

SI MUOVE

NÚMERO 23 - INVIERNO 2022



En Movimiento

Espectáculo de divulgación astronómica para público en general

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

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



PLANETARIO
Galileo Galilei - Buenos Aires



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires

SI MUOVE

NÚMERO 23 - INVIERNO 2022

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

STAFF

EDITORIA RESPONSABLE
VERÓNICA ESPINO

DIRECTOR PERIODÍSTICO
DIEGO LUIS HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE ARTE Y DISEÑO
ALFREDO MAESTRONI

SECRETARIO DE REDACCIÓN
MARIANO RIBAS

REDACTARON PARA ESTA EDICIÓN
CINTIA PERI
CARLOS DI NALLO
FACUNDO RODRÍGUEZ
GUILLERMO ABRAMSON
GABRIEL BENGOCHEA
ADOLFINA GARCÍA ZAVALÍA
SANDRA COSTA

COLABORACIONES
Franco Meconi, Juan Manuel Damperat,
Carlos Di Nallo, Eric González, Jaime García,
Diego Toscán, Ignacio Díaz Bobillo,
Víctor Bibé, Andrea Anfossi, Pablo Laise.

AGRADECIMIENTOS
UNLP, Observatorio Gemini, Gerald
Rhemann, Daniele Gasparri, Thomas
Lehmann, NASA.

CORRECCIÓN
Walter Germaná, Natalia Jaoand.

FOTO DE TAPA
Verónica Espino

ISSN 2422-8095

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



Ministerio de Educación

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



Andrea Anfossi

EDITORIAL

El lunes 13 de junio celebramos un nuevo aniversario de nuestro Planetario, y estamos felices de poder festejarlo con una nueva edición de la revista SI MUOVE.

El Planetario Galileo Galilei cumple 55 años de trabajo comprometido con la ciencia, que lo posicionan como un referente al que recurrir ante distintas instancias de la vida, y este tiempo transcurrido nos lleva a reflexionar sobre nuestra historia y nuestro futuro. Somos divulgadores más que ninguna otra cosa, y todas las acciones que realizamos apuntan a este objetivo que abordamos con la mayor rigurosidad posible.

El público siempre es muy receptivo ante nuestras variadas propuestas, ya sean cursos, talleres, conferencias, observación por telescopios o, como en este caso, la publicación impresa y virtual de nuestra revista de divulgación astronómica.

Miles de personas se acercan todas las semanas a uno de los edificios más emblemáticos de la ciudad para disfrutar de la noche en pleno día, y por algunos instantes dejar el planeta Tierra para recorrer el universo.

Este año, con la normalización de actividades en salas de espectáculos, el Planetario vuelve a brillar en todo su esplendor, con nuevas funciones en la sala, con la realización de actividades especiales de observación y con la vuelta de los shows musicales con el Planetario Pulsar Fest, tanto en la sala como al aire libre.

Estamos orgullosos de ser parte de tu historia. ¡Feliz cumpleaños, Planetario!

Verónica Espino

Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

Código Spotify



Código QR



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

Carlos Di Nallo



13 Cuando el cielo tiene su arte propio

Observatorio Internacional Gemini/NOIRLab/NSF/AURA



19 Jets serpenteantes

Mariano Ribas



29 Cometa Leonard

SUMARIO

03 Editorial.

07 ¡El Sol fulgura!

13 Cuando el cielo tiene su arte propio.

19 Jets serpenteantes.

23 El nacimiento astronómico del cine.

26 El Cometa Leonard.

35 Frases astronómicas populares.

44 Las preguntas de Martita.

47 Eclipse de Luna.

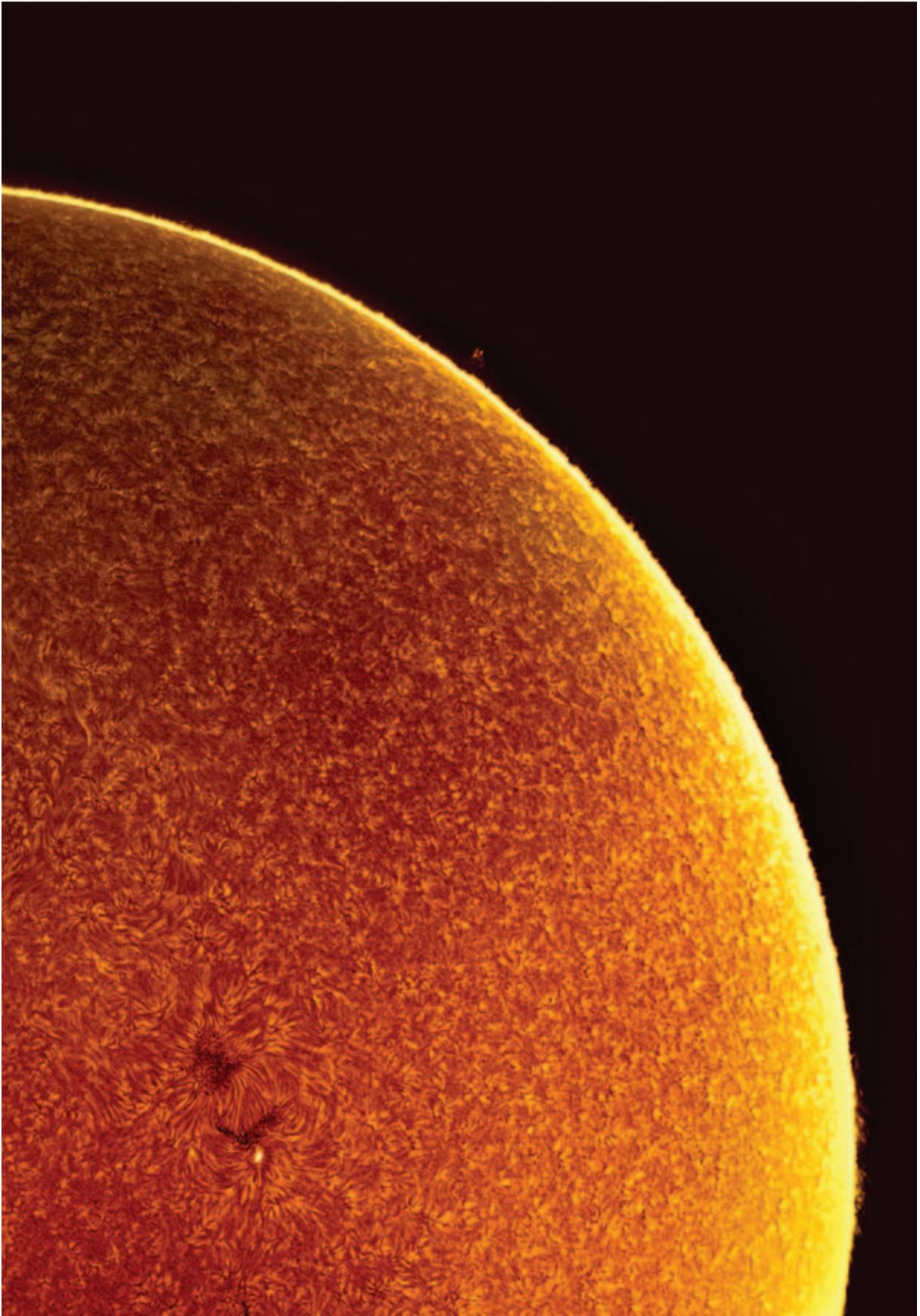


Andrea Anfossi

47 Eclipse de Luna

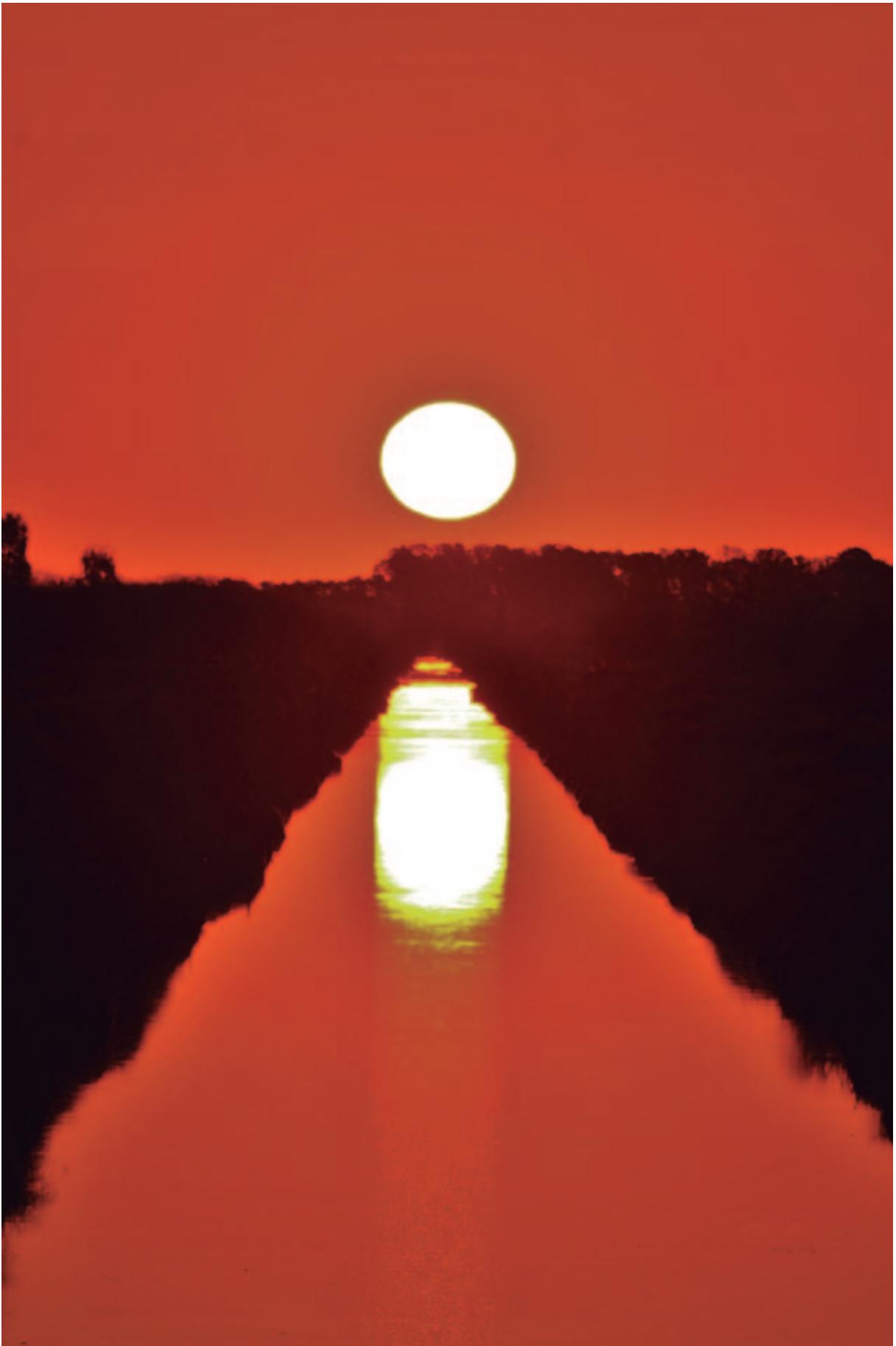
06 ¡El Sol fulgura!

Franco Meconi



01

Juan Manuel Damperat



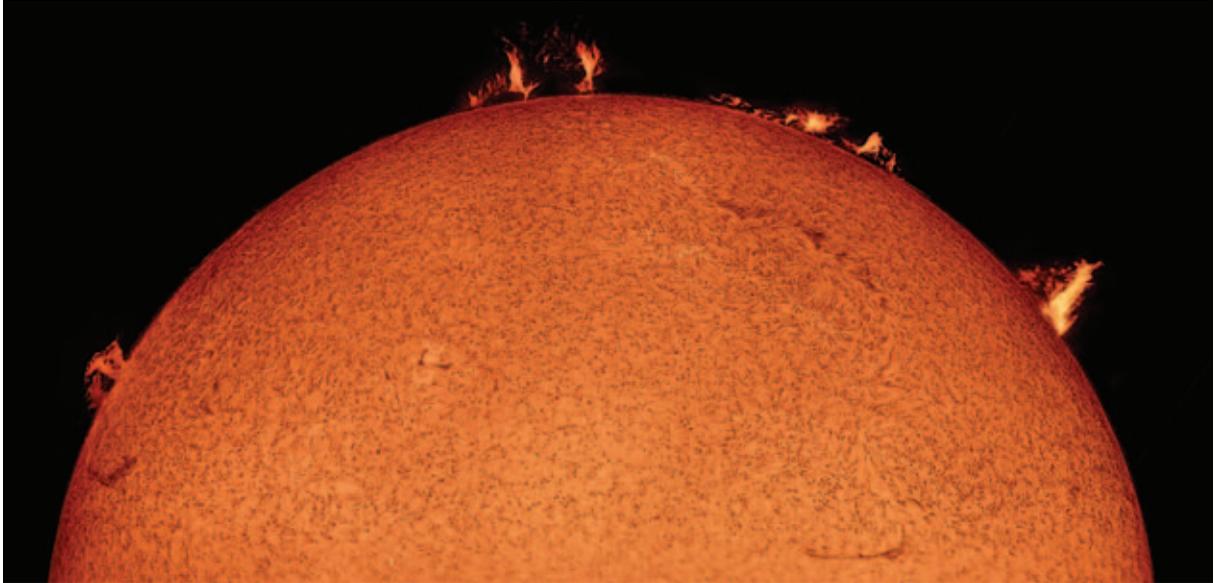
Invisible a los ojos

¡EL SOL FULGURA!

Autora: *Cintia Peri, Dra. en Astronomía, Planetario Ciudad de La Plata, UNLP, y Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.*

02

Franco Meconi



Una fulguración solar es una liberación súbita de energía acumulada en el campo magnético del Sol, que se da en la fotosfera (su parte más superficial) y, usualmente, en las regiones conocidas como manchas solares. En cuestión de minutos, el material presente en la cromósfera solar, la capa que se encuentra entre la fotosfera y la corona, se calienta a millones de grados y se produce una eyección de radiación que se manifiesta a lo largo de todo el espectro electromagnético. En estos procesos se pueden detectar ondas desde radio hasta rayos X.

Las **fulguraciones** solares se suelen clasificar en tres categorías. Las de clase X son las más intensas y de mayor dimensión espacial y pueden causar interferencias a nivel mundial en las comunicaciones en radioondas, además de tormentas de radiación en la alta atmósfera terrestre. Las de clase M son de tamaño intermedio e interfieren en las comunicaciones de forma breve, principalmente, en las regiones polares. Luego de estas fulguraciones suele haber tormentas de radiación menores en la alta atmósfera. Por último, las de clase C son las de menor intensidad y tamaño, y generan consecuencias mínimas en la Tierra.

Las fulguraciones afectan directamente la ionósfera (capa específica de la atmósfera terrestre) y las radiocomunicaciones, a la vez que eyectan partículas cargadas al espacio.

Las **erupciones** solares son eyecciones de masa coronal y son diferentes a las fulguraciones. Estas eyecciones suelen durar horas y son grandes burbujas de gas dirigidas espacialmente por las líneas de campo magnético que emergen del Sol. Aunque algunas de las erupciones solares pueden suceder junto a las fulguraciones, en ge-

neral estos dos tipos de eventos no están asociados.

Las erupciones solares tienen gran implicancia en la Tierra, razón por la cual se realiza una enorme cantidad de estudios relacionados a estos eventos. Entender estos fenómenos y poder predecirlos ayuda a comprender los efectos de la actividad solar sobre nuestro planeta. Si una eyección de masa coronal incidiera sobre la Tierra podría generar una tormenta geomagnética, es decir, una interacción entre el material proveniente del Sol y el campo magnético terrestre. Una tormenta de este tipo y de gran magnitud puede causar, entre otras cosas, cortes de luz y daños en las comunicaciones satelitales. Las partículas arrastradas en las eyecciones de masa coronal pueden llegar a dañar equipos electrónicos, astronautas y hasta personas que viajen en aviones.

Ahora bien, no siempre se conoció el Sol con tanto detalle, y tampoco se conocía en profundidad la naturaleza

01 *El Sol sin ningún filtro más que la atmósfera terrestre, tal como lo perciben nuestros ojos, en un atardecer en Yamay, Pardo, provincia de Buenos Aires.*

de la luz. Hace siglos, por supuesto, no se observaba el universo con la tecnología actual. Remontémonos, entonces, hacia atrás en el tiempo.

Lo que los ojos no ven: el espectro electromagnético

El ser humano comenzó a explorar los astros que veía brillar en el cielo mucho antes de definir en forma teórica lo que es la luz. Durante el siglo XIX, gracias a la teoría de la electrodinámica, se pudieron vincular fenómenos físicos que hasta ese momento se consideraban independientes: la electricidad, el magnetismo y los fenómenos luminosos. Se comprendió entonces que la luz es una onda electromagnética que se propaga en el vacío con una velocidad de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo (km/s). Si viajáramos a esa velocidad desde La Quiaca hasta Ushuaia tardaríamos ¡2 centésimas de segundo!

La luz, además de interpretarse como una onda, puede asociarse también a un conjunto de partículas llamadas fotones (individualmente, fotón). Pero ya sea que se interprete como una onda o como una partícula, estará caracterizada por una longitud de onda determinada o, equivalentemente, frecuencia. La longitud de onda es la distancia que existe entre dos picos de una onda. Cuanto más grande sea la distancia entre picos, menos energía transportará esa onda. La frecuencia es la cantidad de veces que se repite un ciclo de la onda en un segundo.

Con los avances en los experimentos, modelos y teorías, se pudo comprender de manera completa lo que se conoce como espectro electromagnético. El espectro abarca todos los valores posibles de energía que la radiación electromagnética puede tener. El rango visual del espectro es lo que nuestros ojos pueden ver, una parte muy pequeña del total, y es lo que solemos llamar luz. El espectro elec-

tromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma, pasando por los rayos X, la radiación ultravioleta, la luz visible (lo que ven nuestros ojos), la radiación infrarroja, de microondas, hasta las de mayor longitud de onda, las ondas de radio.

Ahora bien, ¿cómo se genera la luz? Existe una gran cantidad de procesos físicos que producen fotones de diferentes energías. Estos procesos se dan en muchos objetos tanto en el espacio como en la Tierra y en seres vivos como inanimados. La astronomía y ciencias afines estudian, entre otras cosas, la radiación que llega desde diferentes lugares del universo. A través de observaciones, análisis, modelos y teorías, se deduce cuál es el tipo de objeto que origina la radiación y los procesos que la generan.

Las observaciones astronómicas se realizan desde hace miles de años. Antiguamente, se confeccionaban registros a simple vista sin utilizar ningún tipo de detector más que el ojo humano. Esto limitaba las observaciones al rango visual del espectro electromagnético al no existir ningún otro tipo de detector en otras longitudes de onda.

A pesar del diseño de varios instrumentos que permitieron observar el cielo con más precisión, el mayor avance se dio en el siglo XVII con la creación del telescopio óptico (visual). Si bien existían instrumentos similares al telescopio que se utilizaban con otras finalidades, Galileo Galilei fue quien adaptó la idea con el objetivo de poder ser aprovechado por la astronomía. Este científico, condenado por la Iglesia, realizó una gran cantidad de observaciones de objetos del sistema solar, además de estrellas de la Vía Láctea. Obtuvo resultados asombrosos dada su época.

Durante los dos siglos siguientes la investigación de la astrofísica en el rango óptico del espectro fue la más estudiada y conocida. La astronomía comenzó a abrirse

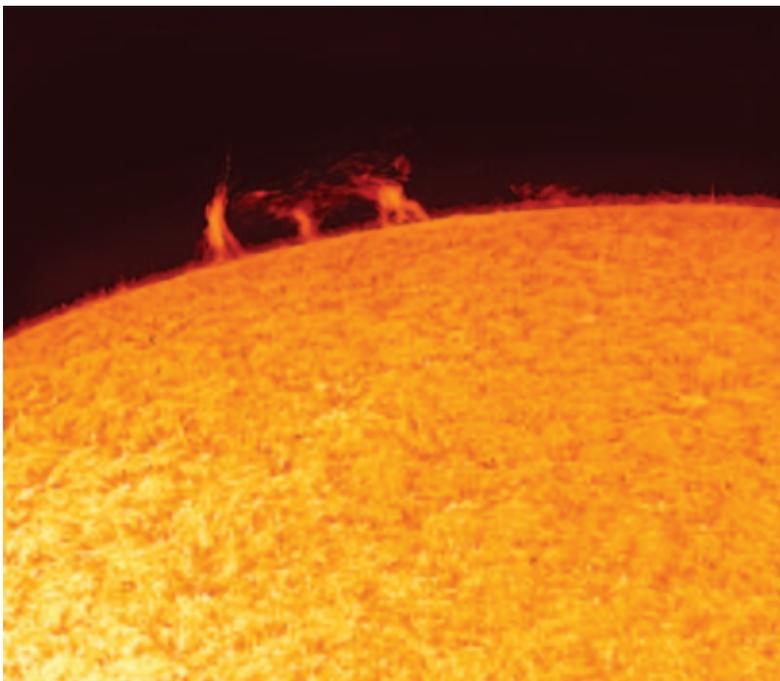
paso a través de todo el espectro electromagnético durante el siglo XX, sobre todo, luego de la Segunda Guerra Mundial. En la actualidad se realizan observaciones a lo largo de todo el espectro, y cada rango de energía presenta diferentes desafíos, tanto teóricos como prácticos, que deben ser sorteados para obtener la mejor y mayor cantidad de información posible.

El Sol en H-alfa

Cada objeto que emite radiación produce una cantidad dada de fotones dependiendo de la longitud de onda. En el caso del Sol, su pico de mayor emisión cae en el rango visual. Sumado a ello, el Sol tiene varias componentes y cada una de ellas, sus características particulares. A grandes rasgos, desde el interior hacia el exterior, existe: un núcleo (fuente de la luz o radiación), dos zonas

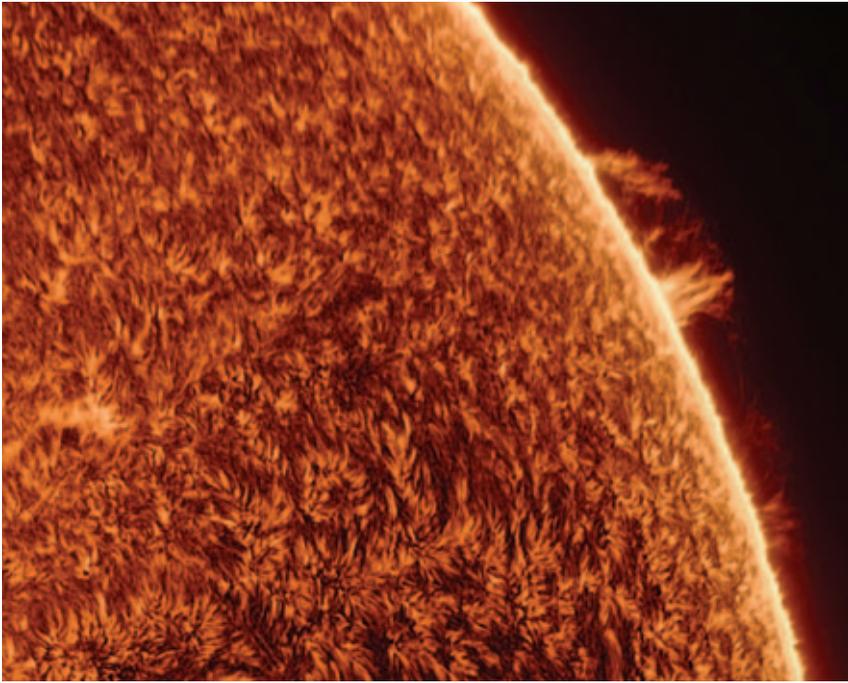
03

Franco Meconi



04

Franco Meconi



de transporte de radiación, y una atmósfera. Esta última, a su vez, está compuesta por la fotosfera, la cromósfera y finalmente, la corona (la que podemos ver durante la totalidad de un eclipse solar, como en la página 10).

Al detectar una señal de luz recibimos sus fotones y los registramos. En el caso del Sol, podemos detectar solo las partes externas, tal como sucede en la mayoría de las estrellas. Además, cada componente de la atmósfera solar es visible con distintos instrumentos, y cada uno, con su detector específico. En particular, en estas imágenes se puede apreciar la detección de los fotones que produce el Sol en su cromósfera. La longitud de onda detectada se conoce como H-alfa, y su valor es de unos 653 nanómetros (lo

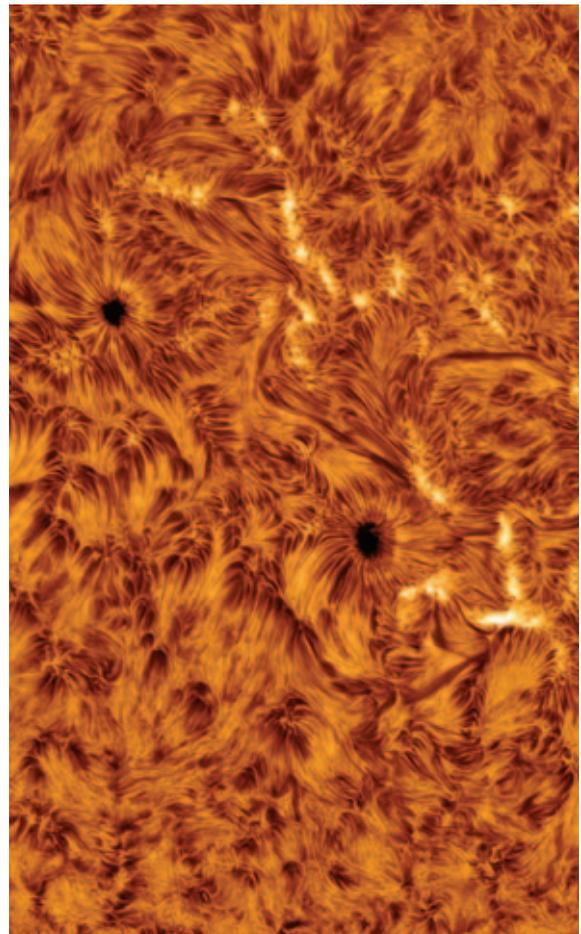
que representa la distancia entre dos picos de la onda). Si utilizamos un telescopio con filtro especial para esos fotones, podemos ver el Sol en H-alfa, que cae dentro del rango del color rojo de la luz. Una cámara digital montada en el telescopio ha jugado el papel de detector en el registro mencionado.

La H, en este caso, representa el hidrógeno. Este elemento químico es el más liviano de la tabla periódica y el más abundante del universo. Al igual que muchos otros, puede generar luz por sí solo, y produce lo que se conoce como línea espectral de emisión. Las líneas espectrales tienen longitudes de onda muy concretas, calculables, que nos ayudan a identificar los elementos químicos presentes en muchos objetos

del universo. En el caso del Sol, se sabe que esta línea se produce en la cromósfera, y que el material que la genera

05

Franco Meconi

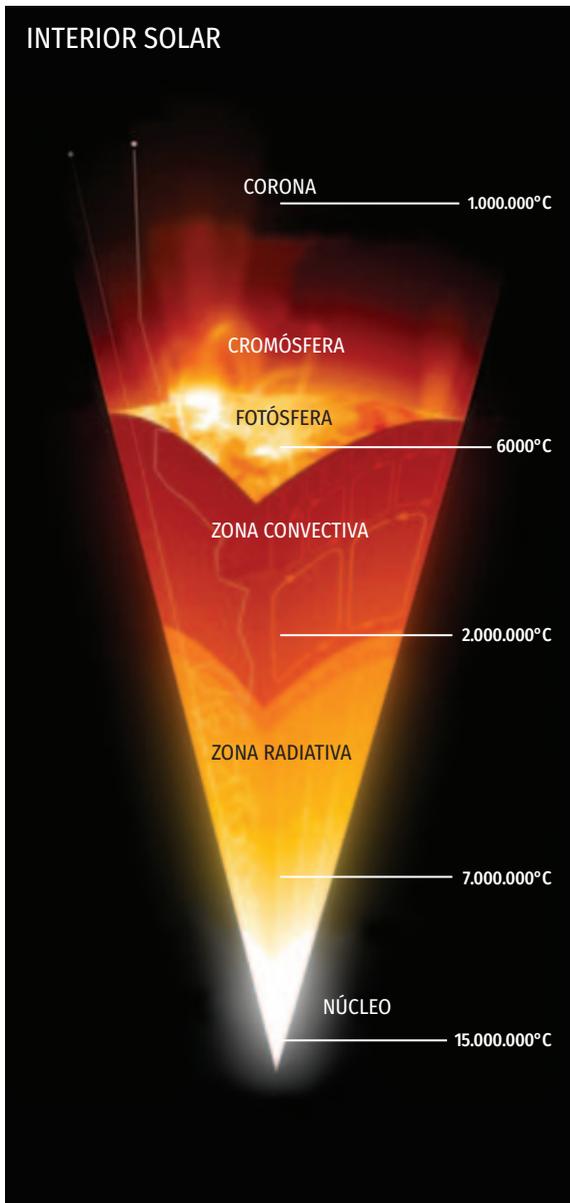


“Detectar una señal de luz significa recibir sus fotones. En el caso del Sol, podemos detectar solo las partes externas, tal como sucede con la mayoría de las estrellas.”

05 Manchas solares y detalle de las regiones activas asociadas 2954 y 2955, el 25 de febrero de 2022. Esta y las demás fotos de Franco Meconi (02, 03 y 04, más la de la página 5) fueron realizadas mediante un filtro H-alfa Daystar Quark en un telescopio refractor apocromático de 90mm de apertura y 462 mm de distancia focal, más una cámara qhy294M. La técnica es capturar muchos cuadros (5000 aproximadamente) y apilar el 10%. El color se agrega en el procesado. (Instagram de Franco: terrazaalcosmos).

06

Kelvinsong



“Las grandes erupciones son burbujas de gas dirigidas espacialmente por las líneas de campo magnético que emergen del Sol.”

se encuentra a una temperatura de unos 10.000 grados. Lo concreto es que estas imágenes nos muestran, en la longitud específica del H-alfa, cómo se ve el Sol a través de un instrumento especialmente preparado para ello, algo que a simple vista no podríamos ver. En las imágenes que acompañan este artículo podemos disfrutar del Sol en una forma en la que sería imposible verlo con nuestros propios ojos. ■

06 El Sol posee varias capas. Desde el centro hacia el exterior, son: el núcleo, una zona radiativa, una región convectiva y finalmente su atmósfera, con una capa más interna como la fotosfera y una más externa y extensa como la corona. El núcleo ocupa aproximadamente un cuarto del radio solar, y en él se producen fusiones nucleares que generan la luz y energía que observamos y recibimos en la Tierra. Lo que registramos de las capas externas del Sol nos ayuda a modelar lo que no vemos.

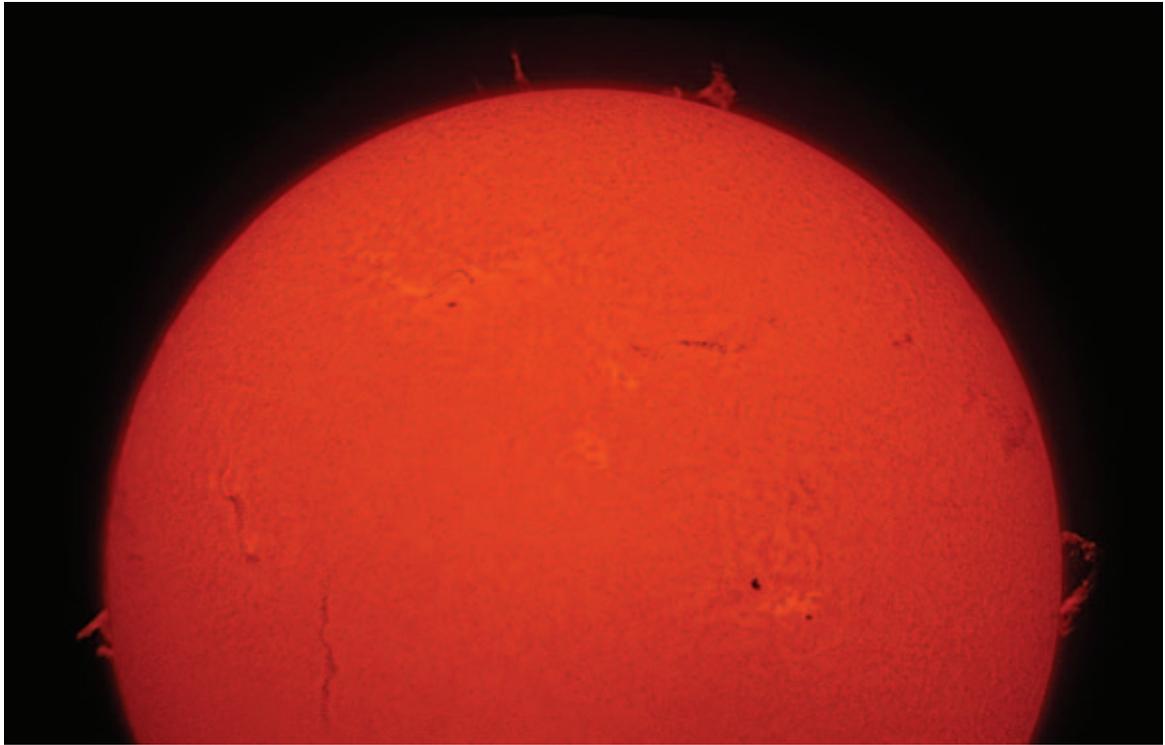
07A



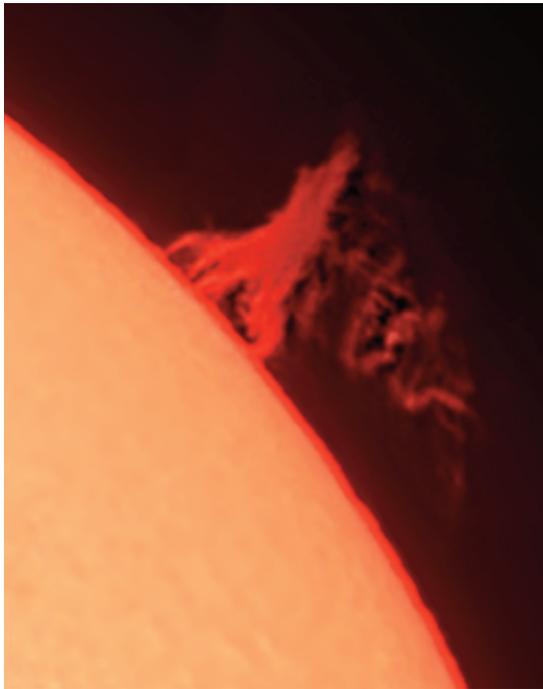
07B



07 Fotografías de la corona solar en el momento de la totalidad del eclipse del 2 de julio de 2019, tomadas desde el Embalse Cuesta del Viento, provincia de San Juan, por el equipo del Planetario Ciudad de La Plata, Universidad Nacional de La Plata. La atmósfera solar externa, llamada corona, posee más de 1.000.000° de temperatura y solo se puede apreciar a simple vista en el rango óptico durante un eclipse total de Sol. Las regiones más rojizas que se ven sobre la superficie solar en la imagen de la derecha son fulguraciones.



Mariano Ribas

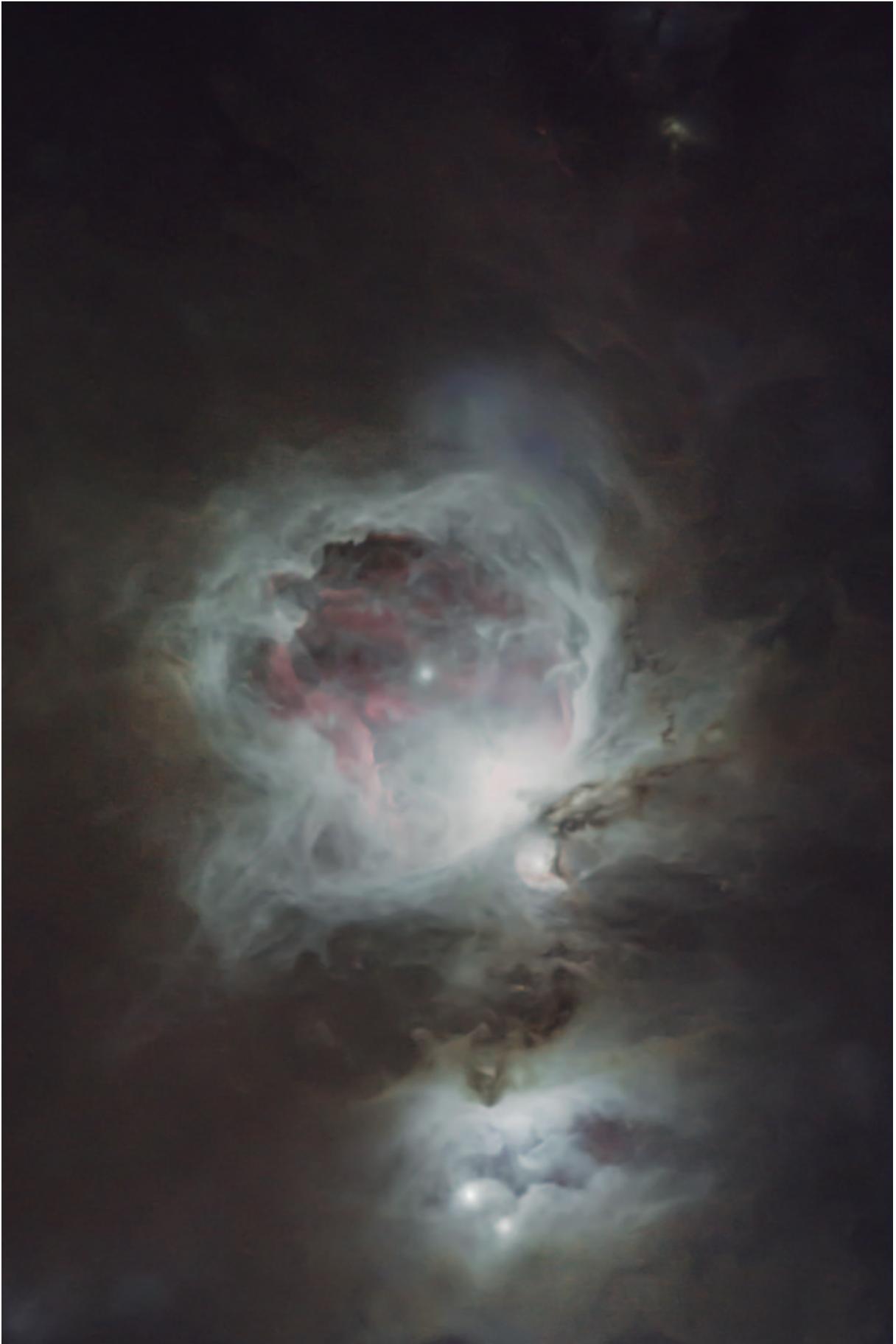


Mariano Ribas



Mariano Ribas

Una de las protuberancias más grandes de los últimos meses ocurrió el 6 de febrero pasado. Una "lengua" de plasma de más de 90.000 km de alto, que se proyectaba tanto o más hacia un costado, con una serie de estrías ramificadas. En estas imágenes también pueden apreciarse otras protuberancias menores, incluyendo una con forma de aguja, así como varias regiones activas en el disco solar asociadas a manchas solares. La foto superior es el resultado del apilado y procesado de 120 cuadros de video, obtenidos con un pequeño telescopio solar H-alpha de 60 mm de apertura.



Procesado “sin estrellas”

CUANDO EL CIELO TIENE SU ARTE PROPIO

Autores: *Carlos Di Nallo, astrofotógrafo (instagram.com/carlosdinallo), y Diego Luis Hernández, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.*

02

Carlos Di Nallo



Una técnica en el procesado de imágenes astronómicas permite apreciar, entre otras cosas, nebulosas y galaxias sin las estrellas que aparecerían por delante, en la misma dirección, y es de mucha utilidad si la aplicamos con fines estéticos y didácticos.

La fotografía astronómica no deja de sorprendernos. Como hemos explicado muchas veces, desde hace ya varios años los aficionados logran imágenes de la Vía Láctea, constelaciones, nebulosas, galaxias, planetas, el Sol o la Luna, que poco tienen que envidiarles a las fotos de los grandes observatorios profesionales. Incluso, hasta cuesta diferenciarlas. La fotografía de los aficionados muchas veces colabora con las investigaciones profesionales. No solo las cámaras de buena calidad resultan relativamente accesibles, sino que especialmente, los aficionados son responsables de haber mejorado notablemente las técnicas, producto de su pasión por la astrofotografía y el tiempo dedicado a la tarea. Además, los programas de procesado de imágenes realizan un aporte cada vez más intenso, y son los responsables de hacer aparecer detalles que antes pasaban inadvertidos.

Sin embargo, más allá de que una imagen con larga exposición y sometida a un gran trabajo de edición nos muestra detalles invisibles a los ojos humanos (bastante limitados, por cierto, para la observación astronómica), quedamos

01 *La Nebulosa de Orión sin las estrellas que siempre vemos en su misma dirección, algunas pertenecientes a cúmulos abiertos vinculados y otras que no forman parte de su estructura, sino que se encuentran en la misma línea visual. Todas las estrellas han sido “eliminadas” a través del procesado de la imagen. El resplandor central, dentro del “capullo”, sí se debe a las estrellas que se están formando dentro de la nebulosa.*

02 *Una mirada diferente de nuestra Vía Láctea, sin estrellas, apuntando desde adentro hacia su centro galáctico. Solo vemos su resplandor y las nebulosas brillantes y oscuras.*

Carlos Di Nallo



Carlos Di Nallo



Franco Meconi



cada vez más lejos de percibir en una foto lo que veríamos a simple vista o, incluso, si pudiéramos acercarnos hasta alguno de estos objetos en el espacio.

Cuando observamos a través de telescopios alguna nebulosa o alguna galaxia lejana, nuestra vista detecta solo “manchas” borrosas y grises, con mayor o menor definición según la calidad del instrumento. Solo las estrellas, con su luminosidad tan intensa, revelan colores fácilmente detectables. Y si le mostramos estos objetos a gente que ha visto muchas fotos coloridas de nebulosas o galaxias, pero poco a través de telescopios, se sorprende frente a la poca información que reciben nuestros ojos. De todas maneras, lo que representan esos objetos y la distancia a la que se encuentran, ya es suficiente para que el observador se maraville.

Despejando el camino

La observación de objetos muy lejanos que, vistos a través de telescopios o en una foto, ocupan una determinada porción del cielo (es decir, que no son objetos puntuales,

como las estrellas), trae un problema extra: en la misma dirección en la que observamos una nebulosa o una galaxia, seguramente hay muchas estrellas que, en realidad, se encuentran mucho más cerca de nosotros. Eso puede entorpecer la imagen o, simplemente, entregarnos una foto llena de estrellas que no pertenecen al objeto de interés, sino que simplemente se encuentran muchos años luz por delante. Al observar una galaxia exterior, por supuesto, todas las estrellas que veamos en el mismo campo de la imagen pertenecerán a nuestra propia galaxia, la Vía Láctea, y nada tendrán que ver con Andrómeda o cualquier otra galaxia observada. No es el caso de las nebulosas que, como nosotros, también están dentro de la Vía Láctea, y las estrellas de campo simplemente están por delante, y también se encuentran en la Vía Láctea.

Entre tantos programas de procesado de imágenes astronómicas, existe uno que permite quitar digitalmente las estrellas de campo y dejar una imagen más “limpia” de una galaxia o una nebulosa. Luego, a través de otros programas, se “levanta” el brillo, el contraste y otros detalles para enaltecer el objeto de interés. Resulta muy interesante ver una nebulosa o una galaxia sin las estrellas por delante, porque podemos concentrarnos más en la estructura del objeto sin las distracciones de las estrellas. Incluso, es de mucha utilidad desde el punto de vista pedagógico, a la hora de explicar qué es una nebulosa o una galaxia.

Esta técnica resulta también de mucha utilidad porque, en el momento de procesar una imagen, se presentan otros problemas cuando todo está integrado en una sola foto. Si se limpia el “ruido”, las estrellas sufren el proce-

“En la misma dirección en la que observamos una nebulosa o una galaxia hay estrellas que, en realidad, se encuentran mucho más cerca de nosotros”.

03 Arriba y al medio: la Gran Nebulosa de Carina, con y sin estrellas. El resplandor casi central corresponde a la estrella hipermasiva Eta Carinae, una de las más masivas y luminosas conocidas en la Vía Láctea (en realidad, es un sistema binario, con dos estrellas supermasivas). Abajo: la misma Nebulosa pero tomada con un filtro de banda estrecha, es decir, el que se utiliza para fotografiar este tipo de objetos bajo cielos urbanos iluminados, ya que filtra la luz del alumbrado público y aumenta el contraste con el brillo del cielo. Este tipo de filtros deja pasar solo las longitudes de onda emitidas por el hidrógeno beta y el oxígeno ionizado, presentes en la nebulosa, y atenúa el brillo de las estrellas.

04 Las nebulosas Trífida (a la izquierda) y Laguna (M 20 y M 8 respectivamente), con y sin estrellas.



sado; si se exaltan o levantan los colores y la textura de nebulosas y galaxias, las estrellas tienden a “engordar” o cambian de color. Si bien existen también técnicas para “enmascarar” las estrellas y así poder trabajar con el resto de la imagen, el hecho de tener un archivo solo con la ne-

bulosa o la galaxia permite trabajar tranquilamente dedicándose a las estructuras y los colores de cada objeto en particular, sin actuar sobre las estrellas. Luego, se puede disfrutar del objeto en solitario o fusionar los dos archivos y completar una mejor imagen, pero más convencional.



El resplandor

Las nebulosas más conocidas y fáciles de observar son: M 42 (Orión), M 8 (Laguna), M 20 (Trífida), M 17 (Omega), NGC 3372 (Gran Nebulosa de Carina) y 30 Doradus (la Tarántula). Las cinco primeras se encuentran a unos pocos miles de años luz de nosotros y pertenecen también a la Vía Láctea. La Tarántula se encuentra mucho más lejos, a 160 mil años luz, ya que forma parte de una galaxia exterior pero vecina, la Nube Mayor de Magalla-

nes. Todas, desde un lugar oscuro, pueden verse con binoculares y pequeños telescopios. Cada una tiene una forma particular, pero todas se presentan a nuestros ojos como pequeñas nubecitas grises, con estrellas propias en su interior y estrellas que casualmente comparten la misma dirección en el cielo, desde nuestro campo visual. Cada una de estas nebulosas luce espectacular a través de fotografías con larga exposición y bien procesadas. Pero ambas técnicas, la forma visual y la fotográfica, nos puede

generar la siguiente pregunta: ¿cómo se verían estos objetos si nos pudiéramos acercar un poco a ellos? Y la respuesta es muy curiosa también, porque no veríamos prácticamente nada, ya que nuestros ojos son ciegos a ciertas frecuencias de onda del color. Solo notaríamos el resplandor de las estrellas que allí se estén formando.

Estas nebulosas son enormes (la Tarántula es la más grande), pero el gas y el polvo que componen sus materiales, conformados apenas por partículas, están tan dispersos que solo resultan distinguibles a la distancia, debido a la acumulación de esos materiales. Hay que tener en cuenta que estamos hablando de cómo las veríamos si nos acercáramos y las observáramos con ojos humanos. Pero, a través de la fotografía, seguramente no cambie mucho el panorama.

Por eso, esta técnica resulta tan interesante. Nos ayuda a ver mejor la forma y la estructura de estas nebulosas, al menos, desde nuestra dirección, ya que seguramente vistas desde otro ángulo su aspecto sería diferente. En algunos casos, como Orión y Laguna, podemos notar la forma de capullo que invita a sumergirse en su interior. En otros, como Carina y Trífida, se ven claramente los “ríos” de material más oscuro, frío y denso, fundamental para la formación de estrellas.

Por su parte, una galaxia como Andrómeda, ubicada a 2,5 millones de años luz, más grande que la Vía Láctea, es un caso diferente. Nuestros ojos tampoco captarían los colores que sí recibe el sensor de una cámara, pero si nos acercáramos podríamos distinguir mejor su estructura espiral, su núcleo masivo y el resplandor de miles de nebulosas que emiten, reflejan o absorben la luz de centenares de miles de millones de estrellas. Una vez dentro, según nuestra ubicación, el panorama podría ser similar al de la Vía Láctea que surca el cielo de lado a lado, como una franja neblinosa e indefinida, como la vemos en la imagen 02, pero en escala de grises.

La fotografía astronómica resulta, una vez más, una herramienta fundamental, tanto desde el punto de vista científico como del artístico. ■

05 *La galaxia de Andrómeda (M 31) con y sin estrellas. Los dos puntos más destacados, apenas por encima y por debajo de la estructura principal, corresponden a M 32 y M 110, dos pequeñas galaxias elípticas satélites de Andrómeda. En la imagen inferior se aprecia mucho más cómo veríamos la galaxia con nuestros ojos humanos si nos acercáramos a ella.*

06 *La galaxia del Triángulo (M 33) sin estrellas.*

06

Eric González





Formación estelar

JETS SERPENTEANTES

Autor: Facundo Rodríguez. Comunicador científico e investigador en el Instituto de Astronomía Teórica y Experimental (IATE).

01



Observatorio Internacional Gemini/NOIRLab/NSF/AURA.

Entender los detalles del proceso de formación y evolución de las estrellas es uno de los objetivos más desafiantes de las investigaciones astrofísicas actuales. En el Observatorio Astronómico de Córdoba (OAC), el grupo de Astrofísica Estelar se encarga de estudiar esos procesos y, en ellos, los chorros de materia (llamados jets) que se producen cuando las estrellas están naciendo.

Para que se formen las estrellas es necesario el colapso de grandes nubes de gas, las que llamamos nebulosas. Este proceso puede tomar varios cientos de miles de años. Como estas nubes son opacas, los telescopios ópticos no pueden observar dentro de ellas. Por lo tanto, se necesitan telescopios que obtengan imágenes en el infrarrojo o longitudes de onda más largas, es decir, instrumentos que pueden ver cosas que

resultan invisibles para nuestros ojos humanos (en este caso, deben detectar ondas como, por ejemplo, las que emiten los controles remotos de un televisor). A partir de estas observaciones se intentan comprender los fe-

01 Imagen del jet estelar MHO 2147, uno de los jets estudiados por el equipo del Observatorio Astronómico de Córdoba.



nómenos físicos que gobiernan las estrellas recién encendidas.

El proceso mediante el cual las nuevas estrellas se encienden es el escenario de un gran espectáculo en el que, además de la futura estrella, se producen un disco de materia que gira alrededor de la estrella en formación y grandes chorros denominados *jets*, que arrastran material a alta velocidad desde los polos de la estrella. El disco, luego de millones de años, formará planetas que girarán alrededor de la estrella. Los *jets*, por su parte, permiten que la estrella se estabilice, barren parte de la nube de gas en la que se lleva a cabo la formación y ponen al descubierto el proceso que se está dando. Esos chorros son, por lo tanto, un indicador de que allí se está formando una estrella.

Todo lo descrito suena ya increíble. Además, es importante tener en cuenta que la mayoría de las estrellas

no se forman solas, sino que, en muchos casos, la misma nube permite que se enciendan varios grupos de estrellas. En ciertos contextos, hasta puede dar origen a agrupaciones de cientos de miles de estrellas. Cuando observamos con binoculares o telescopios algún cúmulo estelar abierto, estamos viendo estrellas relativamente jóvenes que se han formado a través de estos mismos procesos, producto del colapso de una misma nebulosa.

02 En estas cuatro imágenes de MHO 2147 pueden verse, en azul, la interacción del jet con el material circundante, y en color rosa, las nebulosas en las cuales se están formando estrellas.

Jets particulares

El estudio de los *jets* estelares permite entender tanto estos objetos como su entorno, además de la estrella en formación. Por eso, la Dra. Leticia Ferrero, astrónoma que se especializa en estos fenómenos, y el equipo del OAC, se propusieron analizar *jets* con trayectorias poco comunes e intentar dilucidar su origen. En un trabajo publicado recientemente en la prestigiosa revista *Astronomy & Astrophysics*, lograron captar imágenes de muy alta resolución de dos *jets* con chorros serpenteantes; las analizaron y, mediante modelos, pudieron dar una explicación de por qué se producen estas desviaciones.

Los dos objetos estudiados son MHO 2147, que se encuentra a 10 mil años luz de la Tierra, y MHO 1502, a 2 mil años luz. Las observaciones que permitieron analizar estos *jets* fueron tomadas en el infrarrojo cercano por el Observatorio Gemini. Este observatorio está conformado por dos telescopios gemelos de 8,1 metros de diámetro cada uno, ubicado uno en cada hemisferio. El del norte está en Hawái, y el del sur, en Chile. Gracias

a la participación de Argentina en el consorcio internacional que gestiona los observatorios Gemini, conjuntamente con Estados Unidos, Canadá, Chile, Brasil y Corea del Sur, el equipo tuvo acceso a uno de los instrumentos más sofisticados de Gemini Sur. Además de Ferrero, participaron de la publicación Guillermo Günthardt, Luciano García, Mercedes Gómez y Hugo Saldaño, del equipo del OAC, y Venu Kalari, quien investiga en el Observatorio Gemini.

03 En esta imagen de MHO 1502 puede verse en azul la particular trayectoria del jet.

03



Observatorio Internacional Gemini/NOIRLab/NSF/AURA



Explicación

“Gracias a las imágenes de alta resolución obtenidas en infrarrojo cercano, se pudieron estudiar estas dos regiones de formación estelar con morfologías particulares, que dieron como resultado que uno de ellos pertenecería a una formación binaria y la otra, a una múltiple”, señala Leticia Ferrero. Esto quiere decir que las morfologías de ambos jets se deberían a que en esas regiones se están formando varias estrellas. En el caso de MHO 1502, serían dos las estrellas que están naciendo; y, en MHO 2147, sería un sistema compuesto por tres objetos.

El estudio permitió también estimar las masas de los sistemas, determinar que la estrella en formación que origina el jet MHO 1502 no es la que se postulaba en trabajos previos y que, para el caso de MHO 2147, además de ser un sistema triple, su forma se debe a que la estrella que lo origina estaría girando como un trompo, movimiento que llamamos de precesión.

“Es importante destacar que esta publicación es el resultado de varios años de trabajo, con mucha interacción con colaboradores, y que no podría haberse realizado si no fuera porque Argentina tiene acceso a un instrumento

de última generación como es el telescopio Gemini”, concluye Leticia Ferrero. ■

“Uno de estos jets tan particulares estaría asociado a una estrella binaria, y el otro, a una estrella triple”.

04 Imagen del telescopio Gemini Sur, a 2700 metros de altura, en el cerro Pachón, en la región chilena de Coquimbo. Junto con el Gemini Norte, ubicado en Hawái, forma parte de una cooperación internacional entre Estados Unidos, Canadá, Corea del Sur, Brasil, Argentina y Chile.

05 Logos de los diferentes integrantes del consorcio Gemini.

Nota

1 Se puede encontrar el paper del trabajo en: https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2022/01/aa42421-21/aa42421-21.html



La primera película

EL NACIMIENTO ASTRONÓMICO DEL CINE

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

La película más antigua registrada en la Internet Movie Database¹ es astronómica. Passage de Venus, de 1874, es un montaje de fotogramas que registran un tránsito de Venus delante del Sol. Dura apenas 5 segundos.

Quién lo hubiera dicho. Que la primera película de la historia fuese un film astronómico es extraordinario. No la primera película científica, no la primera de un género en particular. *La primera película*. De todas. *La hizo un astrónomo*. Esto va, definitivamente, a la creciente lista de “**para qué sirve la astronomía**”.

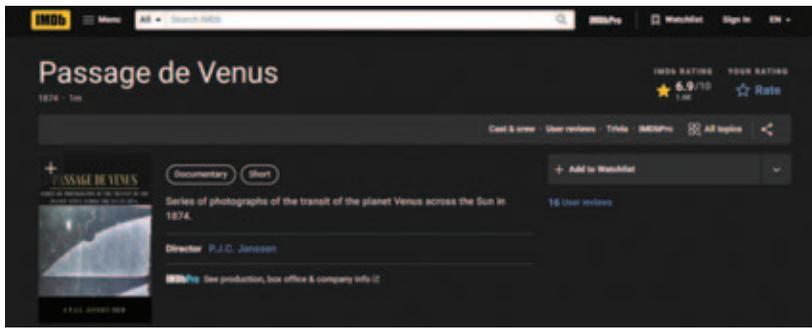
Passage de Venus, lamentablemente, no registra el verdadero tránsito de Venus delante del Sol en 1874. Se trata de unas imágenes de práctica para probar el equipo, usando una mascarita que simula a Venus delante del verdadero Sol. Todos los que nos dedicamos a la astrofotografía sabemos perfectamente la importancia de hacer estas pruebas antes de registrar un evento poco frecuente. Y los pioneros, en el siglo XIX, por supuesto también lo sabían. ¿Existirán los registros del verdadero tránsito, juntando polvo en el fondo de algún cajón en un depósito en París? En Wikimedia hay una de las fotos tomadas por Janssen, pero no conseguimos nada más.

Los **tránsitos de Venus** son muy raros, y ya Edmund Halley había descrito el valor de su observación cuidadosa para determinar las dimensiones del sistema solar. El tránsito de 1874 fue visible desde el Lejano Oriente. Era importante observarlo, ya que era el primero del par² del siglo XIX. Los anteriores se habían producido en 1761 y 1769, cuando todavía no existía la técnica fotográfica, y en el siglo XX no habría ninguno. Los del siglo XXI fueron en 2004 y 2012.

01 *Secuencia de la película para la preparación del tránsito de Venus, registrada por el francés Jules Janssen en 1874.*



02



En 1874 hubo al menos 62 expediciones científicas para observarlo, de una decena de países, que se distribuyeron en 80 sitios. Entre ellas hubo seis francesas, que desafiaron la mala suerte de Guillaume Le Gentil del siglo anterior³. El líder de una de ellas era el rústico y testarudo físico, fotógrafo e inventor Jules Janssen, quien para observar el eclipse solar de 1870 escapó de París, sitiado por las tropas prusianas, ¡en globo aerostático!, haciéndoles pito catalán a los alemanes abajo. Era experto en observaciones solares, y ya en 1864 había descubierto el helio durante un eclipse solar: ¡un elemento químico desconocido en la Tierra!

Para poder usar el tránsito en la determinación de la unidad astronómica (el radio de la órbita terrestre, unidad fundamental de la astronomía) era crucial la medición exacta de los tiempos de contacto de los contornos (llamados *limbos*) de Venus y el Sol. Esta

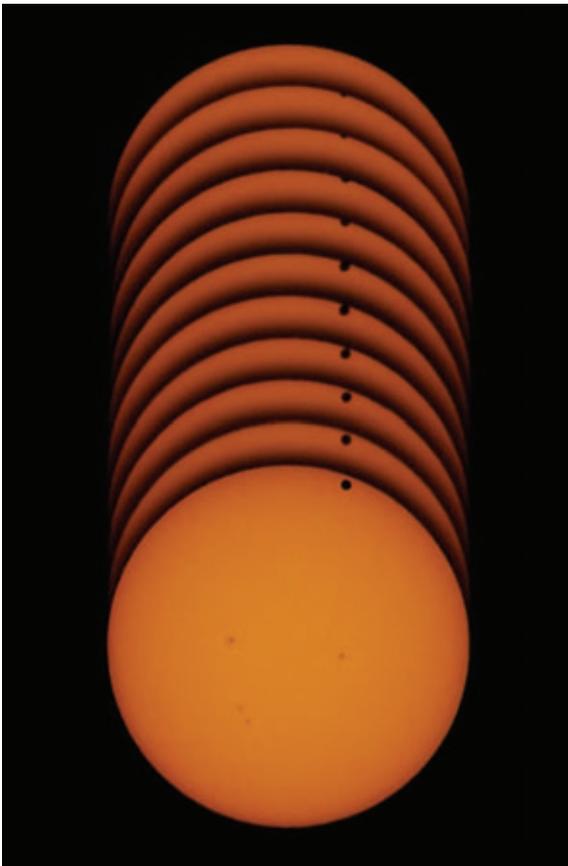
había sido la principal fuente de error en las observaciones del siglo XVIII, y existía la expectativa de que la fotografía lograra mejorar las mediciones. Para hacerlo, Janssen inventó una cámara de repetición, el “revolver fotográfico”. Este dispositivo podía registrar exposiciones breves a intervalos regulares, en un disco rotante que acomodaba hasta 180 placas foto-

gráficas. El disco rotaba por acción de un mecanismo eléctrico controlado por un reloj de péndulo. Era el equivalente fotográfico del revolver de Colt, recientemente inventado.

A pesar de los esfuerzos de Janssen y todos los demás expedicionarios, las mediciones del tránsito de 1874 no lograron mejorar la determinación de la unidad astronómica. Poco después, el descubrimiento de Eros, el primer asteroide cercano a la Tierra, ofreció un método alternativo que funcionó muy bien. Y luego, durante el siglo XX, la medición directa por radar de la distancia a Venus y a Marte hizo innecesario el método de Halley. Habían pasado cien años desde el invento de la fotografía a repetición de Janssen, y ya el cine se había convertido en el principal entretenimiento de la humanidad y en la contribución moderna más importante a la cultura. ■

03

Guillermo Abramson



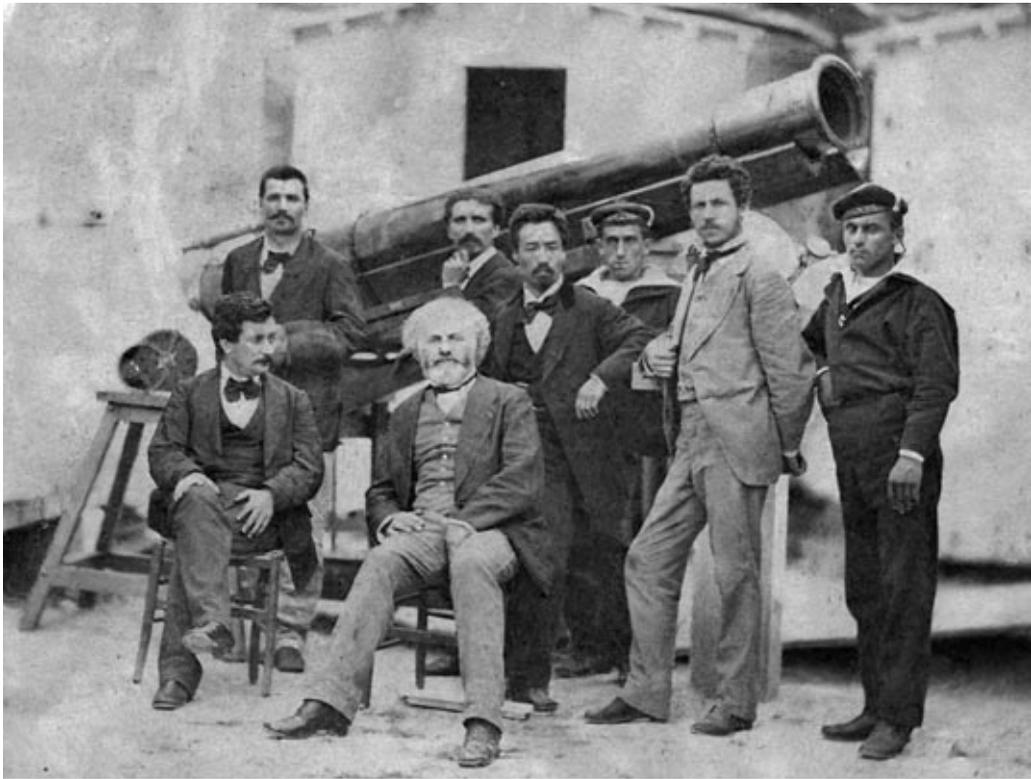
04



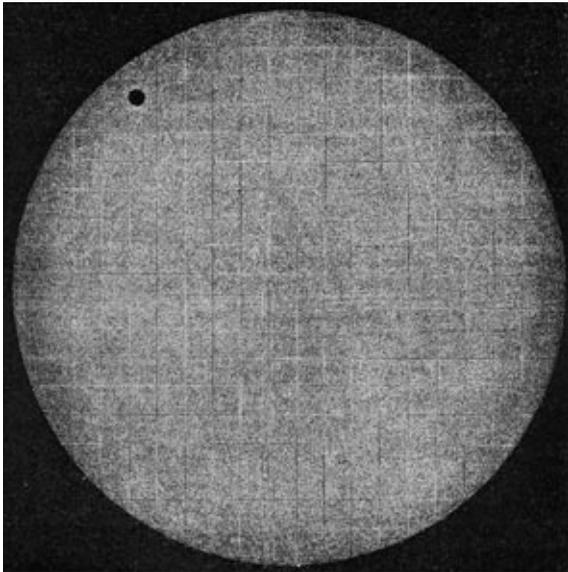
02 Portada de la web de IMDb en la que aparece la película del tránsito de Venus de 1874. *Passage de Venus* tiene una calificación de 6,9, nada mal para una película muda de 5 segundos, con graves fallas de guión (siendo la principal su inexistencia). Tiene 16 reviews (¡una de ellas con alerta de spoilers!), que valen la pena leer.

03 El tránsito de Venus de 2012 observado y fotografiado desde Albuquerque, Nuevo México, EE.UU.

04 El revolver fotográfico inventado para registrar exposiciones breves en hasta 180 placas fotográficas. Algunos detalles, así como la foto del revolver fotográfico, son de: Launey and Hingley, Jules Janssen's "revolver photographique" and its British derivative, "the Janssen's slide", *Journal for the History of Astronomy* 36(1):57-79 (2005).



06



Notas

1 Internet Movie Database, la base de datos de cine más grande del mundo: <https://www.imdb.com/>

2 Los tránsitos de Venus por delante del Sol son poco frecuentes. Se dan en pares cada 8 años, y luego hay una interrupción de más de 100 años, hasta que se da otro par. Los últimos fueron en 2004 y 2012, y los próximos serán en 2117 y 2125. Los tránsitos de Mercurio, por su parte, son más frecuentes: el último ocurrió en 2019 y el próximo será en 2032.

3 Mientras Guillaume Le Gentil se encontraba al sur de la actual India (Indostán, en aquella época, colonia británica), enviado por la Real Academia de Ciencias Francesa, para observar el tránsito de 1761, se declaró una guerra entre Francia e Inglaterra. Se disputaban, entre otras cosas, la India. Tuvo que realizar sus observaciones, el día del tránsito, em-

05 La foto que tomaron en París, con el telescopio y el revolver fotográfico atrás, antes de partir hacia Nagasaki, Japón, donde observaron el tránsito de Venus de 1874. Janssen es el caballero de barba, sentado. Todavía existe un monumento erigido en el sitio de observación de la expedición francesa en Nagasaki, que sobrevivió el bombardeo nuclear de 1945.

06 Imagen del tránsito de Venus por delante del Sol realizada en Nagasaki por la expedición de Janssen, el 9 de diciembre de 1874.

barcado y huyendo, en medio del océano Índico. Como no pudo confirmar su ubicación exacta, su esfuerzo fue en vano. Pero se quedó en la zona para observar, ocho años después, el siguiente tránsito. Viajó a Filipinas, para pasar los años de la guerra. Pero al finalizar, decidió volver a la India, con todo su equipo, para observar el tránsito. Para su desgracia, ese día, estuvo nublado en la India y despejado en las Filipinas. Y como faltaban más de 100 años para el siguiente tránsito, decidió regresar a Francia. En el camino debió soportar dos naufragios y varias enfermedades. Doce años después de haber partido, en 1771, llegó a su tierra. Sus familiares lo daban por muerto desde hacía años (con certificado de defunción y todo), su esposa se había vuelto a casar y sus hijos, que se habían repartido la herencia, se negaron a reconocerlo.

COMETA LEONARD

Diego Toscani



Jaime García



COMETA LEONARD

Mariano Ribas



01

Gerald Rhemann



La notable aparición del C/2021 A1

LEONARD: GLORIA Y OCASO DE UN COMETA

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

02

Mariano Ribas



Sin alcanzar un brillo excepcional, el cometa más notable de los últimos años (en cielos australes) nos sorprendió desde todo punto de vista: no solo fue muy bonito, visual y fotográficamente, sino que además tuvo varios estallidos de brillo (outbursts) en poco tiempo, eventos de desconexión y una de las colas de gas y polvo más largas que se tenga registro. El C/2021 A1 (Leonard) fue una pequeña maravilla astronómica que, a fines de 2021, nos trajo un poco de aire fresco en tiempos de pandemia.

LEONARD se hizo rogar. Hacía varios años que los observadores del hemisferio sur esperábamos un buen cometa. Además, en 2020 nos quedamos con las ganas de disfrutar del muy mediático Neowise (C/2020 F3), que fue toda una sensación en cielos boreales (sin llegar a ser un gran cometa), pero que solo pudimos ver muy marginalmente desde nuestros pagos australes, hacia el final de su periplo por la zona interna del sistema solar.

Cuando hablamos de un “buen cometa” nos referimos a uno que, por diferentes circunstancias, pueda verse a ojo desnudo, al menos en cielos oscuros; y que con la ayuda de binoculares y pequeños telescopios, nos muestre una

generosa cola, la señal distintiva por excelencia de estas pequeñas “bolas de nieve sucias”, tal como las definiera, magnífica y sintéticamente, el gran astrónomo Fred Whipple a mediados del siglo pasado.

Estrictamente hablando, podemos decir que cada año hay entre 10 y 15 cometas paseándose por el cielo. Sin embargo, casi todos son extremadamente pálidos (objetos de magnitud 10, 11, 12, o incluso más), que solo pueden ser observados y fotografiados por astrónomos profesionales y experimentados astrónomos amateurs, con la ayuda de grandes telescopios. Los cometas brillantes, en cambio, son mucho más raros. De hecho, pueden



pasar años enteros sin que aparezca ninguno. Sin ir más lejos, durante toda la década pasada, solo pudimos disfrutar de unos pocos en cielos australes. Los más interesantes fueron el C/2011 W3 (Lovejoy), en 2011; el C/2011 L4 (PanSTARRS) y el C/2012 F6 (Lemmon), en 2013; el C/2014 Q2 (Lovejoy), en 2015; y el 46/Wirtanen, en 2018. De ahí en más, los observadores australes sufrimos una larga sequía de cometas notables. Una racha negativa que se cortó hacia fines del año pasado. A continuación, la historia, gloria y ocaso del C/2021 A1, el sorprendente Leonard.

Descubrimiento en Mount Lemmon

Todo comenzó el 3 de enero de 2021, en Arizona, Estados Unidos, cuando el astrónomo Gregory Leonard detectó un muy pálido manchón de luz en una toma fotográfica obtenida con el gran telescopio reflector del Observatorio de Mount Lemmon. Era un astro fuera de todo registro

01 El cometa C/2021 A1 (Leonard) fotografiado con un telescopio desde Tivoli, Namibia, en la noche del 31 de diciembre.

02 El cometa Leonard fotografiado con un telescopio refractor apocromático de 80 mm de diámetro, desde la localidad rural de Gorchs, provincia de Buenos Aires, el 22 de diciembre. La imagen es el resultado del apilado y procesado de 6 tomas de 20 segundos.

03 El cometa y Venus, a solo 5 grados uno del otro, fotografiados desde Chascomús, provincia de Buenos Aires, en la noche del 17 de diciembre. La imagen es el resultado del apilado y procesado de 8 tomas de 4 segundos cada una, con cámara réflex digital y una lente fija de 100 mm.

04 El 29 de diciembre, el astrofotógrafo italiano Daniele Gasparri obtuvo esta impresionante foto de larga exposición y campo amplio del cometa Leonard y su larguísima cola, desde el desierto de Atacama, Chile.

previo, de aspecto borroso (no puntual/estelar), y que mostraba claros cambios de posición entre una imagen y otra. En ese momento, y a partir de todo lo anterior, Leonard sospechó que se trataba de un nuevo cometa, y estimó su brillo en torno a una escuálida magnitud 19, es decir, unas 100 veces más pálido que Plutón. Claro, la novedad celestial aún estaba muy lejos, a una distancia similar a la que separa a Júpiter del Sol. Tras ser confirmado, la “criatura” de Gregory Leonard recibió una denominación formal: C/2021 A1 (Leonard).

Afinando números

Después de varias semanas de pacientes observaciones y seguimiento de su trayectoria, y a medida que el cometa ganaba brillo y acertaba distancias con el Sol (y la Tierra), los astrónomos concluyeron que la órbita del Leonard era tan inmensa como *excéntrica*. En números: un período orbital de unos 75 mil años, con un afelio situado a 3500 unidades astronómicas del Sol. Un “año” extraordinariamente largo y un punto de máxima distancia al Sol casi 120 veces más distante que Neptuno.

¿Y el perihelio? He aquí, lo más interesante. Con muchos meses de antelación, los científicos determinaron que el nuevo cometa alcanzaría su mínima distancia al Sol el 3 de enero de 2022, a 92 millones de km, justo un año después de su descubrimiento. Y no solo eso: unas semanas antes, el 12 de diciembre de 2021, el pequeño visitante helado tendría su máximo acercamiento a la Tierra, a escasos 35 millones de kilómetros.

En base a todo lo anterior, los especialistas ya tenían sobrados motivos para apostar por un cometa bastante brillante. Quizás, incluso, para llegar a verse a simple vista. No solo por las distancias involucradas, sino también porque era harto evidente que el Leonard era un cometa no periódico. Por lo tanto, se trataba de un amasijo de hielo,

roca y polvo “fresco”, capaz de liberar grandes cantidades de gas y polvo al acercarse al Sol, y de ese modo, brillar intensamente al reflejar la luz de nuestra estrella (cosa que no ocurre con los cometas periódicos, que están “gastados” y suelen ser poco vistosos). En suma, Leonard prometía algo bueno.

La ruta del cometa

Tras largos meses de gradual acercamiento, el cometa comenzó a estar al alcance de los telescopios de aficionados experimentados recién en octubre. Pero, dada su posición y particular órbita (extremadamente inclinada respecto a la eclíptica), solo podía verse en cielos boreales. En los primeros días de noviembre, rondaba una muy modesta magnitud 11, con una *coma* (“cabeza”) pequeña (de unos pocos minutos de arco), con un grado de condensación bajo, y prácticamente sin cola. Por entonces, transitaba la constelación de la Osa Mayor.

Durante las semanas siguientes, el prometedor cometa de Gregory Leonard ganó brillo de modo sostenido, a medida que recorría otras constelaciones boreales: hacia el 15 de noviembre se lo podía ver en Canes Venatici, con una magnitud de alrededor de 9,5; y ya en los últimos días del mes, transitaba a paso firme las estrellas de Coma Berenice, con un brillo que muchos astrónomos amateurs del hemisferio norte estimaron en magnitud 7,5 o, in-

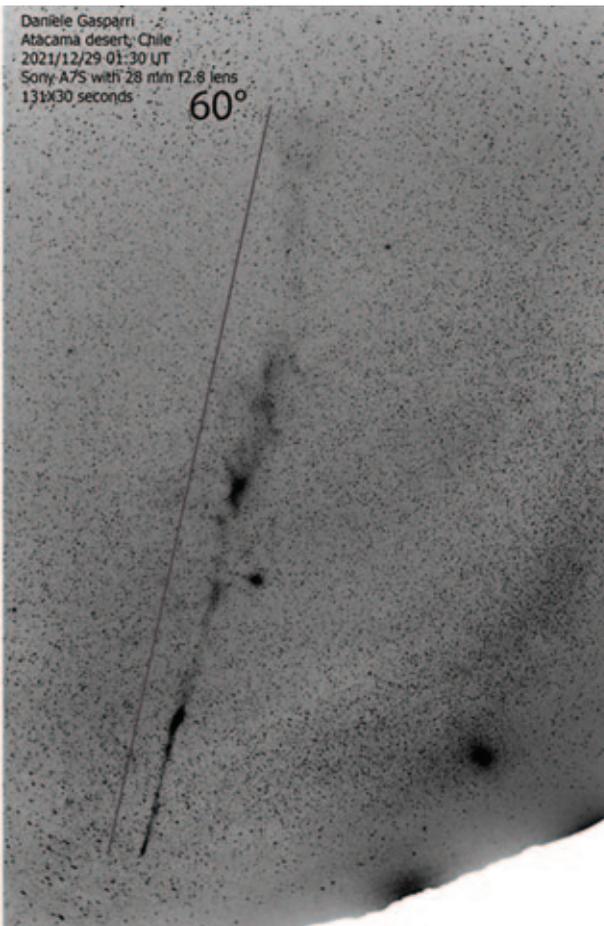
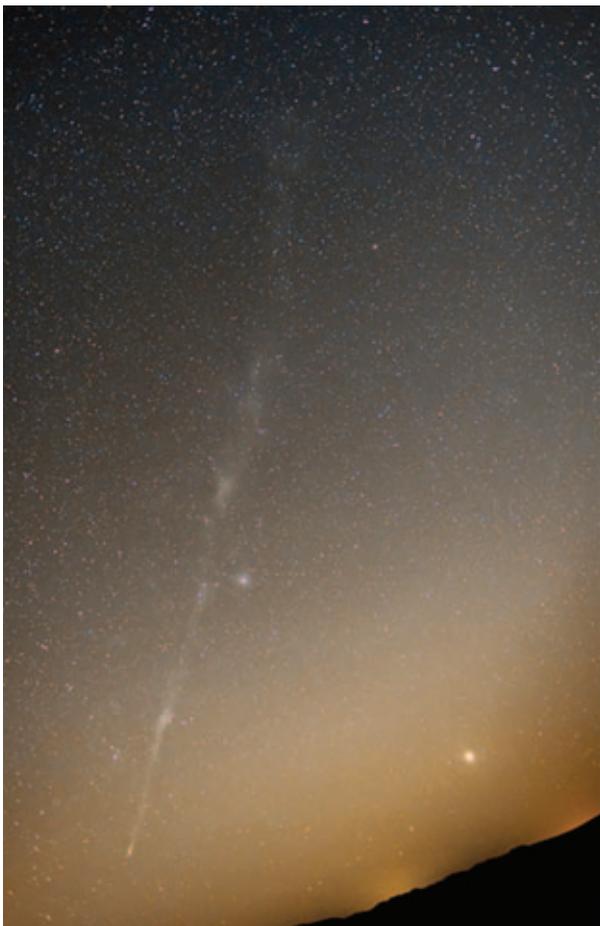
cluso, 7; lo suficiente como para empezar a verlo cómodamente con binoculares. Además, la *coma* del cometa se mostraba claramente más condensada (un signo evidente de la actividad del núcleo, es decir, de su generosa liberación de gas y polvo), y las fotografías ya revelaban una pequeña cola. Los efectos de la radiación y el viento solar eran cada vez mayores.

Y llegó diciembre, el mes clave en toda esta historia. Durante sus primeros días, el cometa desfiló por la constelación de Boötes, y hasta tuvo un “encuentro cercano” con el famoso cúmulo globular M3. El 6 de diciembre pasó a solo 5 grados de la muy brillante y rojiza estrella Arcturus. Por entonces, su brillo ya tocaba la magnitud 6, y algunos reportes aislados que llegaban del hemisferio norte ya daban cuenta de las primeras detecciones visuales a ojo desnudo. Con la ayuda de binoculares, en cielos oscuros, hasta era posible ver 2 o 3 grados de cola. Todo marchaba según predecían las curvas teóricas de luminosidad. Leonard venía viento en popa y nosotros, los observadores del hemisferio sur, lo esperábamos con ansias.

Acercamiento a la Tierra y primer *outburst*

Tal como estaba previsto, el 12 de diciembre de 2021 el cometa Leonard alcanzó su mínima distancia a nuestro planeta: exactamente 34,9 millones de kilómetros (menos de la cuarta parte de la que nos separa del Sol). Por en-

04



Daniele Gasparri

tonces, el pequeño mazacote de hielo y roca se paseaba por delante de la constelación zodiacal de Ofiuco, y tímidamente comenzaba a hacer su entrada en el cielo del anochecer. Varios reportes visuales, todavía exclusivamente de astrónomos boreales, lo situaban en magnitud 5, y con un apreciable grado de concentración de su *coma*.

Tres días más tarde, el cometa se despachó con la primera de varias sorpresas: el 15 de diciembre, mientras recorría la constelación de Sagitario, tuvo su primer *outburst* (un término muy utilizado por observadores cometarios que podríamos traducir como “estallido de brillo”). De pronto, esa abrupta liberación de gas y polvo, al ser iluminada por el Sol, aumentó su luminosidad unas 6 veces, pasando de magnitud 5 a 3. Entre aquellos astrónomos estaba el reconocido rastreador de cometas Marco Coelho Goiato, de Araçatuba, Brasil. El cometa ya asomaba por encima del horizonte vespertino en los cielos del hemisferio sur.

¡Cometa a la vista en Argentina!

Los primeros reportes positivos en Argentina llegaron al anochecer del 17 de diciembre. Entre ellos, el del experimentado astrónomo aficionado Luis Mansilla, quien vio el Leonard desde Rosario con binoculares 20x50, a tan solo 7 grados sobre el horizonte del noroeste, y con la constelación de Sagitario como telón de fondo. Mansilla le estimó una magnitud visual de 3,7. Luego de eso, pudimos observarlo apenas “asomado” sobre el horizonte, desde la laguna de Chascomús, provincia de Buenos

Aires, con binoculares 15x70.

Esta primera aparición del C/2021 en cielo argentino tuvo un condimento extra: el cometa se vio a escasos 5 o 6 grados al sur del brillantísimo Venus, más o menos a la misma altura sobre el horizonte oeste-sudoeste (foto 03); no por casualidad, ni por una simple alineación visual. En realidad, en esos momentos, el Leonard estaba pasando a solo 4,2 millones de kilómetros de Venus. Un encuentro muy cercano entre dos habitantes del sistema solar bien diferentes.

Durante las dos jornadas siguientes, el cometa más brillante de los últimos años en cielos australes siguió ganando altura, saliendo gradualmente del crepúsculo e ingresando en cielos más oscuros. Apenas pasadas las 21:00, ya con la primera oscuridad de la noche, se lo podía ubicar a unos 15 grados sobre el horizonte sudoccidental. Pero, a la par, perdió un poco de luminosidad: el 19 de diciembre, el C/2021 rondaba la magnitud 4,5. Sin embargo, al día siguiente, volvió a “encenderse”.

Otro *outburst*... ¡Y otro más!

A poco de caer la noche del 20 de diciembre, una verdadera catarata de reportes visuales coincidieron en señalar un nuevo y abrupto aumento de brillo del cometa. Experimentados astrónomos amateurs en Argentina, Uruguay, Chile y Brasil (entre otros países) confirmaron un segundo *outburst* que llevó al núcleo y a la coma del cometa nuevamente a magnitud 3 (las estimaciones iban de 3,3 a 2,8). Eso no solo permitió verlo a simple vista con comodidad en cielos oscuros, sino también llegar a

05

Mariano Ribas



“adivinarlo” en cielos urbanos (como nos ocurrió, hacia las 21:30 de aquel día, en plena ciudad de Buenos Aires). A la par de todo lo anterior, el Leonard ya desplegaba una cola que, lejos de las ciudades y con la ayuda de binoculares, se extendía por 4 o 5 grados; y en fotografías, el triple.

Y no hay dos, sin tres. Tras haberse estancado durante unos días en torno a magnitud 4,0 a 4,5, el Leonard lo hizo de nuevo: el 23 casi triplicó su luminosidad. Tanto nuestras propias estimaciones, como las que llegaban de otros lugares de Argentina y de colegas en México (como Agustín Paredes, desde el DF), Australia (David Seargent, desde Cowra) o Brasil (nuevamente el reconocido Marco Coelho Goiato, desde Araçatuba), volvían a colocarlo en torno a magnitud 3,5. El cometa, ya bien despegado del horizonte (a más de 20° de altura al comenzar la noche) y paseándose por la constelación de Microscopium, volvía a verse a ojo desnudo en cielos oscuros, y marginalmente en zonas urbanas y suburbanas.

Súpercola

Tras su tercer brillantamiento, el cometa Leonard se calmó un poco. En la noche del 25 de diciembre estimamos el brillo de su *coma* en torno a la magnitud 4,1, con un notable grado de condensación; lo suficiente como para verlo apenas a simple vista, a unos 20 grados sobre el horizonte. Pero lo verdaderamente impactante fue la vista que nos entregaban unos binoculares 15x70: la *coma* no solo mostraba una marcada concentración de brillo hacia el centro (el llamado “pseudonúcleo”), casi de aspecto estelar, sino también un muy bonito color verde-celeste-grisáceo, algo muy habitual en los cometas, dada la presencia de carbono diatómico (C₂) que, en interacción con la radiación solar, da lugar a esa coloración.

¡Y qué decir de la cola! La estela de gas y polvo del cometa no solo se veía de modo patente, sino que llenaba todo el campo visual del instrumento y, además, podía observarse algunos grados más.

Pero las fotos de larga exposición mostraban mucho más: a medida que se acercaba a su perihelio generaba una cola que iba tomando dimensiones pocas veces vistas en los cielos terrestres. Así lo revelaban algunas extraordinarias fotografías, especialmente una obtenida por Daniele Gasparri en el desierto de Atacama, Chile, que mostraba una cola filamentososa, desgarrada y serpenteante de unos impresionantes 60° de largo (algo que, en términos absolutos, equivale a decenas de millones de kilómetros en el espacio interplanetario). Para ponerlo en escala, esos 60° equivalen a un tercio de la bóveda celeste, de horizonte a horizonte. En la historia reciente solo hay un caso que superó esa marca: el gran cometa Hyakutake, de 1996, que desplegó una cola de 90° a 100°.

Desconexión

Los tres *outbursts* confirmados (quizás hubo otros menores), los picos de brillo en torno a la magnitud 3 y la extensión de la cola, dejaron bien claro que el Leonard era



un cometa *activo*, con un núcleo que respondió con generosas emisiones de gas y polvo a la acción de la radiación y el viento solar. Volviendo a la cola, no solo alcanzó una longitud impresionante, sino que se mostró muy compleja. En parte, debido a aquellos *outbursts* que la engrosaron y modificaron su delicada traza. Pero también por culpa de otro tipo de fenómeno típicamente cometa: las desconexiones en la cola de plasma (y aquí vale la pena recordar que los cometas producen colas de polvo, gruesas y arqueadas; y colas de plasma, finas y rectilíneas). La causa de estos fenómenos es compleja, pero parece tener relación directa con la acción del viento solar y de eventuales eyecciones de masa coronaria que “golpean” y generan fuertes alteraciones magnéticas en las delicadas estelas de los cometas. A punto tal que, dependiendo del “ataque” solar, pueden separar parte de su estructura.

En el caso específico del Leonard, todo indica que durante diciembre de 2021 sufrió al menos dos de estos embates solares, y las consecuencias se hicieron notar con absoluta contundencia. La foto 05, en negativo, que obtuvimos la noche del 25 de diciembre en Lima (al noroeste de la provincia de Buenos Aires), no solo revela los primeros 8 grados de cola del cometa y varias estrías en su estructura, sino también una clara desconexión, con todo un bloque de cola aislado del primer tramo.

El C/2021 cerró el año con una más que decente magnitud 5, ya transitando la constelación de Piscis Austrinus.

05 *Evento de desconexión en la cola del cometa Leonard. Imagen en negativo obtenida desde Lima, provincia de Buenos Aires, el 25 de diciembre a las 21:55. Apilado y procesado de 50 tomas de 15 a 20 segundos, con cámara réflex digital y lente fija de 100 mm.*

06 *Desintegración del cometa Leonard. Imagen del 5 de marzo de este año, obtenida por el astrofotógrafo alemán Thomas Lehmann con un telescopio de 20 cm de diámetro y una cámara digital.*

07 *Campo amplio del cometa Leonard desde Rama Caída, San Rafael, Mendoza.*

Identikit de un cometa

Los cometas son frágiles y deformes amasijos de hielo, roca y polvo que giran en torno al Sol, siguiendo órbitas extremadamente elípticas. Casi todos los cometas (o sus núcleos, para ser más precisos) miden entre 1 y 10 kilómetros de diámetro, y pasan la mayor parte del tiempo hundidos en la oscuridad y el frío más extremos. Solo “despiertan” cuando se acercan a su perihelio (su mínima distancia al Sol), la radiación solar calienta sus hielos y libera grandes masas del gas y polvo que forman su *coma*, la neblinosa y enorme “cabeza” del cometa, del orden de los 100.000 km de diámetro; y sus colas, de millones de kilómetros de largo. Empujadas por la radiación y el viento solar (una corriente de partículas que el Sol emite constantemente), las colas de gas y polvo son el rasgo más espectacular de los cometas. Así se asemejan a cabezas con largos cabellos al viento. “Cometa” viene del griego *kometes*, que significa “peludo”.

A decir verdad, la gran mayoría de los cometas no se ve a simple vista, sino con telescopios o binoculares, y solo entre 5 y 10 por década alcanzan un brillo lo suficientemente alto como para verlos con facilidad en los cielos de la Tierra. Para alcanzar ese poco frecuente *status*, un cometa debe pasar relativamente cerca del Sol y de la Tierra (a una distancia menor a unos 100 millones de kilómetros), y además, tener un núcleo especialmente rico



y activo que libere grandes cantidades de materiales que reflejen la luz solar: gases (agua, monóxido y dióxido de carbono, y cianógeno, entre otros), fragmentos de roca y mucho polvo. Finalmente, hay factores que ni siquiera dependen del propio cometa, sino de la perspectiva del observador terrestre: para lucir en todo su esplendor, un cometa debe separarse lo más posible del horizonte y del propio Sol, para tener como telón de fondo un firmamento oscuro y contrastado que permita verlo a ojo desnudo o con unos simples binoculares.

Pero por entonces, dado su derrotero orbital, perdía altura noche a noche sobre el horizonte sudoccidental. Le faltaba muy poco para su mayor acercamiento al Sol.

Sur, perihelio y después...

Tras su larguísimo periplo, proveniente de los más recónditos rincones del sistema solar (en los bordes internos de la famosa Nube de Oort), y su generoso desfile por los cielos australes, el cometa finalmente alcanzó su perihelio. El pasado 3 de enero, la pequeña “bola de nieve sucia” descubierta por Gregory Leonard, pasó a 92 millones de kilómetros del Sol, a una velocidad de 250.000 km/hora. Nunca antes, ni nunca después, sufrió tan directamente la acción del calor y la radiación solar. Y como se vería un par de meses más tarde, este encuentro cercano, más los embates solares previos y posteriores, no iban a ser gratuitos.

Todavía sin mayores daños aparentes, en la noche del 4 de enero pudimos observarlo fácilmente en el cielo de Buenos Aires, con binoculares 15x70: se mantenía firme en torno a la magnitud 5, con una *coma* definida y condensada. Hacia el 10 de enero había caído a la magnitud 5,5. El final, desde todo punto de vista, ya estaba cerca: el Leonard se alejaba de la Tierra, se alejaba del Sol y perdía altura sobre el horizonte del anochecer. Hacia el 20 de enero ya eran muy pocos los reportes visuales de observadores australes, y para el 30, el experimentado astrónomo amateur australiano Chris Wyatt (desde

Walcha, Australia), apenas pudo “rescatarlo” visualmente, arañando el horizonte, con una débil magnitud 8,5.

Final: la desintegración

Como consecuencia de su conjunción con el Sol, el cometa Leonard se perdió completamente de vista durante las semanas siguientes. El primer reporte visual post conjunción llegó recién el 23 de febrero: con la ayuda de una cámara y un telescopio, el astrónomo Martin Mašek, del Observatorio Paranal (ESO), en Chile, estimó una magnitud 10,5. Un valor que, a decir verdad, era esperable. Lo verdaderamente inquietante fue el resto del informe de Mašek. En sus propias palabras, el cometa mostraba una *coma* extremadamente difusa, “*sin condensación central*”. Un claro signo de la posible desintegración del núcleo cometario.

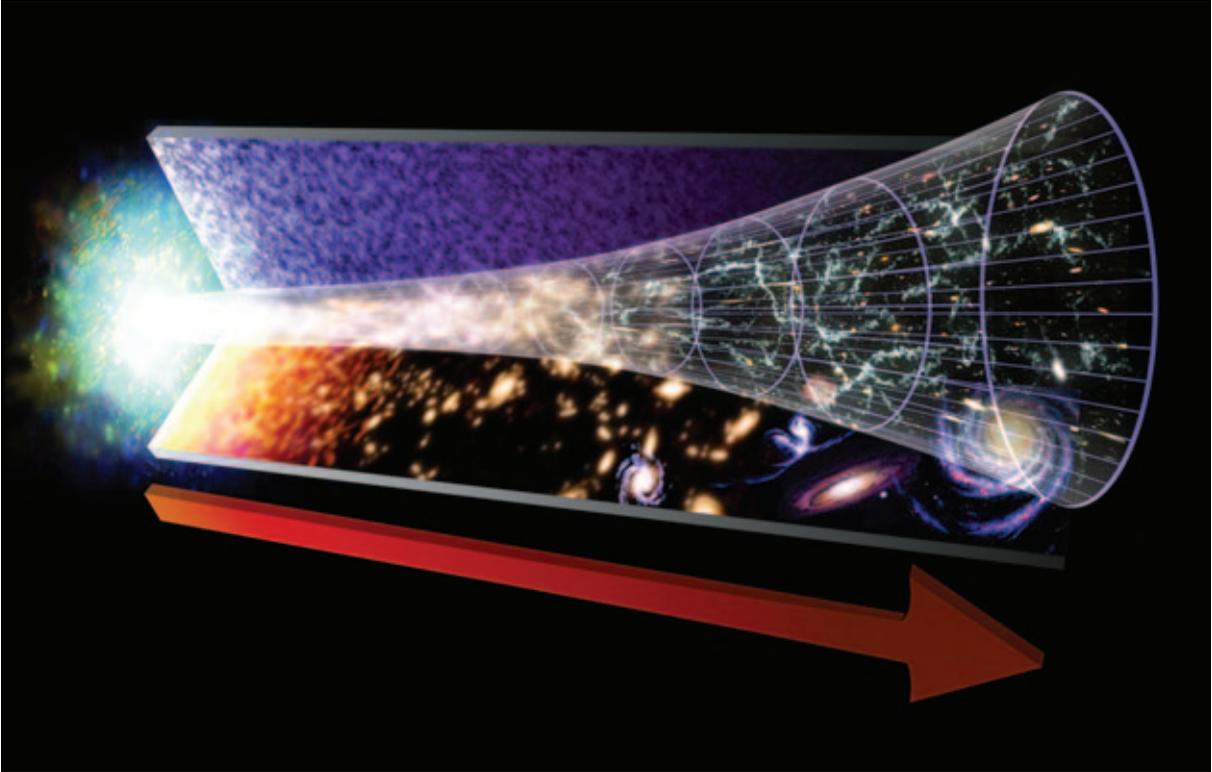
La confirmación definitiva llegó a principios de abril: las imágenes tomadas por Thomas Lehmann, desde Namibia, mostraban que la cabeza del Leonard lucía prácticamente “transparente”. El sorprendente cometa se había destruido y solo quedaban sus restos polvorientos y vaporosos, en clara dispersión y a la deriva. Fue el final de un peregrinaje orbital de decenas de miles de años, que lo trajo desde las más heladas y oscuras periferias del sistema solar, hasta estos cálidos y luminosos pagos internos. Nos tocó en suerte ser los privilegiados testigos de su breve, alegre y luminosa gloria, y de su oscuro, violento y definitivo ocaso. ■

Comunicación científica

FRASES ASTRONÓMICAS POPULARES, PERO NO DEL TODO CORRECTAS

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

01



01 Construido a partir de la Relatividad General de Einstein, el Big Bang es un modelo para la evolución del universo que nos permite reconstruir su historia desde una época muy temprana hasta nuestros días.

La tarea de contar al público las teorías que los científicos exploramos y los nuevos resultados que de ellas se desprenden no es para nada fácil. Permanentemente debemos desarrollar nuevas estrategias para abordar temas cada vez más especializados que, además de dificultarse por los tecnicismos que hay detrás de ellos, manifiestan aún más el hecho de que la divulgación de ciencias no es tan solo hacer una traducción de lenguajes a partir de los trabajos científicos. En este artículo revisamos en cinco frases populares algunos de los errores más comunes en la divulgación, relacionados con gravitación, el tiempo, agujeros negros y la cosmología, y los analizamos con un poco más de profundidad.

1- ¿Qué cosa es el Big Bang?

“La teoría del Big Bang es una teoría acerca del origen del universo. Sostiene que hubo una explosión hace unos 13.800 millones de años y que de allí surgió todo lo que conocemos, incluidos el espacio y el tiempo, y explica cómo desde entonces el universo ha estado expandiéndose”.

Comencemos haciendo la siguiente distinción, que nos resultará útil para lo que sigue: el Big Bang tiene más rasgos característicos de un *modelo* que los de una *teoría*; en el contexto de modelos y teorías científicas². El Big Bang es un modelo construido a partir de teorías físicas, fundamentalmente a partir de la Relatividad General de Einstein (1915), nuestra mejor construcción teórica al momento para predecir y explicar todos los fenómenos



gravitacionales conocidos. En el marco de esta teoría, la gravedad no es una fuerza sino un *campo*, descrito por la curvatura del espacio-tiempo, y donde la geometría de este último se vincula con su contenido de materia y energía.

Por otro lado, el Big Bang como modelo ha ido evolucionando y mutando a lo largo de muchas décadas. En algún momento pensamos que el universo estaba hecho solo de átomos y radiación. Luego apareció la *materia oscura*. Se encontraron problemas y se propusieron soluciones. Más recientemente entró en juego la *energía oscura*, para dar cuenta de nuevas y más precisas observaciones cosmológicas [6]. No es un modelo terminado y sin huecos. Continúa en progreso. Pero las teorías pilares del modelo aún siguen siendo las mismas. Y sus predicciones, concuerdan muy bien con un extenso y variado registro de observaciones y experimentos.

La edad del universo, unos 13.800 millones de años, no es algo que podamos deducir solo a partir de observaciones. Es el resultado de cálculos habiendo adoptado una lista de suposiciones, la que incluye una familia de observadores particulares, una cierta geometría, una dada composición del universo y una determinada combinación de datos observacionales. Si cambiamos supuestos, si elegimos otro tipo de observadores, o si elegimos otra combinación de datos, obtendremos una edad diferente. Por lo tanto, la edad del universo, al igual que tantas otras cantidades, es una *estimación*. En este caso se trata del tiempo transcurrido hasta el presente, para unos determinados observadores ideales, siguiendo particulares trayectorias en el universo, que los cosmólogos elegimos

para hacer nuestras descripciones. Estrictamente hablando, no es la edad que estimaría un humano en la Tierra. De tal manera que, a veces, resultan un tanto confusas o engañosas afirmaciones que uno lee, tales como “*el universo se originó hace 13.810 millones de años y no 13.700 como se creía hasta entonces*” [7], como si se pudiese establecer un número exacto. Lo que realmente está sucediendo es que cada año tenemos más cantidad de mediciones y son cada vez más precisas.

Si bien solemos decir que todo lo que conocemos surgió en el Big Bang, dándole ese nombre también al *hipotético* evento inicial (que aparece al intentar hacer *cierta extrapolación* del modelo hacia el pasado), como modelo no describe el origen del universo, ni el origen del espacio, ni el origen del tiempo, simplemente porque el *Bang* no es parte del modelo. Ni tampoco supone una explosión. Incluso podría no haber existido tal *singular* evento inicial, puesto que uno puede construir modelos que evaden dicha situación, abordados tanto en el marco de la Relatividad General como con modificaciones de ella, o con ciertos modelos de universos cíclicos u otros casos más sofisticados [8].

Estos modelos alternativos tampoco están libres de problemas. Lo cierto es que todavía no tenemos idea de cómo surgió el espacio-tiempo y cuál es su naturaleza. Por las circunstancias físicas que aparecerían involucradas hacia el inicio del universo, y puesto que las otras interacciones conocidas de la naturaleza han conseguido su éxito gracias a poseer una descripción cuántica de ellas, estamos bastante convencidos de que para poder hacer buenas predicciones para el origen del universo necesitaremos disponer de una teoría acabada que fusione exi-

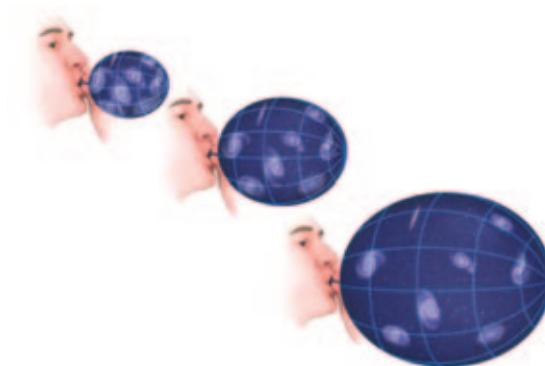
tosamente la gravitación con la Física Cuántica. Aún no hemos logrado eso. El modelo *actual* del Big Bang parte de la premisa de que existe un espacio-tiempo en expansión, regido por la Relatividad General, y que con dicha propuesta podemos modelar la evolución del universo desde una época muy temprana, conocida como “*época inflacionaria*”, y lograr seguir dicha evolución hasta nuestros días [9]³. Para ello, asumimos también que el universo muy temprano estuvo dominado por un tipo de materia, descrita cuánticamente, con propiedades un tanto exóticas (si la comparamos con la materia que compone los objetos de nuestra vida cotidiana), y que posteriormente hubo procesos físicos que fueron dando lugar a todo el modelo estándar conocido de partículas, átomos, galaxias, etc.

Es así entonces que el modelo del Big Bang nos otorga una representación física para la evolución del universo a grandes escalas, desde una época muy temprana (pero no desde el origen) hasta nuestros días, y que nos permite explicar de manera muy satisfactoria un conjunto enorme de observaciones astronómicas.

2- La expansión del universo

“Sabemos que el universo se expande porque medimos corrimientos al rojo Doppler en los espectros de las galaxias. Además, la expansión del universo provoca que entre las galaxias se cree espacio o que el espacio se estire. Como un globo que se infla”.

Las mediciones de desplazamientos o *corrimientos al rojo* en los espectros de muchas galaxias constituyen unas de las pocas cantidades físicas que uno puede medir de manera directa, objetiva y prácticamente irrefutable [10]. Por otra parte, el corrimiento al rojo (o al azul) en la frecuencia de la luz (o el sonido) es un fenómeno bien conocido, especialmente a través del *efecto Doppler*. Este efecto tiene que ver con un cambio en la frecuencia de la luz debido al movimiento relativo entre una fuente de luz y un receptor. Así, la frecuencia de luz emitida por una fuente es detectada con una frecuencia diferente al llegar a un receptor, si existe una velocidad relativa no nula entre ellos. Algo parecido ocurre con la frecuencia de la luz de las galaxias al llegar a nuestros telescopios. Pero, ¿eso significa que las galaxias se mueven en el es-



pacio de manera relativa a nosotros como receptores? No necesariamente.

En el marco de la Relatividad General, existen diversas *soluciones teóricas* que describen un universo que se expande. Dicha expansión nos dice que las distancias (propias) cosmológicas entre galaxias crecen a medida que pasa el tiempo. Y que la frecuencia de la luz, emitida desde una galaxia, será diferente cuando es detectada en otra galaxia. Esta modificación de la frecuencia es debida a la expansión del universo, predicha por la Relatividad General, y no es el resultado del efecto Doppler tradicional, que de hecho Hubble y sus contemporáneos inicialmente supusieron como posible causa de lo observado [11, 12]. Las galaxias podrían estar fijas en el espacio, sin movimientos propios, y sin embargo detectarse corrimientos en las frecuencias de la luz emitida. Esta *predicción* teórica, en virtud de un modelo de universo que se expande, nos permite *explicar* no solamente los desplazamientos detectados en las líneas espectrales de las galaxias, sino además una gran cantidad de otras observaciones astronómicas. Es por la suma de todo esto que el modelo de universo en expansión es tan exitoso. Pero claro, observar un corrimiento al rojo, entonces, *no demuestra* que el universo se expande, porque precisamente la expansión es una de las premisas de nuestro modelo cosmológico (uno podría construir, por ejemplo, un universo estático donde también existan los corrimientos al rojo). Por otra parte, esta expansión del universo no debe confundirse con la creación de espacio entre galaxias, ni ser vista como un “estiramiento” del espacio haciendo la típica analogía con la de un globo de goma que se infla. Las analogías del globo o la de una

04

NASA/JPL-Caltech



02 *Cúmulo de galaxias en la constelación de Virgo; un sector llamado, entre los aficionados, la Cadena de Markarian.*

03 *La expansión del universo nos dice que las distancias entre galaxias distantes crecen con el tiempo. La analogía del globo que se infla nos permite captar algo de la idea, pero es importante siempre aclarar cuáles son las limitaciones.*

04 *Un agujero negro es una región del espacio-tiempo de la cual nada puede salir. Los efectos gravitacionales de estos objetos suelen ser fuente de malas interpretaciones acerca del paso del tiempo.*



sábana que se deforma podemos usarlas, pero es imprescindible aclarar siempre cuáles son las limitaciones de las analogías que uno va a usar. Primero, el universo es descrito por un espacio-tiempo y la superficie de un globo no es eso. Quiero decir, las propiedades físico-matemáticas que definen un espacio-tiempo son diferentes. Segundo, el globo se *estira* en un espacio preexistente (su entorno), cosa que no sucede con el universo que, por definición, contiene el todo. Estirar algo, además, en general hace referencia a *alargar* ese algo, por ejemplo, *tensándolo*. Como ya mencionamos, en el caso del universo utilizamos el término *expansión* para referirnos simplemente a que las distancias propias entre los objetos distantes cambian con el tiempo, y sabemos calcular cómo se modifican de acuerdo a cuáles son los constituyentes que habitan el espacio-tiempo. Y tercero, el globo está hecho de algún material (goma), que a su vez está hecho de átomos, y tiene propiedades como elasticidad, tensión, resistividad, conductividad eléctrica y térmica, etc. En cambio, no tenemos aún una teoría que nos diga *qué es*, en su esencia fundamental, el espacio-tiempo. Por lo tanto, preferimos evitar hablar de creación o estiramiento del espacio-tiempo, puesto que requeriría de una complejidad extra que aún no tenemos.

3- Moviéndose rápido: el paso del tiempo y la masa de los objetos

“Moverse muy rápido o estar a cierta altura del piso implica que el paso del tiempo (los tictacs) medido por un reloj es diferente. Los objetos tienen una masa que cambia con la velocidad, y no pueden alcanzar la velocidad de la luz porque sus masas se harían infinitas”.

La teoría de la Relatividad Especial (1905) nos trajo, entre otras cosas, un enorme cambio de paradigma en lo que se refiere a nuestro entendimiento del espacio y el tiempo. De hecho, el espacio y el tiempo pasaron a conformar un único “objeto” matemático continuo que llamamos espacio-tiempo, al que ya nos hemos estado refiriendo en los dos puntos anteriores. El precio que pagamos fue aceptar (postular) que existe en la naturaleza una velocidad máxima absoluta en el universo: *la velocidad de la luz en el vacío*. Unos 300 mil kilómetros por segundo. No importa cómo un observador se mueva en el espacio-tiempo, si lleva a cabo un experimento con

luz, medirá que esta se propaga siempre con la misma velocidad en el vacío.

Este cambio de paradigma desencadenó una enorme cantidad de consecuencias. Y también de paradojas. La “*paradoja de los gemelos*” es una de las ampliamente difundidas, pero lamentablemente también suele ser muy mal contada o enseñada [13]. En ocasiones se utiliza como situación para explicar que “*cuando alguien se mueve muy rápido, su tiempo pasa más lento*”, cosa que dicha así es totalmente falsa. Es más, siguiendo esta línea de pensamiento, algunos redoblan la apuesta con “*y si llegaras a moverte a la velocidad de la luz, tu tiempo se detendría*”.

Dicho de manera resumida, la paradoja en cuestión consiste en lo siguiente: hay dos gemelos, Pedro y Carlos. Uno de ellos, Pedro, emprende un viaje a una estrella lejana y luego retorna a la Tierra. Si el tiempo transcurrido entre que se separaron y que volvieron a juntarse es relativo al estado de movimiento, el que se quedó en la Tierra (Carlos) dice que el tiempo del viaje fue mayor para él que para el viajero que estuvo moviéndose, alejándose a cierta velocidad respecto de él para luego retornar; mientras que desde el punto de vista del viajero es Carlos, el que se quedó en la Tierra, el que debería lucir más joven... porque, al fin y al cabo, cualquiera de los dos puede decir que fue él el que permaneció quieto y que el otro fue el que estuvo moviéndose. Pero al reencontrarse, lo cierto es que *objetivamente* el viajero es quien aparece más joven.

La teoría de Einstein nos enseña que *localmente* (digamos en un punto del espacio) el paso del tiempo (los tictacs de un reloj) es siempre el mismo y que no tenemos manera de darnos cuenta de si estamos quietos o moviéndonos con cierta velocidad. Lo que llamamos un *lapso de tiempo* medido por un observador, no es otra cosa que la cantidad de tictacs que mide un (buen) reloj ideal, en reposo con el observador, al recorrer una cierta trayectoria (*línea de mundo*) en el espacio-tiempo. Si a ese reloj le hacemos recorrer caminos distintos entre dos *eventos* A y B del espacio-tiempo, medirá lapsos de tiempo diferentes⁴.

En el caso de los gemelos de la paradoja, ambos van desde A hasta B, pero recorren caminos diferentes en el espacio-tiempo. Por lo tanto, los tiempos transcurridos son distintos. Uno resultó más joven que el otro simplemente porque recorrieron caminos distintos hasta volverse a encontrar, y el tiempo total transcurrido para recorrer esos caminos distintos fue diferente [14]. Pero aquí viene lo más importante: los tictacs de ambos relojes fueron y siguen siendo idénticos. El “*paso*” del tiempo de ambos gemelos es siempre el mismo. El tiempo no pasa más lento o más rápido en uno u otro reloj por estarse moviendo (lento, rápido o lo que sea). No tiene ningún sentido físico decir “*este reloj anda más lento*”. Lo que tiene sentido físico aquí es la comparación del tiempo transcurrido entre los dos relojes y no el tiempo transcurrido en un solo reloj. Dicho en otras palabras,

lo que tiene sentido es la *comparación* de la cantidad de tictacs medidos por un reloj *respecto* a otro(s) reloj(es). Pero, volvamos a insistir, los tictacs son idénticos en todos los relojes: 1 segundo es 1 segundo en todos los relojes.

Un “pariente” de estos asuntos de “*eso pasa cuando te movés rápido*” es el de la masa de los objetos. En Relatividad Especial, la masa de un objeto es un *invariante*. Eso significa que, si un objeto tiene 1 kg de masa, lo tendrá no importa cómo se mueva, ni de quién lo mida, ni de cómo se mueva el que lo mida (estamos pensando, por ejemplo, en el caso de una partícula y sin interacciones con otras). La masa de un objeto no cambia porque dicho objeto se mueva⁵.

En la famosa ecuación que aparece hasta en remeras $E = mc^2$, “*m*” es la masa y “*c*” es la velocidad de la luz en vacío. Esa energía *E* no es la energía total relativista. Es solo la energía de una masa *m* cuando se encuentra en reposo. Cuando una masa *m* está en movimiento, el objeto tiene más energía. Y el punto es que si uno quiere acelerar un objeto de masa *m* hasta la velocidad de la luz, la que resulta infinita es la energía (el trabajo) que uno debe entregarle al objeto para lograr eso. De esta manera, no es posible que un objeto con masa pueda alcanzar la velocidad de la luz. Y como contracara de esto, partículas que no tengan masa (como el *fotón*, por ejemplo) están obligadas a moverse a la velocidad de la luz.

Con el surgimiento de la Relatividad General, la gravitación fue incorporada a la relatividad de Einstein. Y en el marco de esta teoría, el campo gravitatorio no es otra cosa que la geometría del espacio-tiempo, caracterizada por su curvatura. El espacio-tiempo rígido de la Relatividad Especial se convirtió en dinámico, más complejo y además contiene el germen de nuevas y revolucionarias predicciones. Es en este contexto, entonces, que aparecen otra vez cuestiones con el tiempo y los relojes. En presencia de gravedad, dos relojes que viajen por trayectorias distintas entre dos eventos A y B en el espacio-tiempo, también registrarán lapsos de tiempo diferentes. Un reloj quieto en el piso de una habitación está siguiendo una trayectoria diferente en el espacio-tiempo a la de un reloj quieto en el techo de la misma habitación. Si bien los tictacs de ambos relojes son idénticos y el tiempo pasa de la misma manera en ambos, al ser comparadas las cantidades de tictacs medidas por uno u otro reloj entre dos eventos van a diferir. ¿Significa esto que una persona en el piso de la habitación envejece más lento que alguien en el techo? ¡No! Los tictacs de sus relojes son idénticos. Si ambos miden el tiempo transcurrido entre dos eventos dados, cuando decidan trasladarse y juntarse en un mismo lugar y hacer sus comparaciones, es ahí cuando uno le dirá al otro que midió una cantidad distinta de



tictacs totales.

Este ejemplo análogo servirá como conclusión: podemos elegir ir en auto desde Buenos Aires a Mar del Plata por dos rutas diferentes. Ambos automóviles tienen idéntica graduación en sus odómetros: 0, 1, 2, 3... Ambos están de acuerdo en qué significa el paso de 1 kilómetro. Pero al recorrer caminos diferentes entre la partida y el destino, cuando vuelvan a encontrarse uno dirá que recorrió, por ejemplo, 400 kilómetros, mientras que el otro dirá que recorrió 542 kilómetros. ¿Acaso por eso dirán que el espacio pasó distinto para uno que para otro?

Y, por cierto, no hace falta moverse rápido o tener que estar cerca de objetos muy masivos para que esto se manifieste: los satélites GPS que orbitan la Tierra lo hacen a velocidades muy chicas respecto a la velocidad de la luz, el campo gravitatorio no es tan intenso, y sin embargo sus relojes internos deben tener en cuenta estas correcciones *relativistas* al querer ser comparados con los nuestros aquí en la superficie.

4- Agujeros negros: donde el tiempo... ¿se detiene?

“Existen lugares donde el tiempo se detiene. Cerca de un agujero negro el tiempo pasa distinto, y si estuviera sobre el horizonte de eventos, mi reloj se detendría. Por otro lado, los efectos gravitacionales cerca de un agujero negro supermasivo serían devastadores”.

Un agujero negro es una región del espacio-tiempo de la cual nada puede salir. Es una definición divulgativa que para los fines prácticos funciona. Si bien no vamos a entrar

05 *Los gemelos Óscar y Ángel Romero, cuando jugaban juntos en San Lorenzo de Almagro. La paradoja de los gemelos es una de las ampliamente difundidas, pero lamentablemente también suele ser muy mal contada o enseñada.*

06 *En el tema Time (Tiempo) de Pink Floyd, Roger Waters (en la foto) contempla relojes desperdigados por el espacio. El paso del tiempo en el contexto relativista suele ser uno de los temas favoritos en la divulgación, pero no siempre bien transmitido.*

en los detalles técnicos aquí, es importante mencionar que un agujero negro es algo bastante más complicado que eso, realidad que se torna evidente cuando se aborda el tema a través de textos especializados, e.g. [15, 16].

El concepto moderno de agujero negro nació como una predicción teórica en 1916, al analizarse una solución particular que contemplaba la teoría de la Relatividad General: una descripción matemática de un espacio-tiempo particular. Hoy se sabe que estos objetos podrían venir de varios tipos y con distintas características⁶. A partir de 1964 [17], comenzaron a aparecer objetos observados en el cielo que sugirieron que la existencia de los agujeros negros teóricos podría ser real, como consecuencia de varios procesos físicos en la naturaleza; por ejemplo, como resultado de muertes de estrellas. Hoy en día también tenemos evidencias observacionales de que podrían estar en los centros de las galaxias, en sistemas binarios, aislados y también ya hemos detectado ondas gravitacionales provenientes de la fusión de dos de estos objetos compactos [18].

Estas regiones del espacio-tiempo tienen (por lo menos) un horizonte, llamado *horizonte de eventos*. Es la superficie o el “borde” espacial de dicha región, de la cual no pueden salir del interior ni siquiera rayos de luz. De allí que se llamen *negros*⁷. *Agujero negro* es un término que acuñó el físico John Wheeler recién en 1967, llamando así a toda región compactada y atrapada dentro del mencionado horizonte. El tamaño del horizonte de eventos depende de la masa del agujero negro. Cuanta más masa, más grande es el horizonte de eventos. Pero déjenme decir aquí, que el asunto de la masa del agujero negro es otra cuestión aparte. Porque no es lo mismo si estamos hablando del agujero negro “sencillo” que inició todo este asunto (el que descubrió Karl Schwarzschild en 1916 estudiando las ecuaciones de Einstein), que si estamos hablando de agujeros negros astrofísicos. Estos últimos serían el resultado de, por ejemplo, la muerte de alguna estrella masiva por colapso gravitacional, como Robert Oppenheimer y otros empezaron a sugerir a fines de los '30 del siglo pasado [19, 20], y que fue magistral-

mente descrito, de manera más general, en el trabajo de Roger Penrose en 1964, por el que recibió el premio Nobel de física en 2020 [21].

En el caso del agujero negro de Schwarzschild, la descripción teórica es bastante sencilla, pero tiene la particularidad de que la masa del agujero negro ni siquiera está adentro del horizonte de eventos. Porque estrictamente hablando, Schwarzschild estudió una solución de vacío de las ecuaciones de Einstein. O sea, en su caso no hay materia presente en ningún lado. Así que aquí, cuando estemos hablando de agujeros negros, estaremos pensando en los del tipo astrofísico, que son los de más interés para los lectores aficionados a la astronomía. De todas maneras, todos tienen muchas características o rasgos en común, pero es bueno aclararlo porque a veces uno lee cosas como “*los agujeros negros son grandes concentraciones de masa*”, lo cual no es necesariamente cierto. Como ya mencionamos anteriormente en “*Moviéndose rápido: el paso del tiempo y la masa de los objetos*”, el campo gravitatorio hoy es entendido como la curvatura del espacio-tiempo, y por lo tanto las trayectorias de los objetos masivos o de rayos de luz son consecuencia de cómo sea la geometría en cuestión. La presencia de una estrella o de un agujero negro altera la geometría del espacio-tiempo. De la misma manera que el piso de mi habitación no es estrictamente hablando igual al techo, la geometría (y por lo tanto el campo gravitatorio) cerca de un agujero negro es muy distinta a la correspondiente en una región muy lejana a él.

Es así entonces que podemos plantearnos la siguiente situación para dos astronautas viajeros intrépidos. Uno que decide quedarse cerca de la Tierra (el que no resultó tener mucho espíritu de viajero) y otro que decide ir hasta un agujero negro y dejarse caer libremente hacia su interior apagando los motores. Ambos tienen consigo dos “buenos” relojes idénticos y sincronizados cuando empieza la aventura, y se pusieron de acuerdo en que cada segundo se enviarían 1 pulso luminoso a modo de “*hola, acá estoy*”. ¿Qué mide cada astronauta? ¿Pasa el tiempo distinto para cada uno?

Lo primero es recordar que ya aprendimos que los tictacs de los relojes son siempre idénticos para ambos. Para ambos, 1 segundo significa lo mismo y a cada segundo se envían uno al otro una señal luminosa. Así que los rayos de luz para ambos lados salen con una frecuencia de 1 pulso cada segundo (1 Hertz).

El astronauta que llega a la zona del agujero negro y empieza a hacer su caída libre no nota nada extraño. Su reloj sigue funcionando segundo a segundo, haciendo tic-tac tal cual lo hizo durante todo su viaje desde que salió de la Tierra. Cruzará el horizonte de eventos sin notar nada raro. Claro, si quisiese salir de él encendiendo los motores notará que ya no puede hacerlo. Pero lo que queremos remarcar aquí es que no encontró en su viaje ningún lugar donde notara que su tiempo se haya detenido o que transcurriera de manera diferente. No existe en el universo un lugar donde el tiempo se detiene. Otra historia será cuando la distorsión del es-

07

Salvador Dalí, 1954



pacio-tiempo en el interior sea tal que los efectos gravitacionales queden en evidencia por otras razones. Por ejemplo, que los efectos sobre su cabeza sean notoriamente diferentes a los efectos sobre sus pies.

Mientras estaba afuera del horizonte, en su caída, recibía los pulsos enviados por su compatriota en la Tierra. Pero detectaba que llegaban con una frecuencia diferente a la suya: llegaban con una frecuencia mayor, corrida hacia el azul. Claro, dice. Mientras hacía sus cálculos utilizando la Relatividad General, entendió que su compatriota en la Tierra estaba siguiendo una trayectoria o línea de mundo en el espacio-tiempo diferente a la de él, por moverse distinto y por estar en una región muy diferente de la geometría espacio-temporal. Entendió que, si bien cada pulso salía de la Tierra hacia él cada segundo, de la misma manera que cada segundo él enviaba hacia la Tierra un pulso similar, la cuestión en los arribos de las señales no iba a ser simétrica.

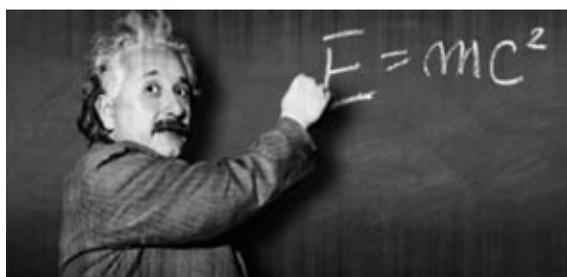
Por otro lado, el que se quedó en la Tierra observa y mide que los pulsos provenientes del viajero llegan cada vez más espaciados en el tiempo. Cada vez debe pasar una cantidad mayor de tictacs hasta el arribo del siguiente pulso. Observa entonces que la frecuencia de las señales enviadas por el astronauta cerca del agujero negro se va corriendo cada vez más hacia el rojo. La frecuencia es cada vez más baja. Como si el tiempo del astronauta viajero se dilatara. En particular, puede deducir que el viajero, respecto a él como observador en la Tierra, nunca cruzará el horizonte de eventos. Pero como entiende Relatividad General, sabe que es una cuestión de cómo él como observador está inmerso en el espacio-tiempo en cuestión. Sabe que para el compatriota en la nave, los tictacs siguen iguales que siempre y que no hay objetivamente ningún lugar donde realmente el tiempo se detenga. Y que tarde o temprano, la trayectoria del astronauta es tal que indefectiblemente caerá dentro del agujero negro, en un tiempo finito marcado por el reloj de la nave.

Concluamos: el paso del tiempo (tictacs) para ambos es siempre idéntico, pero el intervalo de tiempo medido por cada uno (cantidad de tictacs) entre dos eventos dados (el arribo de dos pulsos consecutivos, digamos) es diferente. Por lo tanto, las frecuencias con que emiten y con que reciben las señales no coinciden.

Vamos por último a lo de “*los efectos gravitacionales cerca*

de un agujero negro supermasivo serían devastadores”. Si por efectos devastadores nos están queriendo decir que un agujero negro es una especie de “gran aspiradora” que se traga todo, empecemos descartando eso. Los objetos pueden orbitar de manera estable un agujero negro. Los tipos de órbitas posibles están bien estudiados y se conocen muy bien. Sabemos calcular cuándo una órbita será estable y cuándo no. Y hasta ahora, todas las observaciones parecen estar de acuerdo con nuestros cálculos. Pero por otro lado está el mito de que “*cuanto más grande sea el agujero negro*” (o sea cuanto más masivo sea), “*los efectos gravitacionales serán más notorios*”. ¿Más notorios para quién y en qué circunstancias?

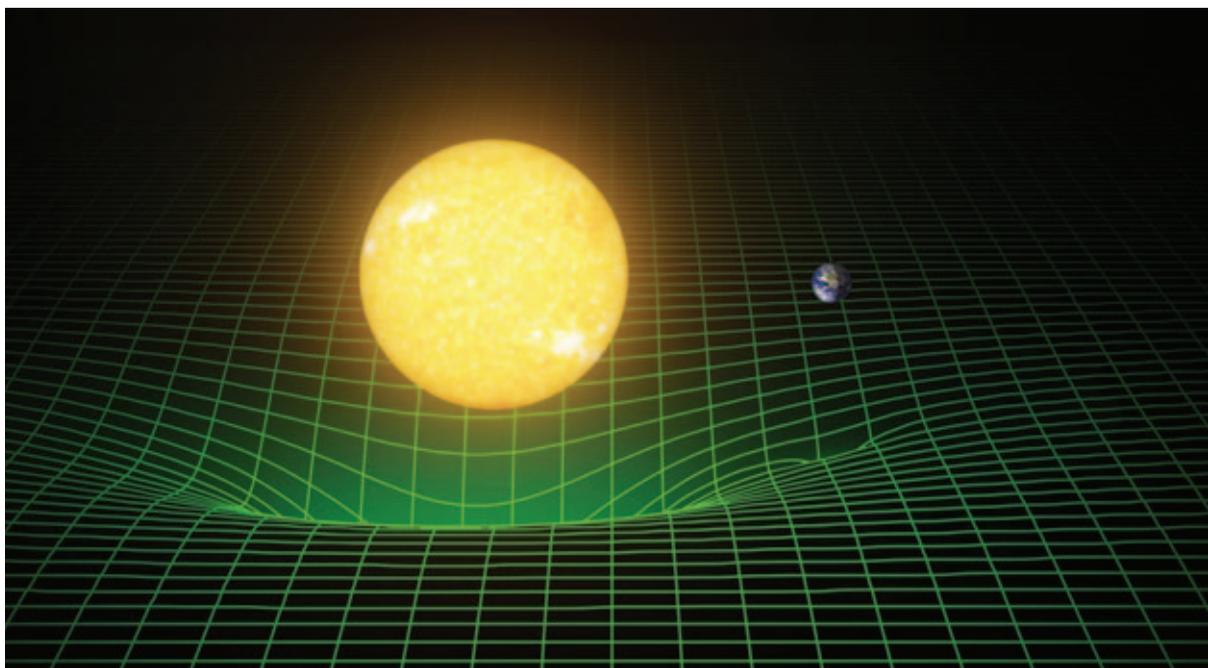
08



“La edad del universo es una estimación: unos 13.800 millones de años, como resultado de cálculos habiendo adoptado una lista de suposiciones. Si elegimos otra combinación de datos, obtendremos una edad diferente”.

07 *Los relojes blandos de Salvador Dalí fueron utilizados muchas veces por el artista español para representar la relatividad del tiempo. La gravitación como deformación del espacio-tiempo nos trajo nuevos fenómenos en la medición del tiempo.*

08 *La ecuación más famosa de la física también es fuente de confusiones en la comunicación.*



Como ya mencionamos más arriba, el “tamaño” de un agujero negro viene dado por el diámetro del horizonte de eventos. Y ese tamaño es proporcional a su masa. Por lo tanto, podemos pensar que de alguna manera la “escala de longitud” que nos da la información de cuándo los efectos gravitacionales de la curvatura del espacio-tiempo se harán importantes para alguien es justamente el tamaño del horizonte. Un agujero negro supermasivo, como los que pensamos que están en los centros de las galaxias, tiene un horizonte de eventos cuyo tamaño es tan grande que una nave espacial o un planeta, dado su tamaño en comparación al del horizonte, al atravesarlo ni siquiera lo percibirá. Notemos que la densidad de masa de estos objetos tan masivos es extremadamente baja. Incluso mucho menor que la densidad del agua. Por lo tanto... si tuviera que elegir en cuál agujero negro caer, preferiría hacerlo en uno supermasivo y no en uno de masa estelar, ya que tendría de esa manera un tiempo de vida *relativamente feliz* bastante mayor.

5- Gravitación

“La gravedad es una fuerza atractiva y es la responsable de que los planetas tengan forma esférica: los cuerpos como estrellas y planetas tienen tanta masa que su gravedad, al ser tan grande y tirar por igual de todos lados hacia el centro, logra formarlos con forma esférica. Por otra parte, al ser la gravedad atractiva, lo que hoy conocemos como Energía Oscura, que acelera la expansión del universo, es entonces una especie de antigravidad”.

La idea de que la gravedad es una *fuerza* está plasmada de manera matemática en la famosa ley de la Gravitación Universal de Newton. La que dice que la fuerza gravitatoria entre dos objetos es proporcional al producto de

las masas de tales objetos e indirectamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa sus centros. Es siempre atractiva, puesto que no conocemos cuerpos con masas negativas. Y su acción a distancia es inmediata. Un objeto siente los efectos gravitatorios de otro de manera instantánea. Los efectos de la gravedad viajan a velocidad infinita. Algo que claramente ahora nos choca de frente con las nuevas ideas *relativistas* de Einstein.

Pero veamos que hay algo que no puede ser cierto en la afirmación de que es la única responsable de que los planetas y las estrellas tengan forma esférica. Algo tiene que detener el colapso gravitatorio. Si solo estuviese actuando sobre la materia estelar la fuerza gravitatoria en todas direcciones por igual y hacia el centro, ¿qué detiene el colapso total hacia un punto? ¿Por qué se detiene y el objeto queda con un tamaño finito y fijo? Falta mencionar la repulsión eléctrica, o los procesos nucleares en el caso de las estrellas, que generan una fuerza opuesta a la gravedad y que logran el balance. ¡Es una pieza vital para que estos objetos tengan una forma esférica! De hecho, es esta contraparte la que permite que otros objetos, como los asteroides, tengan en general formas muy irregulares apartadas de la forma esférica.

Si bien la gravitación de Newton es muy eficiente para explicar, de manera aproximada, muchos fenómenos, debemos recordar que la mejor descripción que tenemos hoy para la gravitación es a través de la Relatividad General de

09 *A partir de la Relatividad General de Einstein, la gravedad no es entendida como una fuerza sino como un campo, descrito por la curvatura del espacio-tiempo, y cuya geometría se vincula con su contenido de materia y energía. Esta representación tampoco está libre de problemas: por ejemplo, la dimensionalidad espacial es confusa y el tiempo está ausente.*

Einstein. Hemos mencionado anteriormente algunas de las predicciones de la Relatividad General, imposibles en el marco de la teoría de Newton: los desplazamientos de frecuencias en señales asociados con la gravedad, los agujeros negros y las ondas gravitacionales, ondulaciones del espacio-tiempo que viajan a la velocidad de la luz.

¿Y qué hay de eso acerca de que *lo que hace acelerar la expansión del universo es una especie de antigravedad?* Visto como una fuerza, la gravedad newtoniana implicaría algo de ese estilo para explicar la aceleración del universo. Pero la *Energía Oscura* es otra cosa. La Relati-

“La paradoja de los gemelos es ampliamente difundida y en ocasiones se utiliza como situación para explicar que cuando alguien se mueve muy rápido, su tiempo pasa más lento, cosa que dicha así es totalmente falsa”.

Notas

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

2 No hay un consenso universal acerca de este tipo de distinciones y la bibliografía es muy extensa. En este artículo estaremos refiriéndonos a las teorías físicas, de una manera simplificada y no tan rigurosa, como un conjunto de enunciados que están organizados lógicamente y que permiten la explicación de fenómenos, describiendo (alguna parte de) la realidad subyacente a ellos, es decir, regularidades que suceden en el mundo, y prediciendo nuevos fenómenos. Por otra parte, diremos que un modelo es como “una especie de representación posible”, idealizada, recortada, incompleta y aproximada de la realidad, que por lo general está en función de supuestos teóricos o de una teoría. El modelo viene a ser el nexo o el mediador entre la teoría y la realidad. Podemos decir también que el modelo es la estructura supuesta, mientras que la teoría es el conjunto articulado de enunciados que describe dicha estructura. Ver, por ejemplo, [1-5].

3 En el marco del modelo del Big Bang estándar existen algunas propuestas acerca de qué pudo haber sucedido antes de la Inflación o cómo pudo iniciarse la expansión en algún instante, pero lo cierto es que aún es muy difícil poder decir algo más concreto.

4 En Relatividad, un evento es un suceso que ocurre en un punto dado del espacio-tiempo, o sea, es un punto del espacio a un dado instante de tiempo.

5 Históricamente, al principio apareció una cantidad llamada (desafortunadamente) “masa relativista”; una cantidad asociada con la masa del objeto y que cambiaba con la velocidad del mismo. Esto ha sido el germen de varios malos entendidos, en particular el que aquí se menciona.

6 Por ejemplo, pueden ser estáticos, rotar o tener carga eléctrica, y sus masas pueden ser muy variadas.

7 Salvo que uno considere efectos cuánticos, pero no es el caso en este artículo.

Referencias

[1] Klimovsky G., Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología, 3ª ed., A-Z Editora, Buenos Aires, 1997.
[2] Bunge, M. La ciencia, su método y su filosofía. Buenos Aires: Siglo XX, 1988.

vidad General, teoría base de la cosmología física moderna, contempla la posibilidad de un universo cuya expansión acelera. Y no es otra cosa que una de las tantas manifestaciones de la gravedad. Para la Relatividad General, no hay fuerza de *antigravedad* ni nada por el estilo. Todo es fruto de la gravitación. Gran parte de los relatos erróneos en la divulgación provienen de intentar describir fenómenos gravitacionales mezclando conceptos newtonianos con relativistas al mismo tiempo.

Epílogo

Con algunos ejemplos del área de la gravitación, hemos intentado mostrar cómo con el objetivo de llegar al público general, recreando analogías, innovando estrategias y pensando cómo hacer el acceso más didáctico, a veces corremos el riesgo de *reducir* demasiado un contenido. En consecuencia, terminamos transmitiendo conceptos erróneos que luego son tremendamente difíciles de erradicar por la manera en que han sido instalados. La información transmitida con conceptos erróneos conduce a deducciones y conclusiones ulteriores también erróneas. Una bibliografía adecuada (calificada) y la interacción con especialistas son vitales para una mejor comprensión de las ideas y los resultados científicos que cada día son más específicos. ■

[3] Lombardi O., La noción de modelo en ciencias, Educación en Ciencias, Vol. II N°4, (2007) 5.

[4] Concarí S. B., Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias, Ciencia y Educación, Vol. 7 (2001) 85.

[5] Adúriz-Bravo A. y Izquierdo-Aymerich M, Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales, REIEC, Año 4 N°1 (2009) 40.

[6] Bengochea G. R., Energía Oscura: 20 años después, Revista Si Muove, N°15 (2018) 41.

[7] Ver por ejemplo: <https://actualidad.rt.com/ciencias/view/89656-big-bang-mapa-preciso-planck>

[8] Ver por ejemplo: Ijjas A., Steinhardt P. and Loeb A., Pop goes the universe, Scientific American, Febrero de 2017, p. 32.; Agulló I., Más allá del Big Bang, Ed. Debate, 2020.

[9] Bengochea G. R., On the quantum description of the early universe, Rev. Mex. Fis. E 17 (2) (2020) 263. Ver también: Bengochea G. R., El origen cuántico del universo, Revista Si Muove, N°18 (2020) 39.

[10] Bengochea G. R., *What do we talk about when we speak of cosmological redshift?* Rev. Mex. Fis. E 65 (2019) 22.

[11] Hubble E., *A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*, Proc. N. A. S. 15 (1929) 168.

[12] Lineweaver C. and Davis T., *Misconceptions about the Big Bang*, Scientific American, March 2005, p. 36.

[13] Ver por ejemplo: https://es.wikipedia.org/wiki/Paradoja_de_los_gemelos

[14] Maudlin T., *Philosophy of Physics – Space and Time*, Princeton University Press, 2012.

[15] Wald R., *General Relativity*, Chicago University Press, 1984.

[16] Carroll S., *An introduction to General Relativity*, Cambridge University Press, 2019.

[17] Bouyer, S. et al., *X-ray sources in galaxy*, Nature 201 (1964) 1307.

[18] <https://www.ligo.caltech.edu/>

[19] Oppenheimer J.R., G.M. Volkoff, *On Massive Neutron Cores*, Physical Review, 55 (1939) 374.

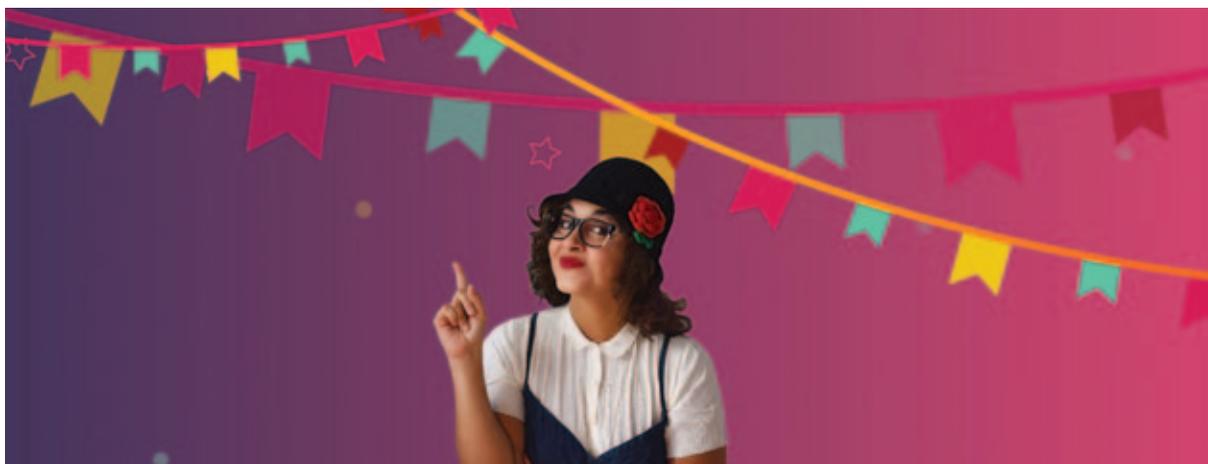
[20] Tolman R. C., *Static Solutions of Einstein's Field Equations for Spheres of Fluid*, Physical Review, 55 (1939) 364.

[21] Penrose, R., *Gravitational collapse and space-time singularities*, Physical Review Letters, 14, no. 3 (1965) 57.

El desafío de acercarse al público infantil desde la virtualidad

LAS PREGUNTAS DE MARTITA

Autoras: Adolfina García Zavalía y Sandra Costa, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.



Como sucedió con la mayoría de las instituciones, el contexto de pandemia obligó a nuestro Planetario a repensar sus actividades para no detener el contacto cotidiano con el público. De la noche a la mañana, no contábamos con el mayor activo de nuestro establecimiento, la sala del Planetario. ¿Cómo mantener vivo el lazo? ¿Cómo hacernos presentes en el día a día? ¿Cómo producir contenidos sin perder la identidad?

Un público particularmente complejo es el infantil, y la mayoría de los formatos que se podía adaptar con más facilidad a la virtualidad no era lo suficientemente atractiva para los más pequeños y pequeñas. Conferencias, cursos, efemérides, posteos o material impreso, cumplían las expectativas y estaban orientados a jóvenes y adultos. Si bien teníamos preparado material para trabajar con la familia, necesitábamos algo que el propio niño o niña pudiera buscar e identificar. La pregunta seguía siendo: ¿cómo llegar directamente a los más pequeños y pequeñas?

Volver a las fuentes

Históricamente, el Planetario ha trabajado con la actuación como un recurso de mediación entre los contenidos y el público infantil. Los espectáculos, especialmente producidos para nuestra sala, han tenido personajes que hicieron las veces de facilitadores y guías, y han invitado a los más pequeños y pequeñas a sumergirse en una aventura en el espacio.

Entonces, la pregunta que nos hicimos fue: ¿por qué no volver a la fuente y construir un personaje que, esta vez, los invite a recorrer el universo, les permita identificarse, hacer preguntas, encontrar soluciones y confrontar disparatadas hipótesis para llegar a una respuesta desde su celular, tablet o computadora? En ese punto se hizo presente Martita, y desde ese lugar comenzamos a construir un lenguaje con el que pudiera interactuar.

Martita, de las escuelas a la virtualidad

¿De dónde sale Martita? El Planetario Itinerante llega a las escuelas con una propuesta lúdica/recreativa en la que los estudiantes son parte de un espectáculo, un juego, un cuento y, a través de la participación, van construyendo contenidos acordes con su edad. Martita es un personaje que nace de uno de estos espectáculos.

Originariamente irrumpía en la escuela y nos invitaba a buscar nuestro lugar en el universo. En este formato, el diálogo era cara a cara, el lenguaje era teatral y los tiempos se iban adaptando a las necesidades del grupo. Al quitar la presencialidad, el lenguaje tuvo que cambiar.

La vorágine que nos plantea la cantidad de información a la que accedemos con nuestros dispositivos, hace que cada vez sea más corto el tiempo que los usuarios están dispuestos a utilizar. Todo en las redes sociales se plantea en términos de inmediatez. Los tiempos pasaron a ser los que imponían las plataformas: 58 segundos para Instagram, 15 segundos para las “historias” o más de 1 minuto para Instagram TV. ¿Cómo construir en tan poco tiempo?

Martita “tiktokera”

Mantuvimos lo esencial del personaje y apretamos el acelerador. Martita es simpática, cálida, desopilante, divertida. Es muy curiosa y siempre quiere saber más y más. Especialmente, investiga todo lo relacionado con el universo. Participa de todas las actividades del Planetario y

está siempre atenta a cualquier información que puedan brindarle los y las especialistas en los temas del espacio. Es soñadora, creativa, imagina todo el tiempo que puede llegar a los distintos planetas, que puede viajar por el espacio, y sueña con convertirse en astronauta. También se interesa por las ciencias en general, y cualquier tema científico es un abanico de posibilidades para su imaginación. Juega con distintos roles: por momentos es “la notera del espacio” y entrevista a divulgadores del Planetario o a personas relacionadas con la ciencia. También es “cuentacuentos”: cuenta historias y leyendas del cielo, juega a ser astronauta, a viajar en su propia nave espacial y a tener su propia tripulación; quiere ser investigadora, científica, astrónoma y, sobre todo, siempre quiere saber más. No tiene miedo a decir cuál es su hipótesis sobre los temas que aborda. No tiene miedo a preguntar ni a equivocarse. Mantiene viva la sorpresa, el entusiasmo y el asombro, cualidades que son propias de los niños y las niñas. Con todo esto, intenta llegar a sus corazones para poder transmitir y contagiar su gran deseo de ser una mujer del espacio. Qué mejor que usar el humor y el disparate para sacar los contenidos de la formalidad de una clase escolar. Buscábamos un personaje que mediara entre divulgadores, científicos, el contenido y los niños y las niñas.

El proceso

¿Cómo lograr construir a la distancia, desde casa y con escasos recursos? A pesar de tener las ganas y el personaje al alcance de la mano, no fue una tarea fácil a la hora de grabar y crear el contenido. Armábamos un guion, creábamos e imaginábamos, pero cuando llegaba la hora de poner en práctica lo pensado, todo se complicaba debido al entorno de estar en pandemia y por no poder utilizar

más que los recursos a nuestro alcance.

Comenzamos utilizando una pared blanca de fondo y haciendo videos cortos, como los de TikTok, para unirlos e ir formando la totalidad del video. En primer lugar, el formato fue pensado para la red social Instagram. Al ver que el público respondía y le interesaba, el contenido y el personaje fueron creciendo, y nos planteamos un nuevo desafío: comenzar a producir videos más largos y complejos para YouTube. Sin embargo, los recursos seguían siendo los mismos: fondo blanco de pared y la manipulación de algunos objetos relacionados con la astronomía.

En una primera etapa, nos propusimos la producción de diez capítulos. Después de agotar varios temas, el formato (fondo blanco con el personaje en el medio) nos limitaba. Por lo tanto, comenzamos a pensar en otros re-





cursos. Pero, ¿cómo complejizar la producción con las herramientas que teníamos en nuestras casas? Necesitábamos agregar elementos.

Comenzamos con una pantalla verde improvisada, iluminamos la escena con todas las lámparas que puede haber en un departamento y generamos pequeñas animaciones que complementaron el personaje. Todo esto permitió jugar con la edición de video para llevar la imaginación a otros lugares: Martita en una nave espacial, Martita caminando en la Luna, Martita atravesando una nebulosa y, finalmente, Martita liberándose del lugar en donde realmente estaba, yendo a un lugar diferente de la “casa” misma.

Entonces, comenzó una nueva etapa para el personaje y sus historias. Los videos en YouTube se disponen en dos

series: “Martita y el espacio”, que se dividen en los primeros videos con formato de fondo blanco, y los últimos, donde el personaje viaja por el sistema solar y/o explica temas puntuales, como un eclipse; y “El cielo durante el año”, en donde busca indagar más sobre la observación de los cielos durante las distintas estaciones del año. En estos últimos, ya se ve la evolución en la edición y el contenido.

Una propuesta que fue creciendo

En una realidad en la que el Planetario buscaba no perder contacto con su público infantil, Martita se transformó en el caballito de batalla en el diálogo con los más pequeños. Fue entrevistada varias veces por el Canal de la Ciudad y se transformó en una visita habitual en distintos programas del medio; dialogó con diferentes divulgadores del Planetario; entrevistó a diversos científicos, tomando el rol de mediadora entre los contenidos y el público infantil; participó de las convocatorias virtuales del Planetario a la comunidad: vacaciones de julio, el aniversario de la institución o eventos del Ministerio de Educación.

Podemos decir que el resultado fue muy fructífero. El material y el contenido queda y quedará en el canal del Planetario, para que pueda acceder cualquier persona interesada. Mientras, Martita sigue con sus aventuras, haciendo preguntas, contando historias, proponiendo teorías disparatadas y explicando los fenómenos del universo. Su relación con el público recién comienza. Por eso, se nos dibuja una sonrisa cada vez que es reconocida por algunos niños o niñas curiosas que vienen al Planetario para aprender más sobre el espacio. Su imagen quedó plasmada por todos los medios durante la pandemia y dio al Planetario otro aire, más tierno y simpático, para todo el público en general. ■

Yo, Adolfin. Yo, Martita.

Como anécdota y experiencia personal al haber encarnado a Martita, hubo momentos muy lindos y otros muy complejos, debido al aislamiento y a las condiciones que teníamos que afrontar por la situación epidemiológica. Cada video que había que realizar en un ambiente pequeño y casero, era un momento de mucha creatividad y concentración, para que pudiéramos lograr lo esperado por el equipo. Tuvimos que adaptarnos y aprender cosas nuevas para poder lograrlo. Preparar el espacio, actuar, grabar cámara y sonido por separado, utilizar un guion y diferentes objetos fueron algunas de las cosas con las que tuvimos que enfrentarnos a la hora de realizar el material. Realmente, el resultado logrado es muy valioso porque, en un momento tan difícil, pudimos encontrar la manera de llegar a las casas para abrir una nueva ventanita al universo.

Nota

Las preguntas de Martita:
 Idea general y guión: Adolfin García Zavalía, Sandra Costa.
 Actuación (Martita): Adolfin García Zavalía.
 Contenidos astronómicos: Iannuzzi, Meilán, Ruidíaz.
 Video y animación: Sandra Costa.
 Canal de YouTube:
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL87es0vU-qCfzV9hzuJsaCDm9pr2XMO0k>

01

Guillermo Abramson



01- Parcialito de Sol

El 30 de abril hubo un eclipse parcial de Sol que resultó apenas visible en parte de nuestro país, Chile y la Antártida. En Buenos Aires comenzó a las 17:42 y, media hora después, el Sol y la Luna se ocultaron. El máximo (a las 18:38) y el final (19:29) se dieron con el Sol y la Luna bajo el horizonte. Pero el principal problema que tuvimos para observarlo no fue el escaso porcentaje de Sol tapado por la Luna (apenas un 15%), ni lo bajo, cerca del horizonte, que ocurrió todo, sino las nubes que cubrieron buena parte de nuestra región. En diferentes localidades la Luna tapó un porcentaje del Sol diferente: de norte a sur, entre un 8 y un 50%. En Jujuy fue del 10%; en Salta, 14%; en Catamarca, 18%; en La Rioja, 20%; en San Juan, 25,5%; en Mendoza, 27%; en Neuquén, 36%; en El Calafate, 50%; en Ushuaia, 52%. Una de las pocas imágenes que pudimos rescatar, entre las nubes, nos llegó desde San Carlos de Bariloche, donde el porcentaje de Sol cubierto por la Luna fue del 40%, por encima de las montañas.

02- Conjunción Venus-Júpiter

Por suerte, durante la misma mañana del eclipse de Sol, el cielo había estado mucho más despejado y pudimos disfrutar de una hermosa conjunción (el acercamiento aparente en el cielo de dos o más astros) entre los planetas más brillantes, Venus y Júpiter. En este caso, la imagen fue obtenida en Piedras Coloradas, muy cerca de Las Grutas, en la costa rionegrina.

02



Víctor Bibé

ECLIPSE TOTAL DE LUNA



Oscurecida por las nubes

En la noche del domingo 15 al lunes 16 de mayo hubo un eclipse total de Luna visible por completo en Argentina y toda Sudamérica. Y una vez más, en Buenos Aires y alrededores, las nubes impidieron ver el evento en su mayor parte. En nuestro Planetario, varios cientos de personas se dieron cita para observar, en una noche fría y ventosa, a través de siete telescopios colocados en la explanada. De a ratos, entre las nubes, la Luna aparecía, especialmente durante la primera parte de la parcialidad. Pero luego de iniciada la totalidad, las nubes cubrieron prácticamente todo el cielo y fue imposible continuar. De todas maneras, en algunos otros lugares del país se lo pudo observar mejor. Y fue un gran eclipse, con una totalidad que duró casi una hora y media. La Luna comenzó a ingresar en la sombra terrestre a las 23:27. La totalidad dio inicio a las 00:29 (el máximo fue a la 01:11) y finalizó a la 01:53 (duró 1 hora, 24 minutos). La etapa parcial llegó a su fin a las 02:55, tras una duración de 3 horas, 27 minutos, incluyendo la totalidad. El siguiente gran eclipse de Luna visible por completo en nuestro país será el 14 de marzo de 2025.





Diego Toscaín



Mariano Ribas



Amarga despedida

El próximo 8 de noviembre se producirá el otro eclipse total de Luna del año. Pero en Argentina se verá parcialmente, poco y al amanecer. En la mitad este del país solo se “verá” la etapa penumbral, sin demasiado atractivo más que el brillo de la Luna llena apenas debilitado. Hacia el oeste, la etapa parcial, que comenzará a las 06:09, se apreciará como máximo durante 25 minutos, y luego la Luna se ocultará.

Nota

Todos los eclipses de Sol y de Luna que serán visibles en nuestro país en las próximas décadas figuran en el artículo de la página 26 de Si Muove 21: https://planetario.buenosaires.gob.ar/sites/default/files/2021-05/si_muove_21_baja.pdf

Una de piratas

8K

**Espectáculo astronómico
con narración en vivo**

Esta fantástica historia es la primera producción animada enteramente producida por el Planetario de Buenos Aires. Un pirata cansado de recorrer los mares del planeta Tierra se anima a viajar por el universo. A bordo de un pequeño barco de papel descubre planetas, estrellas, cúmulos, constelaciones y otras maravillas del cielo.




PLANETARIO
Galileo Galilei - Buenos Aires



Buenos Aires Ciudad



BA

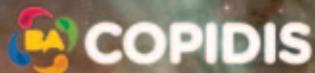
Vamos Buenos Aires

ASTRONOMÍA SIN FRONTERAS

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



CAS
CONFEDERACION
ARGENTINA DE
SORDOS



COPIDIS



PLANETARIO
Galileo Galilei - Buenos Aires



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires