por segundo. Autor: Ezequiel Bellocchio, desde Pilar, Buenos Aires.

Página 5 - ESO 378-1. Conocida como “Bubo del sur”, en la constelación de Hydra, es la mejor imagen obtenida de este objeto poco estudiado, realizada por el Very Large Telescope (VLT), del ESO.

01 - NGC 6781. A 1500 años luz, en la constelación del Águila, se extiende a través de dos años luz. Autor: Franco Meconi.

02 - IC 4406. A más de 2000 años luz, en la constelación de Lupus, el Lobo. Con una forma diferente, pertenece a la categoría de nebulosa bipolar. Tiene forma de rosca, pero vista de lado. La enana blanca central emite una intensa radiación que ioniza el gas y lo hace brillar. Autor: Maximiliano Falieres, desde San Luis.

03 - NGC 2438. En la constelación de Puppis hay un cúmulo estelar abierto llamado Messier 46 (M 46), visible muy fácilmente con binoculares, al lado de otro aún más brillante, M 47. Cuando se apunta allí un telescopio de aficionado, se pueden observar algunos cientos de estrellas, entre las que se destacan azules y rojas. Pero, además, hacia un borde, se observa algo que parece una estrella desenfocada. Se trata de NGC 2438, una nebulosa planetaria ubicada, casualmente, en la misma dirección, pero mucho más cerca. Mientras el cúmulo se encuentra a 5400 años luz de nosotros, la nebulosa planetaria está a 2900 y no guardan ninguna relación física. Autor: Sergio Eguivar, desde Merlo, San Luis.

04 - NGC 6302. La “Nebulosa del insecto”, o “El bicho”, es una planetaria bipolar. La enana blanca central está oculta bajo varias capas de gas y polvo, y expulsa gas desde sus polos a gran velocidad, lo que moldea las “alas”, antes de contraerse definitivamente hacia su etapa final. Se encuentra a más de 3000 años luz, en la constelación de Escorpio. Autor: Ezequiel Bellocchio, desde Pilar, Buenos Aires.

05 - NGC 6302. La misma nebulosa tomada por la Cámara de Campo Amplio (WFC3) del Telescopio Espacial Hubble.

06 - NGC 3242. El “Fantasma de Júpiter”. Ubicada en la constelación de Hydra, a 1400 años luz de distancia, es relativamente fácil de encontrar con telescopios de aficionados, una de las planetarias más observadas. Autor: Maximiliano Falieres, desde San Luis.

07 - NGC 7009. Nebulosa de “Saturno”. Conocida así por su similitud con el planeta, debido a esos “anillos” que son, en realidad, un halo de eyecciones de material de la estrella, de diferentes densidades y temperaturas. Esta nebulosa planetaria se encuentra a 5000 años luz, en la constelación de Acuario. Autor: Maximiliano Falieres.

08 - M 27. Nebulosa Dumbbell. Es otra de las planetarias más observadas por los aficionados, en los cielos de invierno, en la constelación de Vulpécula, la Zorra, a 1200 años luz de distancia. Una estrella gigante, en el final de sus días, se desprendió de sus capas exteriores en una serie de eventos ocurridos hace 3000 o 4000 años. Autor: Maximiliano Falieres.

09 - Shapley 1. Una clásica nebulosa planetaria con forma de anillo. Se encuentra a 5000 años luz en la constelación de

Norma, la Escuadra. Esta imagen en primer plano fue realizada por el Espectrógrafo y la Cámara de Objetos Débiles del ESO, Observatorio Europeo Austral, en Chile.

10 - Shapley 1. La misma nebulosa en un campo más amplio, por Sergio Eguivar, desde San Antonio de Areco, Buenos Aires.

11 - NGC 2392. El Esquimal. Otra planetaria muy fácil y conocida por los aficionados, en la constelación de Gemini, a más de 4000 años luz. Hace unos 10.000 años, una estrella gigante expulsó sus capas exteriores y, hoy en día, ocupan un año luz de extensión. Autor: Sergio Eguivar, desde Martínez, Buenos Aires.

12 - IC 1295. Esta curiosa nebulosa planetaria se encuentra en la constelación de Scutum, el Escudo, y la imagen fue realizada por el VLT (Very Large Telescope), desde Cerro Paranal, Chile.

13 - M 57. Nebulosa Anular de Lyra. Se trata de la nebulosa planetaria más famosa del cielo, tanto por su aspecto ideal como por lo brillante y fácil de encontrar para los aficionados, ya que se encuentra justo entre dos estrellas visibles a simple vista, “Sheliak” y “Sulafat”, Beta y Gamma de la constelación de la Lira, aunque se observa exclusivamente con telescopios. Hace años, se la creía una nebulosa planetaria relativamente simple, pero imágenes como esta, del Telescopio Espacial Hubble, permitieron desentrañar una estructura mucho más compleja. La parte azul central tiene una forma relativamente esférica, por dentro de otra estructura, en rojo, con forma de rueda de bicicleta, con radios oscuros conformados por gas y polvo densos que el viento estelar aún no ha disipado.

14 - NGC 3918. Blue planetary. Otra de las más buscadas por los aficionados. Se encuentra en la constelación del Centauro, aunque utilizamos las estrellas Beta y Delta de la Cruz del Sur para encontrarla, ya que las tres están prácticamente alineadas. Aparece como un pequeño disco azul y se encuentra a 1300 años luz de distancia. Autor: Sergio Eguivar, desde Sarandí, Entre Ríos.

“Cuando una estrella con una masa similar a la del Sol agota su combustible, sus capas externas son expulsadas al espacio. El gas en expansión es iluminado por el núcleo caliente de la estrella. Muchas de ellas, vistas con telescopios, se ven como un anillo, parecidas a un planeta, pero nada tienen en común”.

Reunión de la IPS

BUENOS AIRES 2028

Autora: *Dra. en Física Estefanía Coluccio Leskow, gerente operativa del Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.*



Por primera vez en su historia, el encuentro se realizará en Sudamérica, y Buenos Aires ha sido elegida como ciudad sede, con el Planetario Galileo Galilei como anfitrión institucional.

En una decisión que refleja la importancia de nuestro Planetario porteño, la ciudad de Buenos Aires fue elegida para recibir, en junio de 2028, la Conferencia bienal de la *International Planetarium Society* (IPS), la organización profesional más importante a nivel global en el ámbito de los planetarios, la divulgación astronómica y las tecnologías inmersivas aplicadas a la educación científica y cultural. Fundada en 1970, la IPS reúne especialistas, instituciones y empresas de más de 50 países, y marca la agenda internacional del sector. Nuestro Planetario Galileo Galilei es miembro de esta red.

Cada dos años, la IPS realiza su conferencia mundial, el principal encuentro global de la comunidad de planetarios. Participan más de 500 representantes de todo el mundo: directores de planetarios, investigadores, educadores, especialistas en tecnología de proyección, productoras de contenidos, empresas proveedoras de equipamiento científico y audiovisual, desarrolladores

de software y autoridades institucionales. La reunión de 2026 será en la ciudad japonesa de Fukuoka.

La designación de Buenos Aires para 2028 es el resultado de un proceso competitivo internacional que se extendió durante casi un año. En ese período, nuestro Planetario presentó su candidatura formal ante el Comité Ejecutivo de la IPS, participó de dos instancias de exposición detallada —una preliminar y virtual, en 2024, y una final, en junio de 2025, en Santiago de Chile— y compitió directamente con la propuesta presentada por el *Mystic Seaport Museum – Treworgy Planetarium* de Connecticut, Estados Unidos. Finalmente, la comunidad internacional de la IPS votó mayoritariamente a favor de Buenos Aires.

01 *Reunión de la IPS en Berlín, Alemania, en 2024, en la que nuestro Planetario participó activamente.*

Trabajo en equipo

Gracias al trabajo del Planetario Galileo Galilei y de su equipo, se logró algo sin precedentes en más de cincuenta años de historia de la IPS: ser elegidos como sede para que la conferencia se realice por primera vez en América del Sur, lo que representa un hito para la ciudad y para toda la región. Lo habían intentado antes instituciones de gran prestigio, como los planetarios de Bogotá o Río de Janeiro, pero sin éxito. Salvo contadas excepciones —como Osaka, Alejandría, Pekín o Melbourne—, la sede de la conferencia siempre había recaído en países de América del Norte o Europa. Además, hacía más de veinte años que Estados Unidos no era sede de este evento, lo cual fortalecía la candidatura de un país clave en la historia de la IPS, ya que allí nació la sociedad. De hecho, uno de los principales competidores era la propuesta de la ciudad de Connecticut.

Frente a ese panorama, posicionar a Buenos Aires implicaba algo más que postular una sede: era presentar una alternativa disruptiva, capaz de cambiar la historia del evento. Es un reconocimiento a la labor silenciosa y sostenida de quienes, desde hace décadas, hacen del Planetario un lugar único, capaz de inspirar, educar y despertar vocaciones, y es el resultado de un gran equipo de trabajo. Este logro representa un reconocimiento internacional de primer nivel para la ciudad, con impacto estratégico en múltiples dimensiones:

- *Posicionamiento global de Buenos Aires como centro de ciencia, cultura, innovación y educación.
- *Visibilidad internacional como sede de congresos de alta especialización tecnológica y científica.
- *Presencia de empresas líderes mundiales en tecnología inmersiva, proyección, óptica, contenidos audiovisuales y equipamiento especializado.
- *Generación de oportunidades de negocios, *networking*, formación profesional y desarrollo de proveedores locales.
- *Fortalecimiento del ecosistema de divulgación científica y tecnológica de la Ciudad y de la región.
- *Consolidación del liderazgo regional de Buenos Aires en el ámbito de los planetarios y de la educación en ciencias del espacio.

La candidatura contó con el apoyo de la Asociación de Planetarios de América del Sur (APAS), de la cual nuestro Planetario es miembro; de INVAP y de la Facultad de Ingeniería de la UBA, y consolida el rol estratégico del Planetario Galileo Galilei perteneciente al Ministerio de Cultura de la Ciudad, como actor central del ecosistema científico-cultural de la ciudad.

Esta designación no solo celebra la trayectoria del Planetario de la Ciudad, sino que también abre una nueva etapa para toda la comunidad científica, educativa y cultural de Buenos Aires. La Conferencia IPS 2028 será una oportunidad única para mostrar al mundo el talento, la infraestructura y la visión con la que nuestra ciudad piensa el futuro: un futuro donde el conocimiento, la tecnología y la cooperación internacional son ejes centrales para el desarrollo. Distintas áreas del Gobierno de la Ciudad —ciencia, cultura, turismo, educación e innovación— participarán activamente en la organización del evento, que será mucho más que un congreso: será una experiencia urbana compartida, con actividades abiertas al público, espacios de encuentro con referentes internacionales y una agenda que proyectará a Buenos Aires como un verdadero nodo global del pensamiento y la divulgación científica. ■

“La Conferencia de la IPS-Buenos Aires 2028 será una oportunidad para mostrar al mundo el talento, la infraestructura y la visión con la que nuestra ciudad piensa el futuro”.



Personaje místico, ¿mártir de la ciencia?

¿QUIÉN FUE GIORDANO BRUNO?

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

01



No fue astrónomo, pero se lo vincula con la astronomía. No descubrió nada, pero es considerado un mártir de la libertad de pensamiento. Defendió abiertamente la teoría heliocéntrica de Copérnico, pero por motivos abstractos y no matemáticos. Proponía la pluralidad de los mundos en un universo infinito con otros planetas habitados, y cuestionaba los dogmas de la Iglesia, que pretendía reemplazar por una nueva filosofía. Fue arrestado por la Inquisición romana, juzgado, torturado y quemado vivo por hereje en 1600. Esta es una breve historia (de lo poco que se sabe) de Giordano Bruno.

“El universo es ilimitado. Posee infinitos mundos e innumerable diversidad de vida. Hay incontables soles, y planetas que giran alrededor de sus soles de la misma manera que la Tierra. No hay ningún arriba ni abajo absolutos en el espacio, sino que la posición de un cuerpo es relativa con respecto a los otros cuerpos”.

La imagen de Giordano Bruno no está del todo clara en esta historia. Para algunos, fue un mártir de la libertad de pensamiento. Para otros, un rebelde político, un renovador religioso, un filósofo, un poeta, un místico. No era alquimista, no seguía dogmas ni mitos, y no fue un escritor científico. Creía en Dios o en la existencia de varios dioses, pero estaba desilusionado de la religión reinante. Despreciaba la astrología, pero otorgaba a algunas constelaciones una relación con cualidades morales. Desconfiaba de la filosofía aristotélica impuesta a través de la escolástica¹, vigente desde la Edad Media. Procuraba especializarse en todas las disciplinas posibles y buscaba amalgamar las creencias con el racionalismo. Pretendía instaurar una nueva religión y quería convencer de sus ideas personalmente al papa.

Aseguraba que toda la materia está relacionada entre sí, que vivimos en un universo donde todo se recicla, que hay un universo en cada uno de nosotros y que todos formamos parte de él.

El principio de su filosofía estaba basado en la magia y en las tradiciones gnóstica y hermética, de orígenes egipcios y griegos, que intentaban comprender la naturaleza y los atributos divinos; y en las doctrinas panteístas, que asumen que Dios es todo el universo, y no una personalidad. Para Bruno, Jesús fue un mago, y no una deidad. Pretendía reemplazar el cristianismo por esas propuestas más antiguas redescubiertas en Occidente. Defendía que cada uno razonara como quisiera, libremente, sin que otros lo obligaran a pensar de una u otra manera, y desconfiaba del principio de autoridad.

“Aquel que desee filosofar debe dudar de todas las cosas. No debe adoptar ninguna postura hasta que no haya escuchado las distintas opiniones, examinado y comparado las razones en pro y en contra. Nunca debe basarse en la opinión de la mayoría, o en la edad, méritos o prestigio del orador, sino que debe proceder de acuerdo con la convicción que se adquiera a cosas reales y a una verdad que pueda ser comprendida mediante la razón”.

En la época de Giordano Bruno, en el mundo occidental florecía un movimiento cultural basado en el renacer de las ideas, los descubrimientos, los viajes, las aventuras y las ciencias. Pero la mayoría de la gente vivía acosada por el hambre, las enfermedades, las guerras y la superstición, bajo el dominio de una institución religiosa con poder político que, a pesar de estar en crisis, creía tener autoridad en temas científicos y ejercía el control en la educación.

Por la noche, no había mucho que aprender. Las estrellas eran simples luces en el firmamento, ubicadas por los dioses para guiar a los hombres. En ese contexto, Giordano Bruno se animó a proponer la existencia de planetas habitados por otros seres inteligentes, que adorarían a sus propios dioses. Para él, el Sol era una estrella más, y la Tierra, un astro como la Luna y otros planetas. Bruno parecía estar adelantado a su tiempo, pero su ideología era herética para la Iglesia, porque sacar a la Tierra del centro del universo degradaba a la humanidad. El heliocentrismo explicaba mejor las cosas, incluso para Galileo, Kepler o Copérnico, que además de científicos seguían siendo creyentes.

“Esa estrella, que parece más pequeña en el firmamento y es considerada de cuarta o sexta magnitud, es mucho mayor que aquella que se considera de segunda o de primera. Nuestros sentidos no son capaces de reconocer la mayor distancia, pero quienes admitimos el movimiento de la Tierra, sabemos que aquellos mundos no son equidistantes de este”.

Hasta la aparición de Kepler (1571-1630) y Galileo (1564-1642) en la historia, Giordano Bruno había sido casi la única persona en defender abiertamente la teoría heliocéntrica de Copérnico (1473-1543). Algunos la enseñaban y discutían en secreto, pero nunca públicamente como Bruno. Conoció la noción de un fuego central -aunque no necesariamente vinculado al Sol- al leer a Pitágoras (~500 a.e.c.) y Filolao (~400 a.e.c.), entre otros, y la amplió asegurando que hay otros planetas girando alrededor de otros soles. Pero su idea era más metafísica (como la de los antiguos filósofos griegos y egipcios) que matemática (como la de Copérnico y, luego, Kepler y Galileo). Quienes antiguamente adoraban al Sol, lógicamente, lo ubicaban en el centro.



Curiosamente, varias de sus especulaciones fueron confirmadas luego por la ciencia, años y siglos después. Por ejemplo, hoy llamamos exoplanetas a esos cuerpos hipotéticos de Bruno, y desde 1995, cuando se descubrió el primero (51 Pegasi b), ya hay cerca de 8000 confirmados. También consideraba posible la existencia de planetas más allá de Saturno, que por su lento movimiento o por su distancia, eran imposibles de ver. Urano recién fue descubierto en 1781, y Neptuno, en 1846, ambos con telescopios.

“Nosotros vemos los soles, que son los más grandes, pero no vemos las tierras, por ser mucho más pequeñas. Y existen otras tierras que dan vuelta alrededor de este sol, que no son visibles para nosotros, ya sea por su mayor distancia o por su menor tamaño. Más allá de Saturno, cuanto más alejados están, mayores círculos trazan y más lentamente se mueven”.

01 Desde 1889, en el Campo dei Fiori de Roma, donde Giordano Bruno fue quemado vivo, hay un monumento que lo evoca, obra del escultor italiano Ettore Ferrari.

02 Imagen alegórica de Giordano Bruno (Civica Raccolta delle Stampe Archille Bertarelli, Milán), realizada en el siglo XVI.



En el universo, la materia se recicla en los procesos que llevan a las nebulosas a fragmentarse y formar, con los mismos elementos, nuevas estrellas. Las estrellas, al morir, expulsan gran parte de sus materiales al espacio, y estos pueden servir, al mezclarse con el material de otra nebulosa, para formar nuevas generaciones de estrellas, planetas y otros cuerpos celestes. Giordano Bruno no lo podía saber, pero sus especulaciones resultan sorprendentes. Quizás por eso, se lo ha vinculado tanto con la ciencia y, en particular, con la astronomía. Por su parte, según la biología actual, hay procesos que intervienen en el crecimiento de los seres vivos. Las células se multiplican y, después de un tiempo, la mayoría se habrá renovado.

“De jóvenes no tenemos la misma carne que de niños, y de viejos no tenemos la misma que de jóvenes, porque estamos en continua transmutación. Todo se renueva periódicamente, cambiando y alterando las partes”.

Escribió treinta libros, varios de ellos relacionados con la memoria, en los que desarrolló una serie de métodos mnemotécnicos para almacenar información. En uno de sus ejercicios mentales, Giordano Bruno flotaba por encima de la Tierra. Imaginaba que mientras se acercaba a la Luna, esta se volvía más grande y nuestro planeta se empequeñecía. Desde la superficie lunar la Tierra parecía un satélite. Yendo más allá, imaginó a la Tierra y a la Luna vistas como dos puntitos de luz desapareciendo en la noche infinita. Imágenes que hoy nos resultan familiares eran pensamientos sin precedentes en aquella época.

Ho visto Giordano Bruno

Nació el 30 de marzo de 1548 en Nola, cerca de Nápoles, al sur de la actual Italia, y fue bautizado como Filippo Bruno. A los 17 años ingresó al monasterio de San Domenico Maggiore, donde estudió teología y filosofía. Solía mantener exaltadas discusiones con otros monjes acerca de sus ideas, que resultaban inadmisibles para la Iglesia, y rechazaba la utilización de imágenes y estatuas de los santos y de la Virgen. A los 28 años, sospechado de herejía, fue procesado, huyó a un convento en Roma y cambió su nombre por el de Giordano. Pero los escándalos continuaron. Fue excomulgado y volvió a huir por temor a la Inquisición.

A partir de allí enseñó, habitualmente, en sitios marginales de Génova, Turín, Venecia, Padua, Milán, Ginebra, Frankfurt, Lyon, Toulouse y París, mezclándose con otros fugitivos, músicos, poetas, mercaderes, pensadores, místicos. Y comenzó a ser famoso por sus doctrinas poco ortodoxas. Se convirtió en orador del rey Enrique III en París, quien lo recomendó a la reina Isabel I de Inglaterra, donde propagó su filosofía y sus ideas acerca del universo. En 1591, un noble senador, Giovanni Mocenigo, comenzó a enviarle cartas expresando interés por su obra y pidiéndole que fuera a Venecia para enseñarle personalmente sus estudios acerca de la memoria. Venecia había absorbido parte de la cultura oriental, en Roma la consideraban un nido de herejes y allí se vendían textos que figuraban en el Índice de libros prohibidos por la Inquisición. Mocenigo lo contrató y lo alojó en su castillo en marzo de 1592. Pero luego de varias discusiones teológicas, lo denunció y fue arrestado el 22 de mayo. Cuatro días después, comenzó su juicio en Venecia.

La Inquisición fue un conjunto de instituciones creadas por la Iglesia Católica en el siglo XI, y reinstaurada en

1542 bajo el papado de Pablo III, para intentar frenar el inminente crecimiento del protestantismo luterano y para reprimir a los disidentes religiosos y políticos. Los inquisidores venecianos dependían del gobierno local y tenían sus propias leyes que prohibían las torturas. En Roma, en cambio, eran más laxos en temas de derechos. Las amenazas de los jueces inquisidores y las torturas llevaban a los prisioneros a confesar supuestos crímenes que jamás habían cometido. La Inquisición prohibía a los abogados que defendieran o asesoraran a los herejes, quienes desconocían a sus denunciantes, ya que se fomentaba la delación anónima. Ni abogados, ni testigos.

Mientras Bruno negaba sus acusaciones, a 500 km de Venecia, el cardenal Roberto Belarmino, académico del Vaticano y teólogo personal del papa Clemente VIII, analizaba el caso e insistía en que se lo entregaran a Roma. Y como Bruno no era veneciano, se decidió su traslado para que fuera juzgado por el Santo Oficio. Fue llevado en barco hasta Ancona y, desde allí, a caballo hasta Roma. Lo esperaba una celda en el Castel Sant'Angelo, la prisión central de la Inquisición, donde muchos morían en las condiciones más terribles antes de ser juzgados.

Bruno llegó allí el 27 de febrero de 1593, pero no compareció hasta el 14 de enero de 1599. No hay registros de lo que padeció durante sus años en el Castel Sant'Angelo. La documentación se perdió cuando Napoleón invadió la Santa Sede en 1798. Bruno tenía amigos influyentes que lo atendían, pero se supone que por ser uno de los herejes más aborrecidos, debe haber sido tratado con dureza, ya que seguía negando las herejías de las que se lo acusaba.

El cardenal Belarmino, su principal acusador, propuso entre los cargos varias “afirmaciones erróneas” de las que debía retractarse. La mayoría eran crímenes contra las creencias oficiales y las doctrinas cristianas, y finalmente fue condenado más por eso que por sus ideas acerca del cosmos. Pero entre ellas estaba también la teoría heliocéntrica y el movimiento terrestre, y Bruno insistió en defender su compatibilidad con algunos textos bíblicos. Eso provocó el rechazo absoluto de la teoría cosmológica de Copérnico². Belarmino fue el mismo cardenal que 16 años después comenzó a advertir a Galileo que dejara de

defender la teoría heliocéntrica como una verdad literal, en otro caso paradigmático.

El 8 de febrero de 1600 fue interrogado por última vez en la Sala de la Justicia del castillo. Su habilidad dialéctica había llevado a sus acusadores a revisar una y otra vez su discurso en busca de poder condenarlo ganándole la discusión. “*No tengo nada a qué renunciar y tampoco sé a qué debería renunciar*”, dijo.

Entonces, ocho cardenales presidieron la lectura de ocho cargos de herejía a quien yacía arrodillado ante ellos, y pronunciaron la sentencia: “*Giordano Bruno, hereje impenitente y pertinaz, que has incurrido en todas las censuras y penas eclesiásticas, te degradamos verbalmente... y te expulsamos de nuestra santa e inmaculada iglesia de cuya clemencia te has vuelto indigno. Además, condenamos, reprobamos y prohibimos todos tus libros y escritos, que serán quemados en la plaza de San Pedro y puestos en el Índice de Libros Prohibidos...*”. Bruno se limitó a responder: “*El miedo que sentís al imponer esta sentencia tal vez sea mayor que el que siento yo al aceptarla*”.

En las acusaciones de herejía de personalidades importantes, los inquisidores dejaban al papa la máxima responsabilidad de dictar la sentencia. En este caso, fue la pena de muerte, decidida por Clemente VIII. Antes de su ejecución, Bruno fue visitado por un grupo de hermanos en un último esfuerzo por exhortarlo a arrepentirse. Así, el hereje podía ser quemado vivo, pero los demás podían quedarse tranquilos por haber “salvado su alma”. Bruno no los satisfizo.

04



03 *El Castillo de Sant'Angelo o Mausoleo de Adriano en la actualidad. Fue construido originalmente entre el año 135 y 139, reconstruido y restaurado muchas veces a lo largo de la historia. No solo fue mazmorra de la Inquisición, también fue sepulcro, fortaleza, cárcel política, residencia papal y museo, y está conectado subterráneamente con la Basílica de San Pedro. Giordano Bruno estuvo preso allí durante 7 años, hasta el día de su muerte.*

04 *El cardenal Roberto Belarmino (1542-1621) dirigió el proceso de Giordano Bruno y, años después, amonestó “amistosamente” a Galileo, para que dejara de “exponer sus teorías como verdades absolutas”. Fue canonizado en 1930.*

05



06



Las ejecuciones públicas eran comunes y tenían el doble efecto de eliminar a los herejes y a las “brujas”, y de asustar a la población para que se abstuviera de crímenes semejantes. Pero las torturas eran completamente secretas y pocos son capaces de imaginar las atrocidades que cometían los inquisidores, que siempre ejercían su tarea de a dos, ya que luego se confesaban mutuamente y se iban en paz. En la mayoría de los casos, las propiedades y pertenencias del ejecutado eran incautadas por la Iglesia. A las cinco y media de la mañana del 17 de febrero de 1600, Giordano Bruno fue sacado con grilletes de su celda y trasladado en un carro hasta *Campo dei Fiori*, la plaza de las flores de Roma. El camino estaba lleno de curiosos, ya que se había dado gran publicidad a la ejecución. La mayoría lo consideraba culpable de ser luterano, algo que para la gente común era sinónimo también de hereje. Como el público lo increpaba y Bruno respondía a gritos citando frases de sus libros, un carcelero le sujetó la boca con dos largas agujas que le atravesaron la lengua, los labios y las mejillas. Luego lo ataron desnudo a un poste, lo rodearon con ramas secas para evitar que se produjera humo y no muriera asfixiado “antes de tiempo”. Encendieron una antorcha entre sus pies, y así fue asado vivo en la hoguera. Era un hombre bajo y delgado, de cabello, barba y ojos oscuros. Hablaba rápido, gesticulaba mucho y tenía un carácter irascible.

¿Fin?

Nueve años después, Galileo Galilei utilizó en Venecia un nuevo y revolucionario instrumento con el que descubrió que la Vía Láctea contiene innumerable cantidad

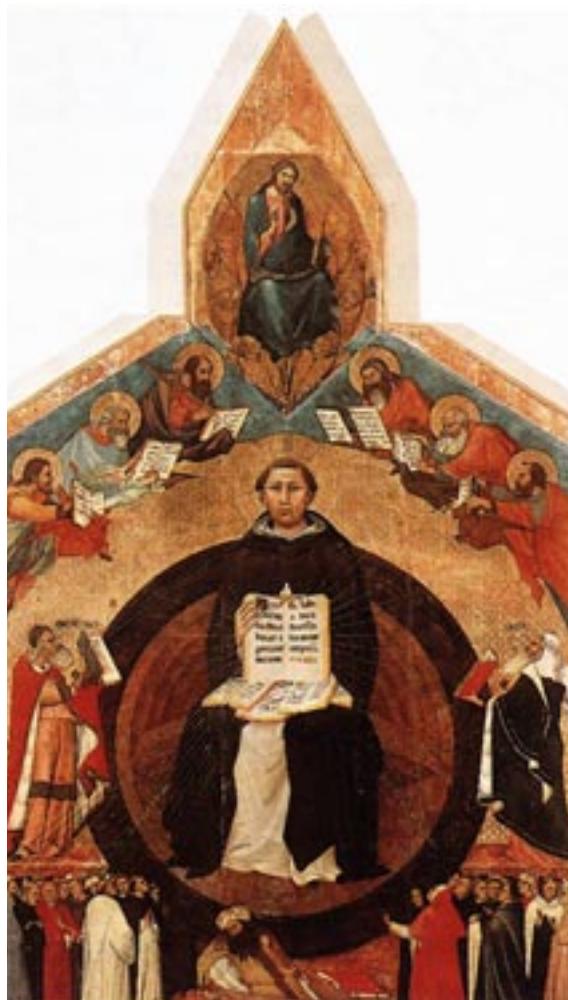
de estrellas, que Júpiter posee sus propias lunas, que el Sol y la Luna no son perfectos, y aportó pruebas contundentes a la teoría heliocéntrica y al movimiento de la Tierra.

Entre otras cosas, la ejecución de Giordano Bruno llevó a que la Inquisición incluyera el libro de las *Revoluciones de los cuerpos celestes*, de Nicolás Copérnico, en el Índice de libros prohibidos³, por considerar la teoría heliocéntrica “*estúpida y absurda en filosofía, y formalmente herética...*”, algo que afectaría también a Galileo.

Las enseñanzas de Giordano Bruno quedaron olvidadas, pero su legado sobrevivió gracias a una gran influencia sobre otros pensadores, a los que les generó más preguntas que respuestas. La Inquisición había destruido a la persona y quemado sus obras. Tras su ejecución, sus restos fueron pulverizados a martillazos y sus cenizas, esparcidas al viento. Sus átomos pasaron a formar parte del aire, del agua, del suelo, de otros seres vivos. Según su propia creencia, Giordano Bruno se había renovado, cambiando y alterando sus partes.

“El tiempo lo da y lo quita todo; todo cambia, pero nada perece”. ■

07



“Giordano Bruno imaginó que flotaba por encima de la Tierra, y que mientras se acercaba a la Luna, esta se volvía más grande y nuestro planeta se empequeñecía. Desde la superficie lunar, la Tierra parecía un satélite. Yendo más allá, imaginó a la Tierra y a la Luna vistas como dos puntitos de luz desapareciendo en la noche infinita”.

Notas

Las citas textuales son extractos de libros de Giordano Bruno, pero han sido “recortadas” y “pegadas” con fines prácticos de edición. Elegimos casi exclusivamente las que parecen tener que ver con la astronomía, pero en la mayoría de sus obras, sus ideas son más esotéricas que científicas, basadas más en sus intuiciones que en las experiencias.

1 La escolástica es una doctrina impuesta por el cristianismo en la Europa occidental entre los siglos XI y XV que, buscando un respaldo intelectual, tomó de los filósofos de la Antigüedad, principalmente, de Aristóteles, el modo de explicar la naturaleza, e intentó combinarlo con las creencias católicas, poniendo por delante la fe sobre las demostraciones de la razón, el empirismo, la ética y la cosmología. Lamentablemente, Aristóteles había errado en casi todos los conceptos filosóficos de la naturaleza. Así, la ciencia permaneció también tallada en piedra durante siglos.

2 La teoría heliocéntrica de Nicolás Copérnico no había

05 “El proceso de Giordano Bruno”, en un relieve de bronce del escultor Ettore Ferrari que se encuentra en la base del monumento en el Campo dei Fiori, en Roma.

06 “La quema de Giordano Bruno”, otro relieve de bronce de Ettore Ferrari en la base del monumento en el Campo dei Fiori.

07 En esta pintura del italiano Lippo Memmi, del siglo XIV, se representa el “Triunfo de Santo Tomás de Aquino”, uno de los padres de la escolástica.

sido prohibida, no solo porque no había llamado tanto la atención hasta Bruno y Galileo, sino porque el libro había sido publicado con un prólogo escrito anónimamente por Osiander, el imprentero, en el que anunciaba que lo que venía a continuación era una mera hipótesis y que no tenía por qué ajustarse a la realidad. Copérnico no lo autorizó, pero cuando se terminó de editar el libro el astrónomo polaco ya estaba en su lecho de muerte. Tanto las autoridades eclesiásticas como los astrónomos (Galileo y Kepler, entre otros) sabían que el prólogo era apócrifo. Giordano Bruno lo calificó de "epístola sobrante, añadida por algún asno ignorante y presuntuoso", y se dio cuenta de que la obra y el prólogo eran producto de autores diferentes.

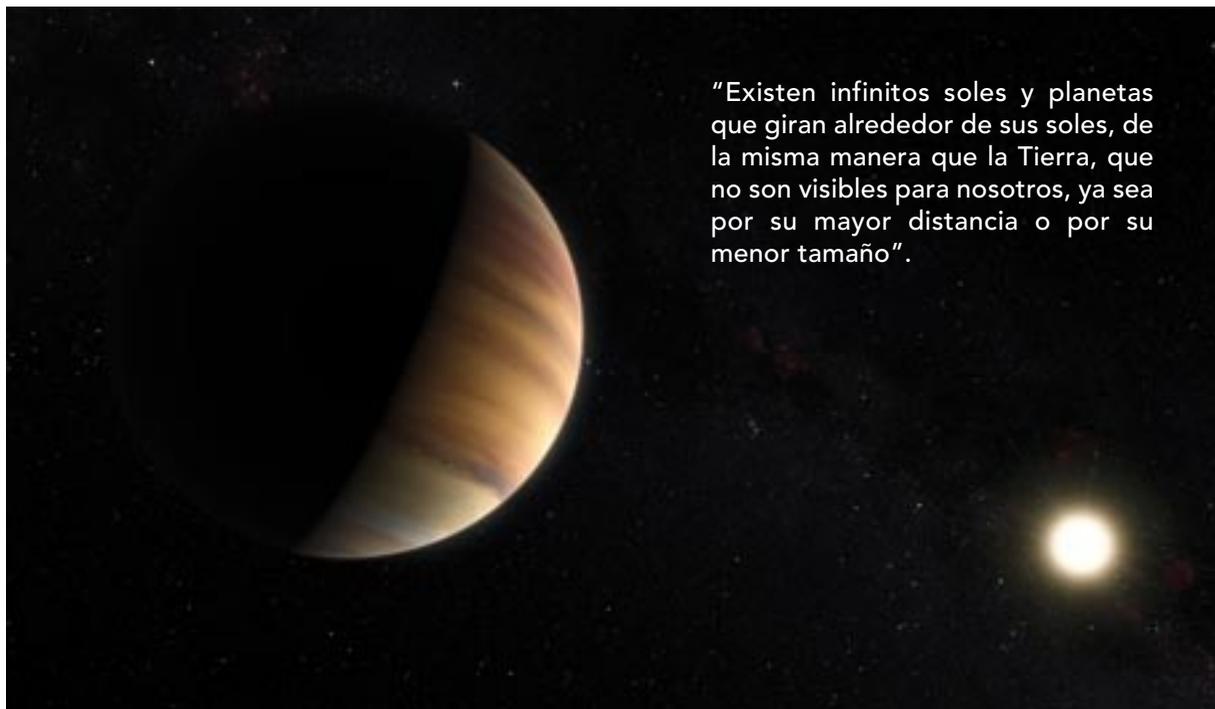
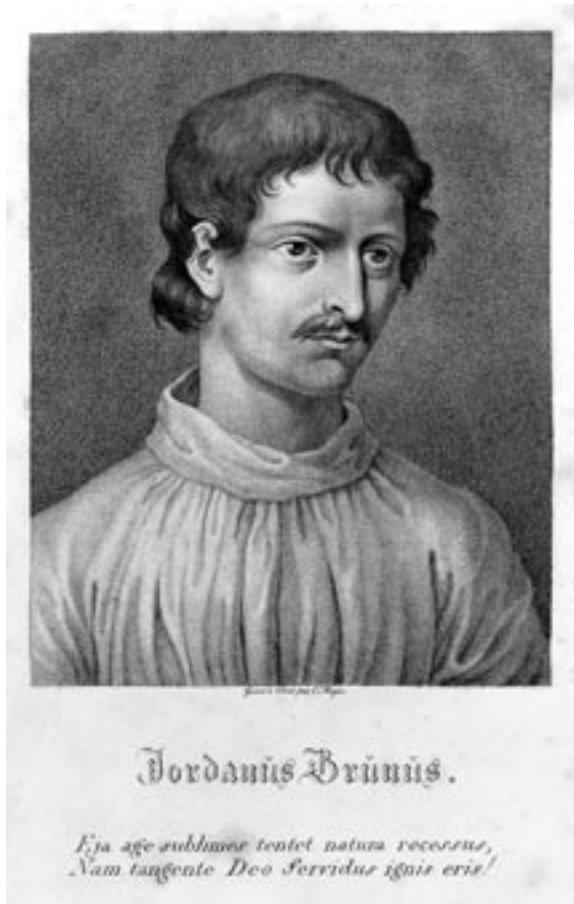
3 La última lista de libros prohibidos fue publicada en 1948 y aún incluía las obras de Giordano Bruno y de Voltaire, entre otros.

Bibliografía

Bruno, G. Expulsión de la bestia triunfante.
 Bruno, G. La cena de las cenizas.
 Bruno, G. Sobre el infinito universo y los mundos.
 Clark, S. Bajo el cielo nocturno.
 Toulmin, S. y Goodfield, J. La trama de los cielos.
 Abetti, G. Historia de la astronomía.
 Asimov, I. Historia del telescopio.
 Beltrán Marí, A. Galileo, ciencia y religión.
 White, M. Giordano Bruno, el hereje impenitente.
 Strathern, P. El sueño de Mendeléiev.
 Gribbin, J. Historia de la ciencia (1543-2001).
 Koestler, A. Los sonámbulos.
 de Regules, Sergio. El renovador involuntario. Nicolás Copérnico.
 Kuhn, T. S. La estructura de las revoluciones científicas.
 Reale, G. y Antiseri, D. Historia del pensamiento filosófico y científico.
 Sagan, Carl. Cosmos.
 Serie de T.V. "Cosmos, una odisea del espacio-tiempo", de Neil deGrasse Tyson. Capítulo 1: "De pie en la Vía Láctea".

08 Retrato aparecido en el libro "Opere di Giordano Bruno", de Adolfo Wagner, de 1830.

08



"Existen infinitos soles y planetas que giran alrededor de sus soles, de la misma manera que la Tierra, que no son visibles para nosotros, ya sea por su mayor distancia o por su menor tamaño".

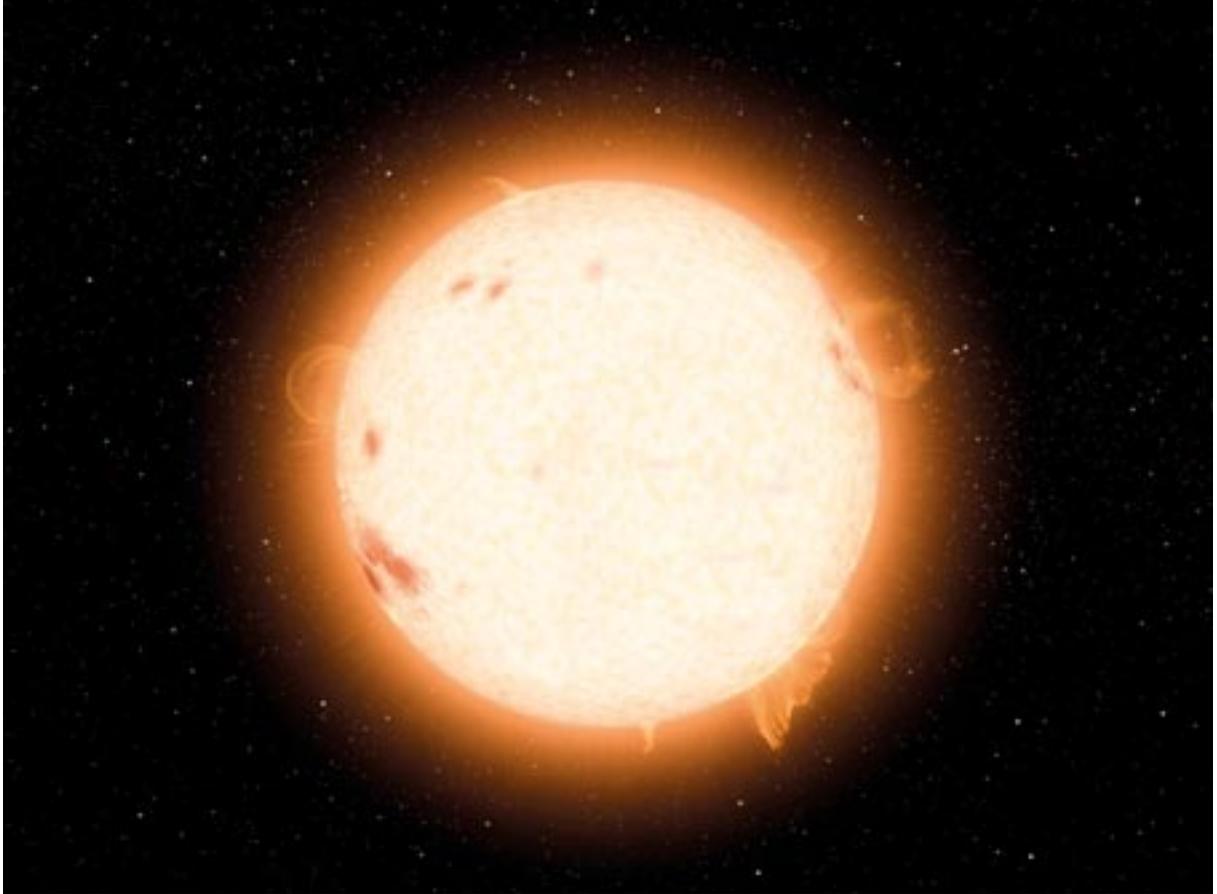
El curioso caso de HD 143436

LA GEMELA DEL SOL

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

01

NASA/JPL-Caltech



Los aniversarios, especialmente cuando son “redondos”, son siempre útiles para darle una nueva vuelta de rosca a cualquier temática. Y la astronomía no es la excepción, incluso cuando se trata de aniversarios de sucesos no tan lejanos y contemporáneos a casi todos nosotros. Dice el tango que “veinte años no es nada”, y veinte años es, justamente, el tiempo que nos separa de un muy relevante hallazgo científico: la medición e identificación de la estrella más parecida al Sol conocida hasta ahora.

Es una modesta estrella blanco-amarillenta situada a unos 140 años luz del sistema solar. Desde la Tierra no es posible verla a ojo desnudo, pero sí podemos rescatarla con la ayuda de un pequeño telescopio, perdida en un rincón de la constelación de *Serpens*. Hasta comienzos de este siglo, nadie le había prestado mucha atención. Al igual que tantísimas otras estrellas, no era más que un simple puntito en los mapas celestes, apenas identificado con una seca entrada de catálogo: HD 143436. Sin embargo, una serie de finas

observaciones publicadas en 2005 -y ratificadas hasta el día de hoy- revelaron algo asombroso: esa estrella es una copia casi perfecta del Sol. Y eso, lógicamente, la hace sumamente especial.

01 Ilustración artística de la estrella HD 143436.

Un antecedente: 18 Scorpii

La Vía Láctea tiene entre 200 y 400 mil millones de estrellas. Cerca del 80 % son **enanas rojas**, el escalafón estelar más bajo de la naturaleza. Entre el 10 y el 20 % restante corresponde a soles de escala chico-mediana, más o menos parecidos al nuestro. Finalmente, hay una absoluta minoría (menor al 1 %) de estrellas verdaderamente inmensas, supermasivas y brutalmente calientes y luminosas. Son soles blanco-azulados, o decididamente azules, con 10, 20, 30 o más veces la masa del nuestro, varios millones de km de diámetro y temperaturas superficiales en el rango de los 15.000 °C a 40.000 °C.

Volviendo a ese nada despreciable 10 a 20 % de estrellas de tipo solar, desde comienzos del siglo pasado los astrónomos fueron identificando unas cuantas aceptablemente parecidas al Sol, tanto en tamaño como en masa, temperatura y luminosidad (parámetros físicos vinculados entre sí). Un caso sobresaliente es el de *18 Scorpii*, una estrella blanco-amarillenta apenas observable a simple vista (magnitud 5,5) en la constelación de Escorpio. Varios estudios espectrales (aquellos basados en el análisis detallado de la luz emitida por la estrella) revelaron que *18 Scorpii* tiene tamaño, masa, temperatura y luminosidad muy semejantes al Sol. De hecho, su tipo espectral es el mismo: G2. Hasta se parecen en sus edades: la estrella de Escorpio tiene 4200 millones de años, es decir, es “solo” 400 millones de años más joven que la nuestra. Todos estos datos (y otros más sutiles) hacen que, aún hoy, *18 Scorpii* siga siendo considerada una muy aceptable “imitación” de nuestra estrella. Pero hace dos décadas los científicos nos revelaron el perfil de una “copia” aún mejor.

Con ustedes... HD 143436

Viajemos en el tiempo hasta comienzos de 2005. Por entonces, un equipo de astrónomos estadounidenses, encabezados por el Dr. Jeremy King (Profesor del Departamento de Física y Astronomía de la Universidad Clemson, en Carolina del Sur. EE.UU.), clavó la mirada en HD 143436, una estrella blanco-amarillenta situada a 142 años luz del sistema solar. En los cielos de la Tierra podemos ubicarla en el tramo occidental de la constelación de *Serpens* (la Serpiente), conocido como *Serpens Caput* (Cabeza de la Serpiente). Y, si bien no es un astro que podamos ver a simple vista, su modesta magnitud 8 alcanza para poder verla con un telescopio chico e, incluso, con unos buenos binoculares.

Volviendo a King y sus colegas, ya sabían que, por su color, tipo espectral y luminosidad, HD 143436 era una estrella parecida al Sol. El tema, justamente, era determinar con más precisión el grado de semejanza. Para eso utilizaron uno de los mejores telescopios del mundo: el Keck I, uno de los dos colosos de 10 metros de diámetro (el otro es el Keck II) del Observatorio de Mauna Kea, Hawái. Con semejante instrumento óptico, bajo un cielo privilegiado tanto en oscuridad como transparencia, más el auxilio de uno de los mejores espectrógrafos de alta

“A 142 años luz de aquí, la estrella HD 143436, en la constelación de Serpens, es la más parecida al Sol que conocemos, en color, temperatura, tipo espectral, luminosidad, tamaño, masa, edad y elementos químicos”.

resolución del planeta, estos detectives astrofísicos “diseccionaron” la luz emitida por HD 143436 como nunca antes. Y así trazaron un exquisito, inédito y sorprendente perfil de la estrella. Veamos...

Hilando fino

Los principales resultados de la investigación, publicados en noviembre de 2005 en el prestigioso *The Astronomical Journal*, fueron los siguientes: la *magnitud absoluta* de HD 143436 (su luminosidad real, más allá de la aparente, que es producto de la distancia) es 4,87. La del Sol es 4,83. Casi calcada. Vamos ahora a las temperaturas: 5768 °K (5495 °C), contra los 5777 °K (5504 °C) del Sol. Otro calco. Sobre estos datos pudo calcularse la masa de la estrella: $1,01 \pm 0,02$ masas solares. Y también su diámetro: las dos miden casi 1,4 millones de km.

¿Más similitudes con el Sol? Las hay. Según los mismos expertos, la “receta” química de ambas estrellas es esencialmente la misma: el 73 % de sus masas es hidrógeno; el 25 %, helio; y el 2 % restante corresponde a elementos pesados. Sobre este último punto, y ya hilando más fino, parece que HD 143436 y el Sol tienen la misma proporción de hierro: 0,14 % de su masa. A primera vista, puede parecernos poco y nada, pero ese “poquito” de hierro (en forma gaseosa, por supuesto), equivale a más de 300 veces la masa de la Tierra. Por otra parte, el porcentaje de hierro en las estrellas de tipo solar es un dato nada menor, porque parece estar directamente asociado a las chances de tener planetas *sólidos* a su alrededor (no olvidemos que los núcleos de la Tierra, Mercurio, Marte y Venus son, más que nada, “bolas de hierro” de miles de km de diámetro). Por eso mismo, la proporción estelar de este metal es de particular interés para la astronomía exoplanetaria.

¿Y las diferencias? La única verdaderamente significativa es la edad: HD 143436 es apreciablemente más joven que el Sol: 3800 millones de años, contra los 4600 millones de años solares, un 18 %.

A la luz de todo lo anterior, no resulta nada sorprendente que, tras trazar el identikit astrofísico de esta estrella de la constelación de Serpens, el Dr. Jeremy King y su equipo fueron bien claros: “*Sin lugar a dudas, la estrella HD 143436 puede ser considerada una gemela del Sol*”.

¡A buscarla en el cielo!

A esta altura resulta sumamente tentador querer verla, ¿no? Pues bien, aquí están las coordenadas celestes para buscar esta estrellita blanco amarillenta de magnitud 8, con la ayuda de un telescopio pequeño; incluso, hasta con binoculares 10x50 en cielos oscuros. AR: 16 h 00 m 19 s / Dec: + 00° 08' 13”.

Para facilitar aún más la tarea y despejar todo tipo de

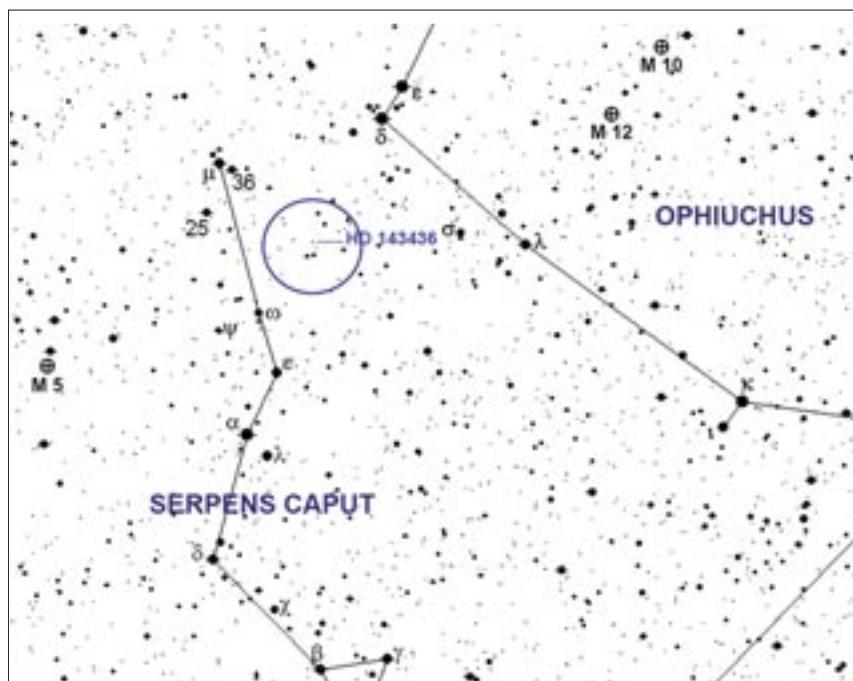
dudas (o confusión con alguna otra estrella), aquí les dejamos un mapa celeste de esa zona del cielo, con la posición de HD 143436 claramente marcada.

Perspectivas

La observación astronómica siempre es mucho más profunda, interesante y disfrutable cuando realmente sabemos qué estamos mirando y cuál es su contexto en el universo. Una galaxia puede presentarse en el ocular del telescopio como una simple “manchita”, apenas discernible en forma y detalles. Sin embargo, cuando conocemos su distancia, su tamaño real y entendemos todas sus complejidades, la experiencia cobra otra dimensión. Con las estrellas pasa algo muy similar: podemos ver solo un

02

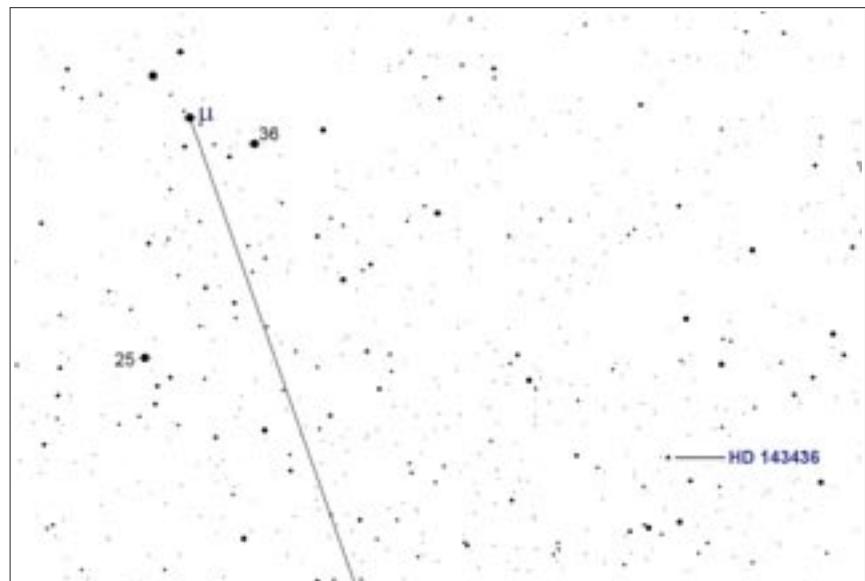
SkyMap



02 Mapa celeste de 20 grados de campo de la región donde se encuentra la estrella HD 143436, en la constelación de la Serpiente (cabeza), al lado de Ofiuco. Las coordenadas son AR: 16 h 00 m 19 s / Dec: + 00° 08' 13”. Las letras griegas (denominación utilizada en el catálogo de Bayer) corresponden a las estrellas más brillantes de ambas constelaciones, todas visibles bajo cielos oscuros y a simple vista. También aparecen en la zona tres importantes cúmulos globulares: M 5, M 10 y M 12, visibles incluso con binoculares desde el campo.

03

03 Mapa celeste de 5 grados de campo para localizar la estrella HD 143436 con un telescopio de aficionado. Hay que partir desde la estrella Mu (μ), que se puede ver a simple vista bajo cielos oscuros, e ir haciendo un “camino” con las estrellas menos brillantes, hasta llegar al objetivo. Las estrellas con los números de catálogo 36 y 25 pueden servir también como guías.



SkyMap

04



“puntito”, o podemos ver un formidable sol rojo, anaranjado, amarillento, blanco o azul, extremadamente atenuado en tamaño y luminosidad por abismos espaciales de decenas, cientos o miles de años luz. Y esta no es la excepción: buscar, encontrar y dedicar unos minutos a la observación de HD 143436 es mucho más que ver al pasar una “lucecita” blanca ligeramente amarillenta. Es estar frente a frente con la mejor “copia” del Sol que conocemos hasta ahora. Ni más ni menos.

Esta nota podría haber terminado ahí. Pero hay algo que queda picando. Un concepto “capicúa” casi implícito, pero que sería una pena dejarlo pasar: la *otra* perspectiva. Al observar HD 143436 con nuestro telescopio, vemos

esencialmente lo mismo que veríamos desde *allá*, a 142 años luz de distancia, mirando para *acá*. Nuestro Sol, formidable, cegador y todopoderoso, reducido a un “puntito” de luz blanco amarillento. Así de simple, así de fascinante. Se llama astronomía. ■

04 *Telescopios Keck 1 y 2, del Observatorio de Mauna Kea, Hawái. Con el primero se encontraron los datos para trazar el perfil de HD 143436, la estrella más parecida al Sol conocida.*

05 *Ilustración artística de la estrella HD 143436, con planetas rocosos a su alrededor.*

05

NASA

“La receta química de ambas estrellas es la misma: 73 % hidrógeno; 25 % helio; 2 % elementos pesados. HD 143436 y el Sol tienen la misma proporción de hierro: 0,14 %, lo que podría estar asociado a las chances de tener planetas sólidos a su alrededor”.



Con participación argentina

UNA NUEVA ERA DE LA ASTRONOMÍA

Autor: *Facundo Rodríguez, Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE). (facundo.rodriguez@unc.edu.ar).*

01



Vera C. Rubin Observatory/NSF/DOE

El 23 de junio, el Observatorio Vera C. Rubin, poseedor de la cámara LSST¹, la más grande del mundo, mostró el primer conjunto de imágenes realizadas desde que comenzaron sus operaciones científicas. Está ubicado en el Cerro Pachón, al norte de Chile, y funciona mediante un proyecto internacional con base estadounidense (NSF²/DOE³). Argentina tiene una participación activa a través de investigadores, astrónomos, físicos y programadores de Córdoba, San Juan, La Plata, San Martín, Hurlingham y Buenos Aires, desde la programación hasta la operación y el análisis de datos. El IATE (Universidad Nacional de Córdoba-CONICET) coordina esta participación y asegura la colaboración efectiva entre diferentes instituciones y grupos de investigación.

A más de 2600 metros de altura, en los cerros del norte de Chile, un nuevo ojo gigante acaba de abrirse al universo. Es el telescopio Vera C. Rubin, el más avanzado de su tipo. Recibe su nombre en honor a una astrónoma estadounidense que fue pionera en la evidencia de la materia oscura. Recientemente, captó sus primeras imágenes de prueba, una señal clara de que una nueva era para la astronomía ha comenzado.

Este observatorio ha comenzado un censo del cielo que durará una década, y escaneará todo el firmamento visible cada tres noches con una cámara de 3200 megapíxeles, la más grande jamás construida. Cada imagen abarcará un área equivalente a 40 veces el tamaño de la Luna llena, y revelará detalles invisibles hasta ahora de galaxias distantes, asteroides cercanos y fenómenos cósmicos impredecibles.

“Este observatorio ha comenzado un censo del cielo que durará una década, con una cámara de 3200 megapíxeles, la más grande jamás construida. Cada imagen abarcará un área equivalente a 40 veces el tamaño de la Luna, y revelará detalles de galaxias, nebulosas, asteroides, cometas y fenómenos cósmicos impredecibles”.

Participación argentina

Desde Córdoba, el Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE) acompaña este momento histórico como miembro de este observatorio, asegurando que Argentina esté presente y activa en esta exploración sin precedentes del cosmos. El proyecto del Observatorio Vera C. Rubin es una iniciativa internacional de enorme escala, en la que participan miles de personas alrededor de todo el planeta. Unidos por el objetivo común de comprender mejor el universo, estos equipos trabajan desde diversas instituciones para planificar, construir, operar y aprovechar científicamente uno de los instrumentos más ambiciosos en la historia

de la astronomía.

La coordinación del grupo argentino que participa de este esfuerzo global está a cargo del Dr. Mariano Domínguez Romero. El IATE, con décadas de trayectoria en investigación astronómica, ha sido clave para posicionar al país dentro de este ambicioso proyecto. En particular, participa en el desarrollo de software para la cámara del Observatorio Rubin, como parte del grupo internacional. Este trabajo es llevado adelante desde Argentina por Carolina Villalón y Marco Rocchetti, quienes forman parte del equipo de personal de apoyo del IATE, desarrollan herramientas fundamentales y trabajan en los sistemas de control y adquisición de la cámara, bajo la coordinación del investigador Dante Paz. Las “primeras luces” captadas no son solo una prueba técnica superada: son la confirmación de que el sistema funcionará como se esperaba y es la puerta de entrada a nuevas oportunidades para la ciencia argentina.

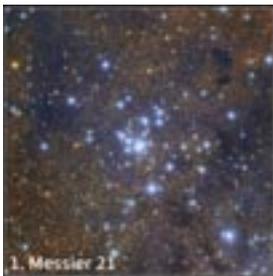
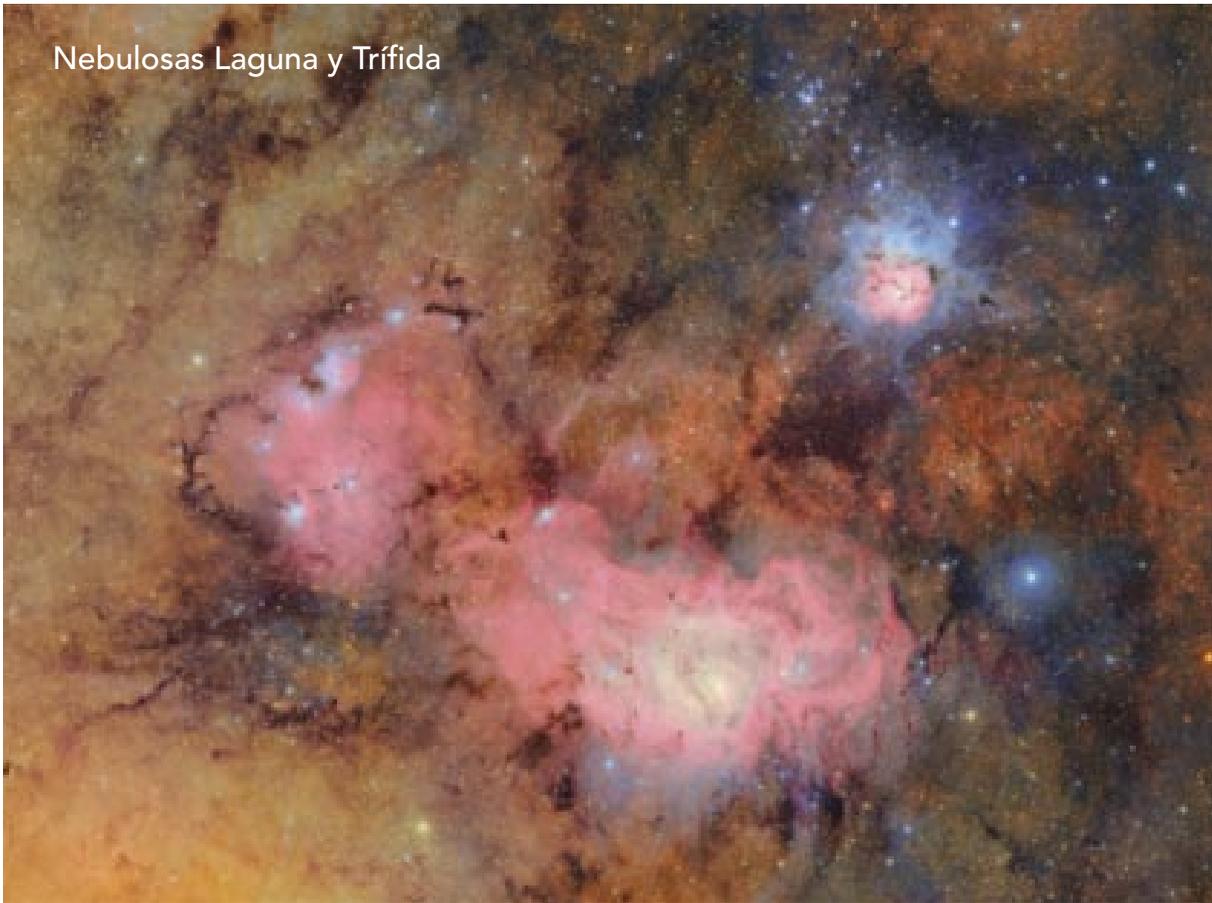
Lo que distingue esta participación es que el Instituto no se limita a observar. Está desarrollando herramientas del Observatorio que permitirán a la comunidad astronómica nacional acceder de primera mano a un volumen de información sin precedentes. Mientras el telescopio se prepara para comenzar sus operaciones regulares, los equipos del IATE ya trabajan en sistemas de la cámara y de análisis de datos que buscarán desde rastros de la esquiva materia oscura hasta asteroides que podrían representar riesgos potenciales de impacto para la Tierra.

Pero la importancia de todo este trabajo va más allá del conocimiento científico. Este proyecto está formando una nueva generación en astronomía y ciencia de datos en Argentina, capacitada en técnicas de vanguardia con aplicaciones que trascienden la astronomía y ciencias afines. Las habilidades necesarias para procesar esta avalancha de información cósmica (equivalente a 20 terabytes cada noche) se proyectan también en áreas como la inteligencia artificial, el diagnóstico por imágenes médicas y la predicción de eventos climáticos, entre otras.

Las imágenes obtenidas en los primeros días son solo el prólogo de lo que vendrá. Cuando el Observatorio Vera Rubin inicie su cartografiado completo del cielo, cada noche podrá revelar misterios fundamentales del universo que aún desafían nuestras teorías. Gracias al trabajo sostenido del IATE, investigadores y estudiantes de todo el país tendrán acceso directo a estos descubrimientos, asegurando que Argentina no solo observe el futuro de la astronomía, sino que ayude a construirlo diariamente.

Para la ciencia nacional, este es un momento decisivo. Las capacidades desarrolladas a través de esta colaboración internacional posicionan al país en la primera línea de la investigación astronómica global para las próximas décadas, mostrando que el talento argentino no reconoce fronteras. ■

Nebulosas Laguna y Trífida



Nebulosas Laguna y Trífida

Estas “primeras luces” captadas durante las pruebas del telescopio Vera Rubin y su cámara, revelan detalles sin precedentes de las nebulosas Laguna y Trífida, formadas por nubes densas de hidrógeno ionizado, que irradian un característico resplandor rosado, mientras las estrellas jóvenes, masivas y calientes perforan el polvo interestelar con su luz. Es el resultado de la combinación de 678 imágenes, con un campo de visión extremadamente amplio, durante siete horas de observación, para revelar detalles que, de otro modo, serían invisibles o muy tenues. El Vera Rubin, hasta ahora, es el único observatorio capaz de producir imágenes de áreas tan amplias en tan poco tiempo.

La nebulosa rosada del centro de la imagen principal es la Laguna (Messier 8), a 4000 años luz de nosotros, y por encima y a la derecha, la rosada rodeada de celeste es Trífida (Messier 20), a 5200 años luz. Justo arriba de Trífida aparece el cúmulo estelar abierto M 21; y por debajo, Bochum 14, otro cúmulo abierto. Ambos albergan estrellas formadas recientemente, hace menos de 10 millones de años. Abajo, casi en el medio, aparece un cúmulo globular: NGC 6544. Todo esto se encuentra en la constelación de Sagitario y está también al alcance de telescopios de aficionados.



“Las ‘primeras luces’ captadas confirman que el sistema funcionará, y es la puerta de entrada a nuevas oportunidades para la ciencia argentina”.



Cúmulo de galaxias de Virgo

Otro hit fue el cúmulo de galaxias de Virgo, con esta imagen de 5 grados de campo centrada en las galaxias M 49 (la elíptica, arriba, a 56 millones de años luz) y NGC 4365 (a 60 millones de años luz). En la página 50 se observa una ampliación de lo que quedó por “debajo” de esta imagen, y está centrada en la galaxia NGC 4261, con una innumerable cantidad de galaxias satélites que interactúan con ella. Junto con la zona de las nebulosas Trífida y Laguna, fueron el principal anticipo que mostró el Observatorio Vera C. Rubin. Pero además detectó más de 10 millones de galaxias en un solo sector del cielo, muchas jamás observadas, y 2104 asteroides nuevos en solo 10 horas.

Se trata de un momento histórico para la astronomía mundial, en lo que representará un salto tecnológico y científico importantísimo. El Observatorio Rubin estudiará la materia oscura y la energía oscura, la evolución de las galaxias, la estructura de la Vía Láctea, supernovas, estrellas variables, nebulosas y hasta cometas y asteroides cercanos a la Tierra. Este proyecto involucra a más de 1500 científicos de unos 30 países y promete revolucionar la astronomía, ya que generará una cantidad de información sin precedentes. Sus imágenes y datos serán públicos, con alertas inmediatas para la comunidad científica global. Estas son solo las “primeras luces” de una revolución astronómica. ¡Lo mejor está por llegar!



Notas

1 Cámara LSST: Legacy Survey of Space and Time.

2 (NSF) Fundación Nacional de la Ciencia, EE. UU.

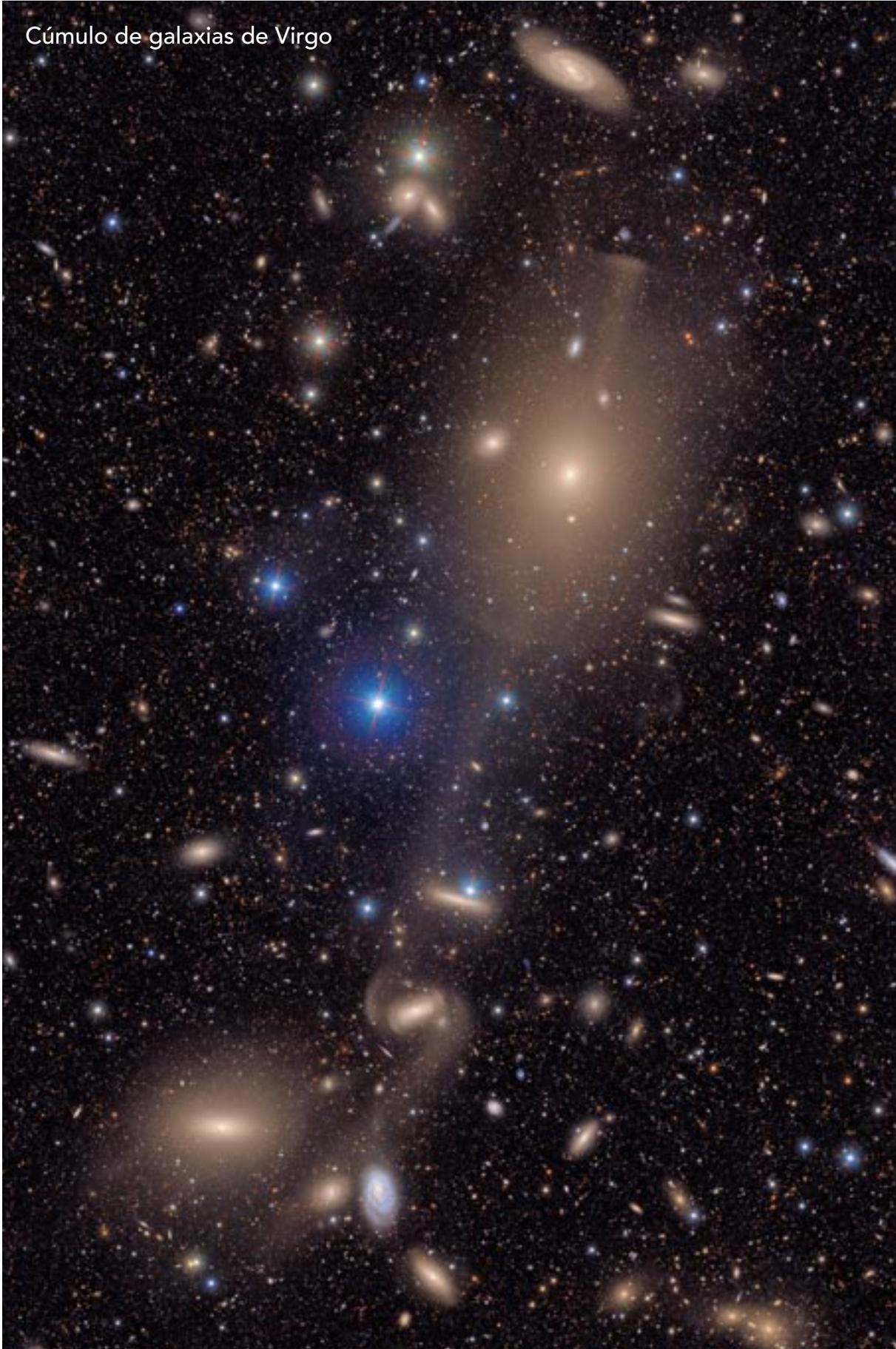
3 (DOE) Departamento de Energía, EE. UU.

Para obtener información e imágenes:

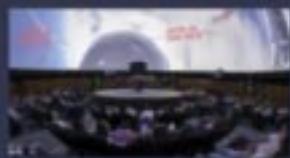
<https://rubinobservatory.org/es>

01 y 02 *La cúpula en la cumbre del cerro Pachón, al norte de Chile, a 2600 metros de altura, que alberga el Telescopio de Investigación Simonyi, de 8,4 metros distribuidos en tres espejos, y la cámara digital LSST, las piezas fundamentales del flamante Observatorio Vera C. Rubin.*

Cúmulo de galaxias de Virgo



Vera C. Rubin Observatory/NSF/DOE



▶ Espectáculos inmersivos

Funciones astronómicas para todo público y para público infantil. Video arte en el domo.



▶ Visitas guiadas

Recorrido por el museo y la plaza astronómica.



▶ Telescopios

Sábados y domingos al ocultarse el Sol. Actividad gratuita por orden de llegada, con cupo de 250 personas. SE SUSPENDE POR NUBOSIDAD O LLUVIA.



▶ Encuentros de ciencia

Científicos, especialistas y divulgadores comparten conocimientos en el domo del Planetario.



▶ Cursos

Para niños, adolescentes, jóvenes y adultos.



▶ Planetario accesible

Propuestas adaptadas para grandes y chicos.



▶ Planetario itinerante

Visitamos escuelas y otras instituciones.



▶ Club del Cosmos

Comunidad virtual para adolescentes.



CONFERENCIA INTERNACIONAL

Reunión de la International Planetarium Society (IPS)

BUENOS AIRES 2028

