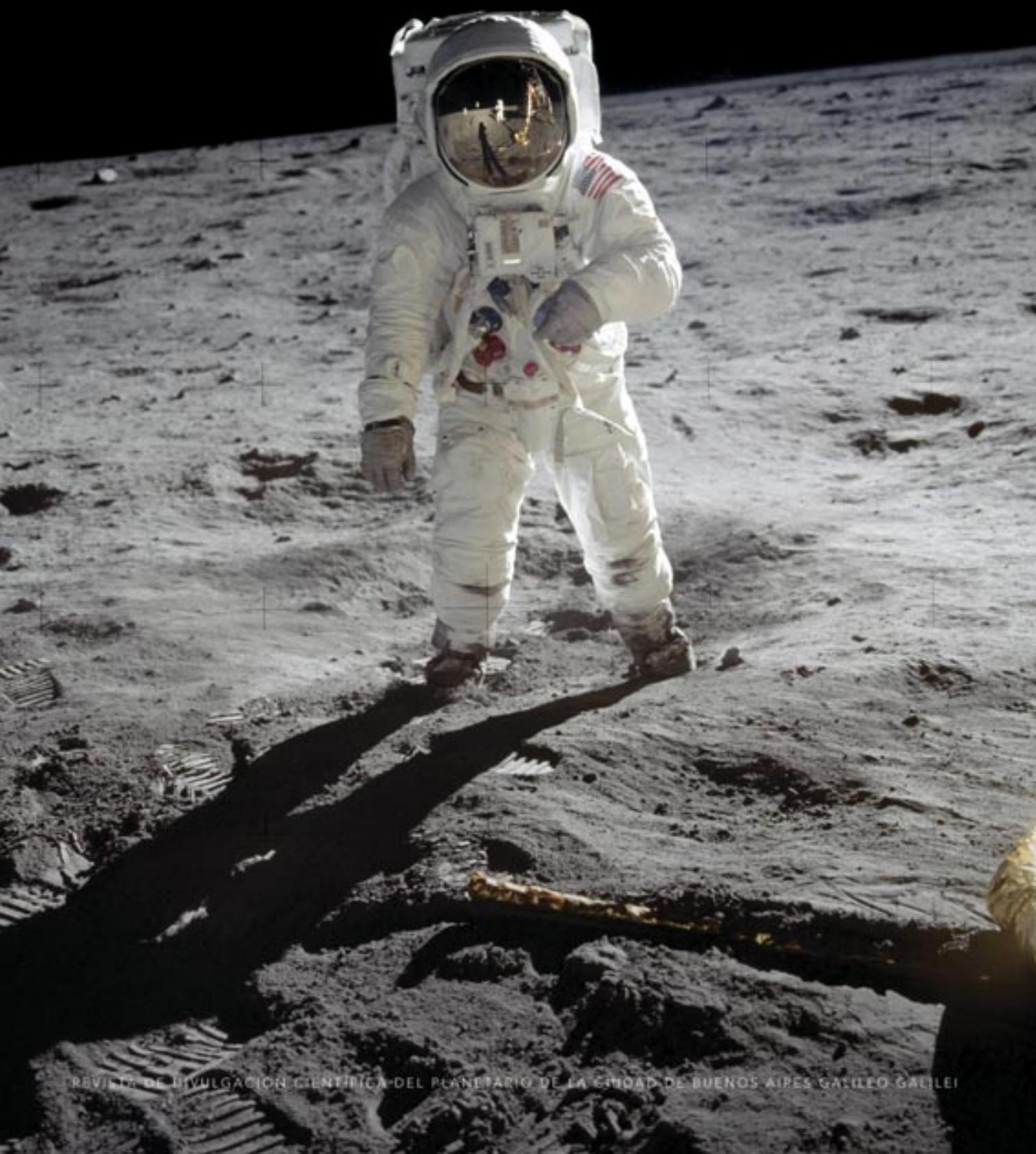


SI MUOVE

NÚMERO 16 - OTOÑO 2019





ECLIPSE TOTAL
DE LUNA
21 - 01 - 2019



SI MUOVE

NÚMERO 16 - OTOÑO 2019

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

STAFF

EDITORIA RESPONSABLE
VERÓNICA ESPINO

DIRECTOR PERIODÍSTICO
DIEGO LUIS HERNÁNDEZ

DIRECTOR DE ARTE Y DISEÑO
ALFREDO MAESTRONI

SECRETARIO DE REDACCIÓN
MARIANO RIBAS

REDACTORES DE ESTA EDICIÓN
WALTER GERMANÁ
GRACIELA CACACE
ADRIANA RUIDÍAZ
RAFAEL GIROLA
ADOLFINA GARCÍA ZAVALÍA
DIEGO CÓRDOBA
GUILLERMO ABRAMSON
MAXIMILIANO ROCCA

COLABORADORES
Pablo Iskandar, Alberto Russomando,
Analia Pereyra, Carlos Di Nallo,
Andrea Anfossi, Cristian López.

CORRECTORES
Walter Germaná, Natalia Jaoand.

AGRADECIMIENTOS
NASA, APOLLO, Editorial Paidós,
Ing. Alberto Mansilla (Obs. Ampimpa).

IMPRESIÓN
IMPRENTA DEL GOBIERNO
DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES
Diógenes Taborda 933 - CABA

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 e Innovación

JePe de Gobierno: Horacio Rodríguez Larreta
Ministra de Educación e Innovación: María Soledad Acuña
Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación
Directora Gral. de Ciencia y Tecnología: Clara de Hertelendy
GO del Planetario: Verónica Espino



Cristian López

EDITORIAL

En un año que está marcado por grandes eventos astronómicos, el Planetario presenta una nueva programación centrada en nuestro astro más importante, el Sol. Durante el mes de abril estrenamos “Sol. Tiempo de eclipses”, un show inmersivo que nos invita a conocer el rol de nuestra estrella como fuente de energía, que permite el crecimiento y la evolución de la vida en nuestro planeta.

Pero este año nos trae más novedades, nuevos shows para chicos y para público general, y renovación de las funciones destinadas a las escuelas. Hemos incorporado a nuestra página web nuevo material de divulgación relativo al eclipse y otras actividades para que chicos y grandes descubran los dos protagonistas de este gran evento que ocurrirá durante el mes de julio: el Sol y nuestro satélite, la Luna.

Además, el pasado 9 de abril nuestro Planetario firmó una carta de intención con la Agencia Espacial Europea (ESA), que le permite la participación en el programa educativo “Cesar” para la formación de formadores, que busca proporcionar a estudiantes de escuelas secundarias y universidades experiencia práctica en astronomía y ciencia espacial en general, y en radioastronomía y astronomía óptica en particular. Esta actividad representa un primer paso para consolidar una fluida relación de cooperación en los proyectos de divulgación astronómica que el Planetario emprenda en el futuro.

Verónica Espino

Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.

Código QR



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

SUMARIO



5 De un pequeño paso a un gran salto



25
Luna de verano

47 Un Planetario accesible



03	Editorial
05	De un pequeño paso a un gran salto
12	Somos polvo de estrellas
13	Los espejos de la Luna
19	Figuras en el cielo
24	El cometa "bola"
25	Observación: Luna de verano
30	Libros
31	Medir el universo
38	Alrededor de las Pléyades
43	Así en la Tierra como en la Luna
47	Un Planetario accesible

38

Alrededor de las Pléyades



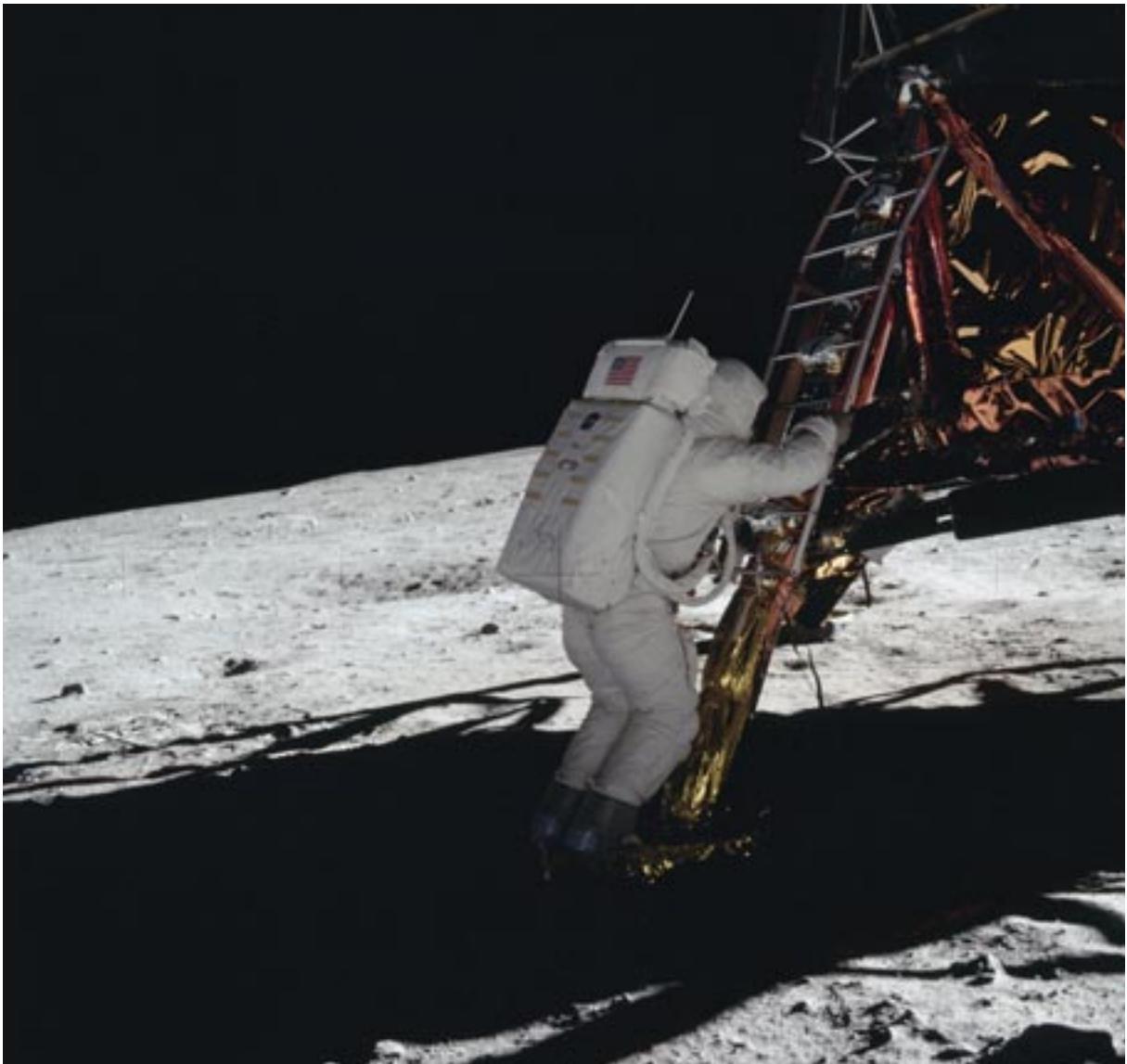
50 años del Apolo 11

DE UN PEQUEÑO PASO A UN GRAN SALTO

Autor: Lic. Diego Córdova, prensaespacial.blogspot.com.ar

A medio siglo de la mayor conquista humana tras el dominio del fuego hace 200.000 años, repasamos detalles poco frecuentes en las crónicas de la llegada a la Luna.

01



01 Buzz Aldrin (38 años) desciende por la escalerilla del módulo Águila para realizar, junto a Neil Armstrong (39), quien había bajado 20 minutos antes, las primeras caminatas lunares. Se trató del hecho más documentado de la historia, transmitido por TV en directo, registrado en centenares de fotografías y filmaciones realizadas por las cámaras automáticas y por los propios astronautas, desde otro mundo.

Con la mejor tecnología de la época y los mejores cerebros y recursos, Estados Unidos llegó a la Luna y cumplió el plazo impuesto por su presidente, John Kennedy, tan sólo ocho años antes. El objetivo parecía ciencia ficción. La electrónica y la computación se hallaban en su estado primario, pero los científicos y técnicos, procedentes de distintas partes del mundo, supieron aprovechar al máximo cada recurso en un país cuya principal meta era poner un hombre en la Luna.

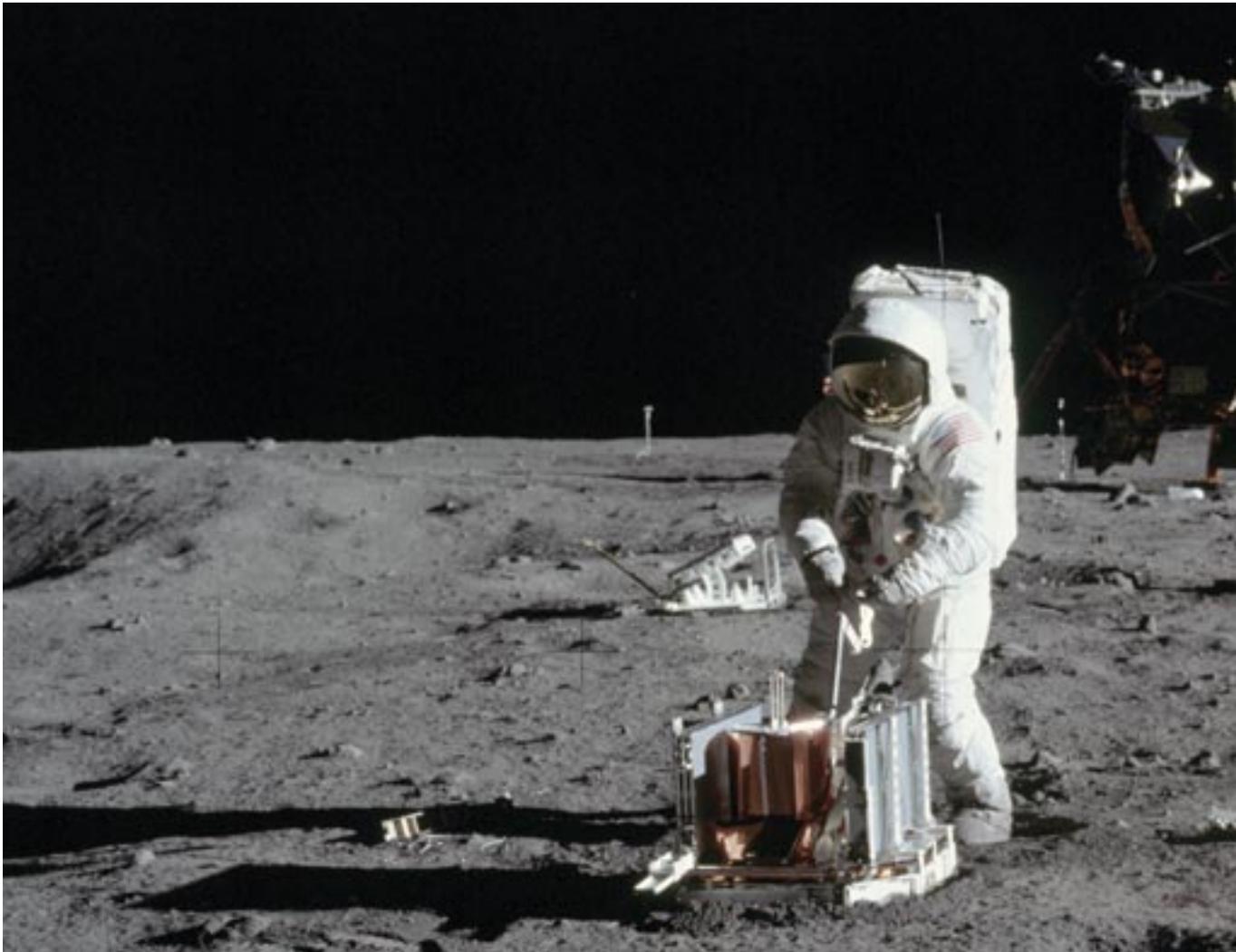
El 16 de julio de 1969 dio comienzo la histórica misión Apolo 11. El cohete Saturno V, de 111 metros de alto y un empuje de 3500 toneladas (el más poderoso construido hasta hoy), se elevó frente a casi un millón de personas que se encontraban apostadas en las playas de Cabo Cañaveral y Cocoa Beach, al tiempo que era televisado para todo el mundo. Su preciada carga, los astronautas Neil Armstrong, Buzz Aldrin y Michael Collins, iban a bordo del módulo de mando Columbia, ubicado en la cima del gran cohete. Debajo de ellos, en la primera etapa del Saturno V, estaba el módulo lunar Águila, con el cual Armstrong y Aldrin realizarían el primer descenso lunar tripulado de la historia.

La Apolo 11 fue la única misión destinada a descender en la superficie lunar, cuya tripulación era enteramente veterana. Los tres integrantes ya habían participado, por separado, en una misión espacial anterior y poseían una amplia experiencia en pilotear todo tipo de aviones. Curiosamente, los tres pesaban y medían lo mismo, unos 74 kg y 1,79 m de estatura.

Tras cuatro días de viaje, el 20 de julio de 1969, Armstrong y Aldrin se trasladaron al módulo lunar, mientras que Collins permaneció en el módulo de mando; allí se quedaría, en órbita lunar, esperando a sus compañeros. Ambos módulos se separaron y el Águila, guiado por Armstrong, comenzó el descenso sobre el Mar de la Tranquilidad, donde finalmente se posó. Para alivio de muchos, el módulo sólo se hundió unos cinco centímetros en el regolito lunar.

Los astronautas debieron esperar casi siete horas para poder salir a caminar sobre la superficie, pues una vez realizadas todas las comprobaciones de sistemas y tras haberse asegurado de que el módulo podía volver a despegar, debieron ayudarse uno al otro a colocarse los equipos autónomos (escafandras y mochilas) para luego

02



comenzar la despresurización de la cabina y poder abrir la escotilla libremente.

Casi sobre el final del 20 de julio, a las 23:56 hora argentina, Neil Armstrong se convirtió en el primer hombre en pisar la superficie lunar. Rápidamente tomó una muestra del suelo y la colocó en uno de sus bolsillos, por si debía emprender un regreso de emergencia. A los 20 minutos Aldrin descendió y ya fueron dos hombres caminando en la Luna.

En esta primera misión sólo se realizó una caminata de dos horas y media, pero fueron suficientes para dejar un primer paquete de experimentos, como velas para medir la intensidad del viento solar, un sismógrafo pasivo y reflectores láser para ser apuntados desde la Tierra. Finalmente regresaron a la órbita lunar para emprender el regreso a la Tierra, producido el 24 de julio cuando la cápsula amerizó en el Océano Pacífico.

Los astronautas fueron recibidos de una manera extraña: apenas fue abierta la escotilla, los hombres rana del rescate les arrojaron trajes aislantes biológicos. Una vez a bordo del portaaviones Hornet, fueron puestos en cuarentena durante tres semanas para prevenir el contagio

de alguna enfermedad, cosa que después se determinó que era totalmente infundado. Luego de ello a los astronautas les esperaban varios meses de recepciones, fama y viajes por el mundo.

En los tres años posteriores otras cinco misiones se posaron en sendas regiones lunares: otros diez hombres caminaron, durante mucho más tiempo, recolectaron más muestras y ampliaron enormemente la cantidad y la calidad de conocimientos de nuestro satélite natural. ■

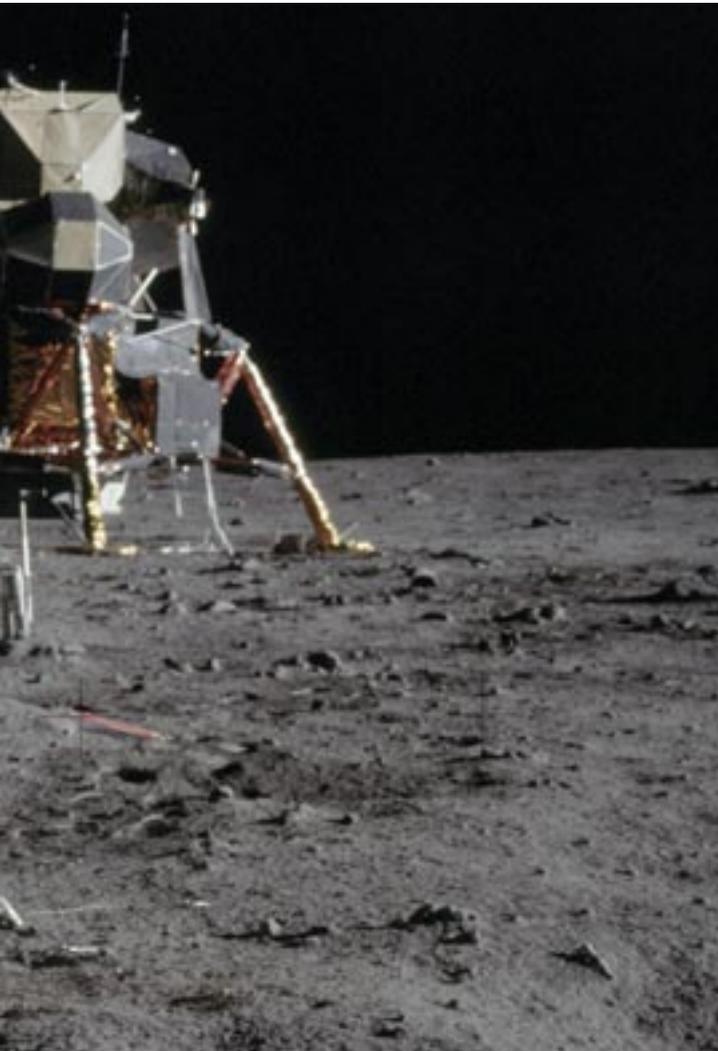
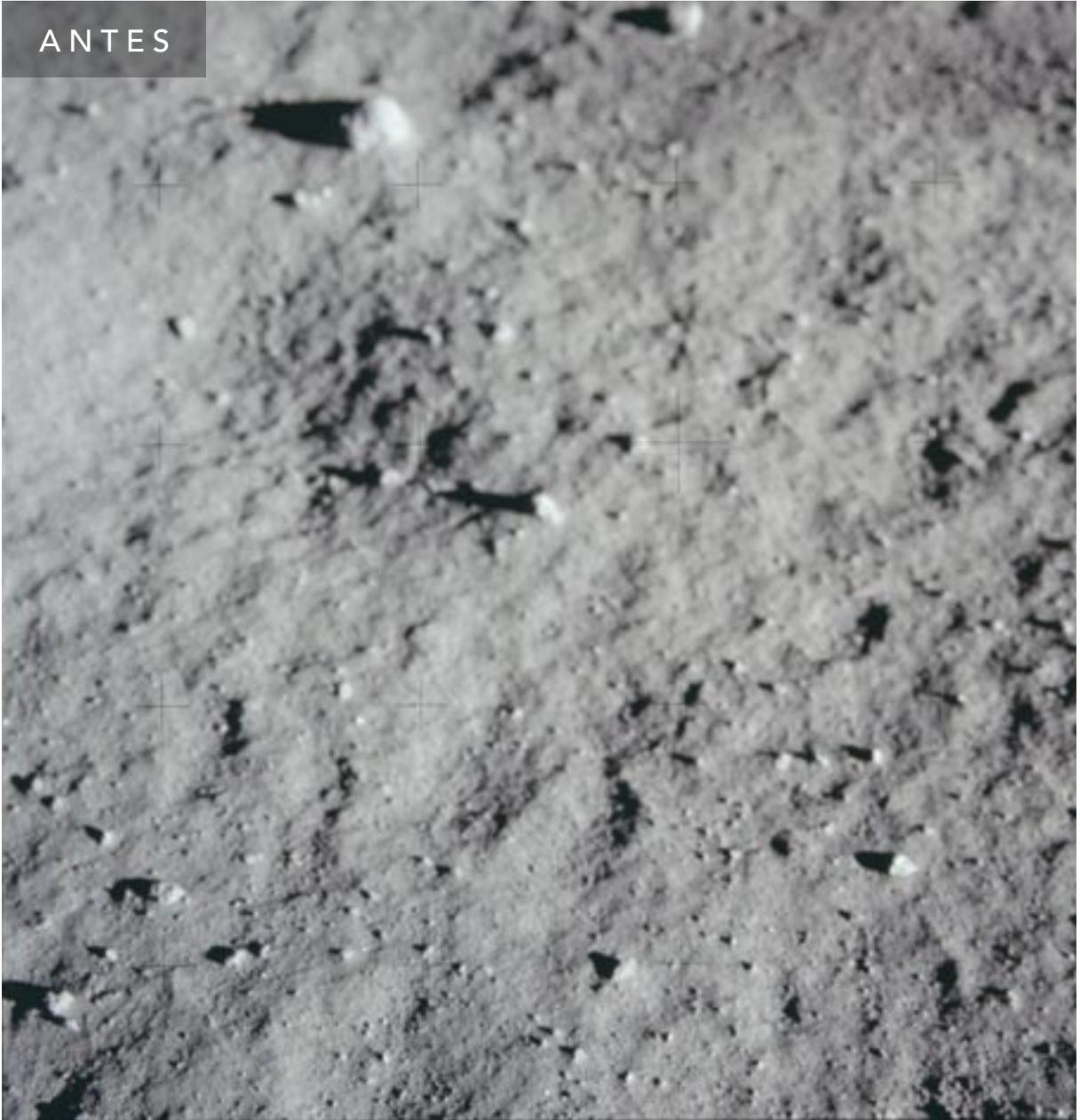


FOTO DE TAPA

Buzz Aldrin, segundo hombre en la Luna, fotografiado por Neil Armstrong. En el protector del visor del casco aparece reflejado Armstrong y una de las patas de descenso del módulo lunar Águila.

02 *Unos tenues movimientos fueron registrados, por primera vez, por el sismómetro lunar instalado por Buzz Aldrin. El primer paquete de experimentos del Apolo 11 fue simple, comparado con el de las misiones posteriores. Los astronautas sólo estuvieron 2 horas y media en la superficie lunar y, en apenas 10 minutos, desplegaron todo. Además del sismómetro colocaron velas para la medición del viento solar y un espejo reflector de láser (uno de los pocos experimentos que aún hoy funcionan), que puede ser apuntado desde la Tierra (ver artículo siguiente).*

ANTES



LAS PRIMERAS PISADAS HUMANAS EN OTRO MUNDO.

Ésta, que pertenece a Aldrin, y todas las huellas dejadas en las seis misiones Apolo perdurarán, al menos, un millón de años, ya que sólo sufrirán una lenta erosión mecánica, producto de impactos de micrometeoritos y algunos sismos, que se producen más frecuentemente de lo pensado.

“En los tres años posteriores, otros diez hombres de cinco misiones Apolo diferentes caminaron durante mucho más tiempo, recolectaron más muestras y ampliaron enormemente la cantidad y la calidad de conocimientos acerca de la Luna”.

DESPUÉS



03



03 Neil Armstrong capta la superficie del Mar de la Tranquilidad junto a su propia sombra y la Base Tranquilidad, conformada por el módulo lunar Águila. A la derecha pueden verse la bandera de EE.UU. (A), uno de los experimentos para captar el viento solar (B) y, un poco más alejada, la cámara de TV (C). Para realizar esta foto Armstrong se situó en un nivel del terreno superior al del módulo. Es la máxima distancia a la que los astronautas estuvieron de su base en esta primera misión, unos 60 metros.

04

NASA/Andrew Chaikin



04 La cámara Hasselblad, de origen sueco, es la que registró las fotos en la Luna. Se trata de un modelo que se adaptó exclusivamente al ambiente lunar para evitar que la radiación solar dañara la película. Los tripulantes del Apolo 11 llevaron una sola cámara, que fue portada por Armstrong casi todo el tiempo. Es por ello que, en todas las imágenes que vemos de un hombre en la Luna, se trata de Aldrin. Estrictamente hablando, no hay fotos de Armstrong, el primer hombre en la Luna, a menos que consideremos las imágenes en las que se ve su sombra o su reflejo en el visor del casco de Aldrin (como en nuestra portada). Es posible que eso se deba a un acuerdo entre ambos, ya que Aldrin quedó relegado a ser el segundo en pisar la superficie lunar, algo que, en su momento, no toleró. Sin embargo, hay una rara excepción. Hace un tiempo lograron extraer de un video una imagen de la cámara automática del módulo lunar. Allí no sólo es Armstrong el que aparece, sino que además, se le ve claramente la cara. Así, finalmente, tenemos la única foto del primer hombre en la Luna.

CURIOSIDADES DEL PRIMER ALUNIZAJE

Los espectadores más cercanos del lanzamiento de todas las misiones Apolo se ubicaron a casi seis kilómetros de distancia del cohete, pues se había determinado que, en caso de producirse una explosión, la metralla desprendida podía llegar hasta los 4,8 km.

No hubo ninguna compañía de seguros que quisiera asegurar la vida de los astronautas del Apolo 11. En caso de producirse un accidente fatal, para dejar un respaldo a sus familias, los astronautas firmaron cientos de autógrafos para que sean vendidos, si no regresaban.

Se calcula que, al menos, 700 millones de personas siguieron el alunizaje en directo por televisión, lo que es considerado uno de los mayores récords de audiencia masiva de un evento.

Buzz Aldrin era presbiteriano y pidió permiso a su iglesia para administrarse una comunión una vez llegado a la Luna, por lo que es, hasta hoy, la única persona que celebró un oficio religioso en otro mundo; algo que no representó ninguna utilidad para la misión ni para la ciencia.

Nunca se supo quién fue el fabricante de la bandera de EE.UU. puesta en la Luna, pues la NASA pidió cientos de ellas a distintas empresas. Tras quitarle toda marca e identificación, una secretaria eligió una al azar, la que finalmente voló a la Luna.

Una vez regresados al módulo, antes de partir de regreso a la Tierra, los astronautas se deshicieron de sus botas de superficie, sus mochilas, cajas y envases vacíos de comida, y así inauguraron el primer "basurero lunar", con la consiguiente protesta de los movimientos ecologistas.

“Al bajar del módulo lunar, Neil Armstrong rápidamente tomó una muestra del suelo y la colocó en uno de sus bolsillos, por si debía emprender un regreso de emergencia”.

05 El módulo lunar Águila tocó la superficie a las 16:17 (hora argentina) del 20 de julio de 1969, y el primer hombre en la Luna puso su pie a las 23:56. En las más de siete horas que mediaron entre el descenso del Águila y la salida de los astronautas, debieron realizar la comprobación de todos los sistemas de abordaje y chequear la estabilidad del módulo. Una vez que Houston autorizó la salida, los astronautas comenzaron a preparar el equipo autónomo para poder caminar libremente en la Luna. Para ese entonces, nuestro satélite natural (en fase creciente, dos días antes del Cuarto creciente) acababa de ocultarse en el cielo argentino, aunque los astronautas sí pudieron apreciar la Tierra desde la superficie lunar.

05



Somos polvo de estrellas

Cómo entender nuestro origen en el cosmos

José María Maza Sancho

2018. Editorial Paidós

Este astrónomo chileno nos guía a través de un increíble viaje que conecta las transformaciones del universo con las revoluciones científicas en la Tierra, y relaciona la formación de las estrellas con nuestro propio organismo. Con datos e información privilegiada, el autor nos explica de manera cálida y cercana cómo la historia del cosmos es también nuestra, y que no podemos perder esa curiosidad con la que miramos el mundo cuando fuimos niños, porque ésa es la llave del conocimiento.

José María Maza Sancho nació en Valparaíso en 1948, es licenciado en astronomía por la Universidad de Chile y doctor por la Universidad de Toronto, Canadá. Es profesor titular de astronomía, obtuvo el Premio Nacional de Ciencias Exactas en 1999 y es miembro de la Academia de Ciencias Chilena. Ha publicado más de 120 artículos de investigación y es autor del libro *Astronomía Contemporánea* y coautor de *Supernovas*.

De visita por nuestro Planetario en Buenos Aires, José Maza Sancho nos contó cómo eligió el tema para este libro: *"He dado muchas charlas acerca de cuásares, supernovas, agujeros negros, estrellas de neutrones, etc. Pero finalmente elegí este tema porque es algo mucho más cotidiano. A la gente común no la emociona mucho saber qué es un agujero negro o cómo funciona una estrella de neutrones. En cambio, cuando les digo a los niños que todos los materiales de sus cuerpos provienen de las estrellas; que, de alguna forma, somos extraterrestres, eso causa una fascinación notable"*.

Pero también el autor confiesa que está preocupado debido el avance moderno de las pseudo-



ciencias. *"Los ignorantes antes eran humildes; ahora se han vuelto soberbios. Así hay gente que cree en la astrología, que las pirámides de Egipto las construyeron extraterrestres y, ahora, ¡que la Tierra es plana! Y esta gente se anima a confrontar con científicos a base de mentiras y disparates"*. Por suerte, Maza Sancho también aclara que *"hay un pequeño auge de los libros de ciencia en Chile, y éste ha sido uno de los de no-ficción más vendidos, y estamos muy contentos por eso. Yo he sido profesor en la universidad durante 40 años, y ahora puedo sentarme a escribir. Tengo mucho material acerca de Galileo, Copérnico, Kepler, Tycho Brahe, y es hora de volcarlo en pequeños libros. Pero el próximo será acerca de Marte, porque hay que convencerse de que podemos llegar hasta allí. La gracia no es que sea fácil, sino todo lo contrario. Marte está ahí, y para llegar hay que ensayar otras aventuras. Hay que volver a la Luna y establecer una base. El desafío más grande será cómo utilizar el agua en Marte, de dónde sacar el oxígeno o qué comer una vez que estemos allí. En 1961 parecía imposible ir a la Luna. Marte es más difícil, pero ahora tenemos mejor tecnología"*. ■

Recuerdos (que aún funcionan) del programa Apolo

LOS ESPEJOS DE LA LUNA

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

01



APOLLO

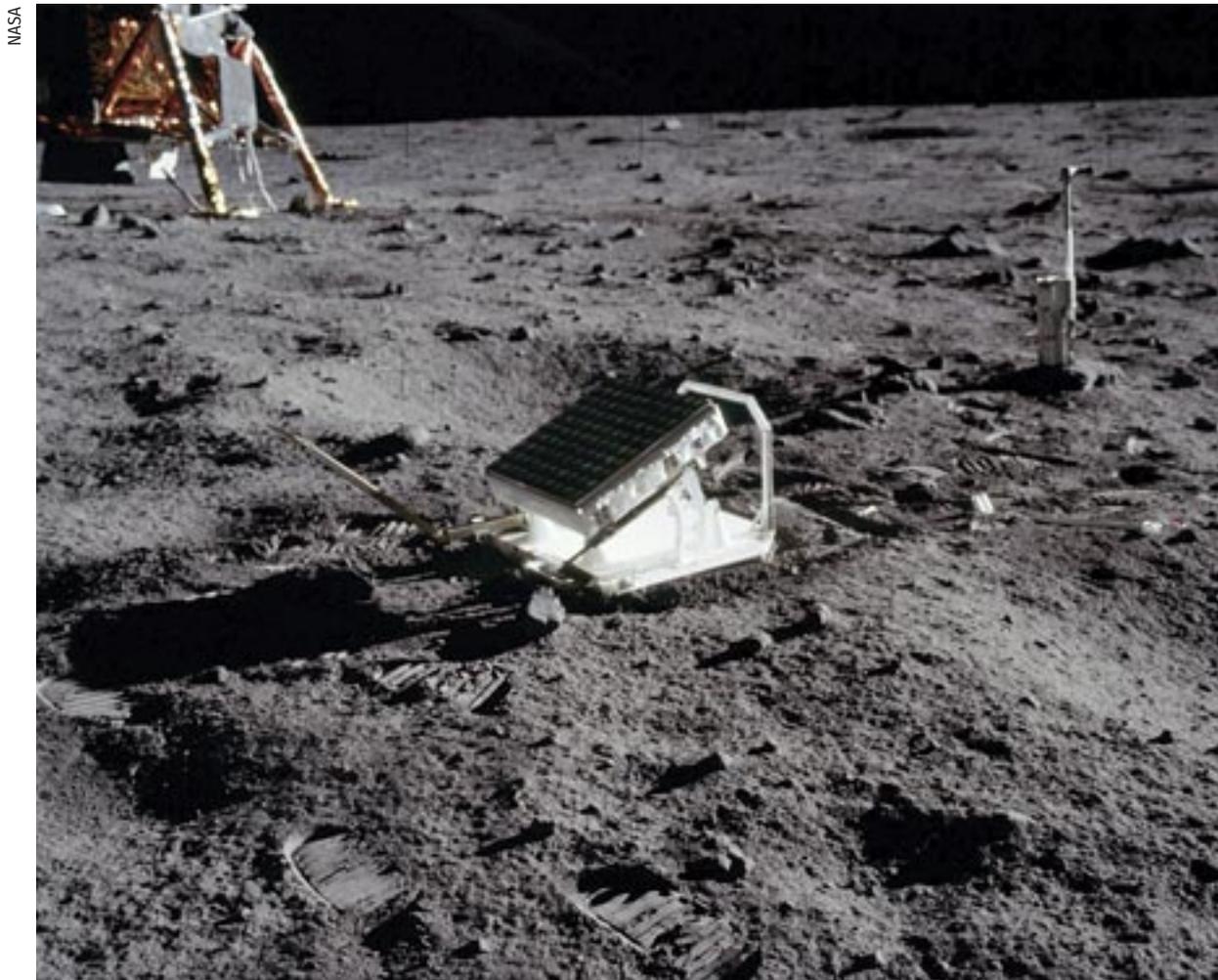
Entre 1969 y 1972, doce astronautas de seis misiones diferentes caminaron por los polvorientos suelos lunares. Pero luego, nunca más volvimos. La Luna parece añorar aquellos tiempos cuando recibía visitas a menudo. Tal vez por eso, ha sabido guardar los recuerdos del legendario programa Apolo: huellas humanas intactas, restos de módulos lunares, banderas que no pueden flamear, herramientas abandonadas y unos cuantos instrumentos científicos. Casi todos esos artefactos han dejado de funcionar hace mucho tiempo, pero todavía hay unos pocos que siguen siendo tan útiles como al principio: son los espejos de la Luna.

Cuando Neil Armstrong y Edwin Aldrin alunizaron en el Mar de la Tranquilidad, el 20 de julio de 1969, todo el planeta les seguía los pasos. Durante aquellas horas inolvidables, los dos astronautas del Apolo 11 caminaron, dieron saltos, sacaron fotos, filmaron, juntaron varios kilos de rocas y hasta se dieron el gusto de instalar el primer sismógrafo extraterrestre. Pero además dejaron un extraño artefacto: un panel de 60 cm de ancho formado por cien espejitos. Sólo eso; sin cables, sensores, motores o baterías. ¿Para qué podría servir ese raro engendro espejado, abando-

nado a su suerte en suelo selenita?

La respuesta se adivinaba en su extenso nombre técnico: Panel Retrorreflector Lunar de Medición Láser.

01 Láser del Observatorio de Apache Point, Nuevo México, Estados Unidos.



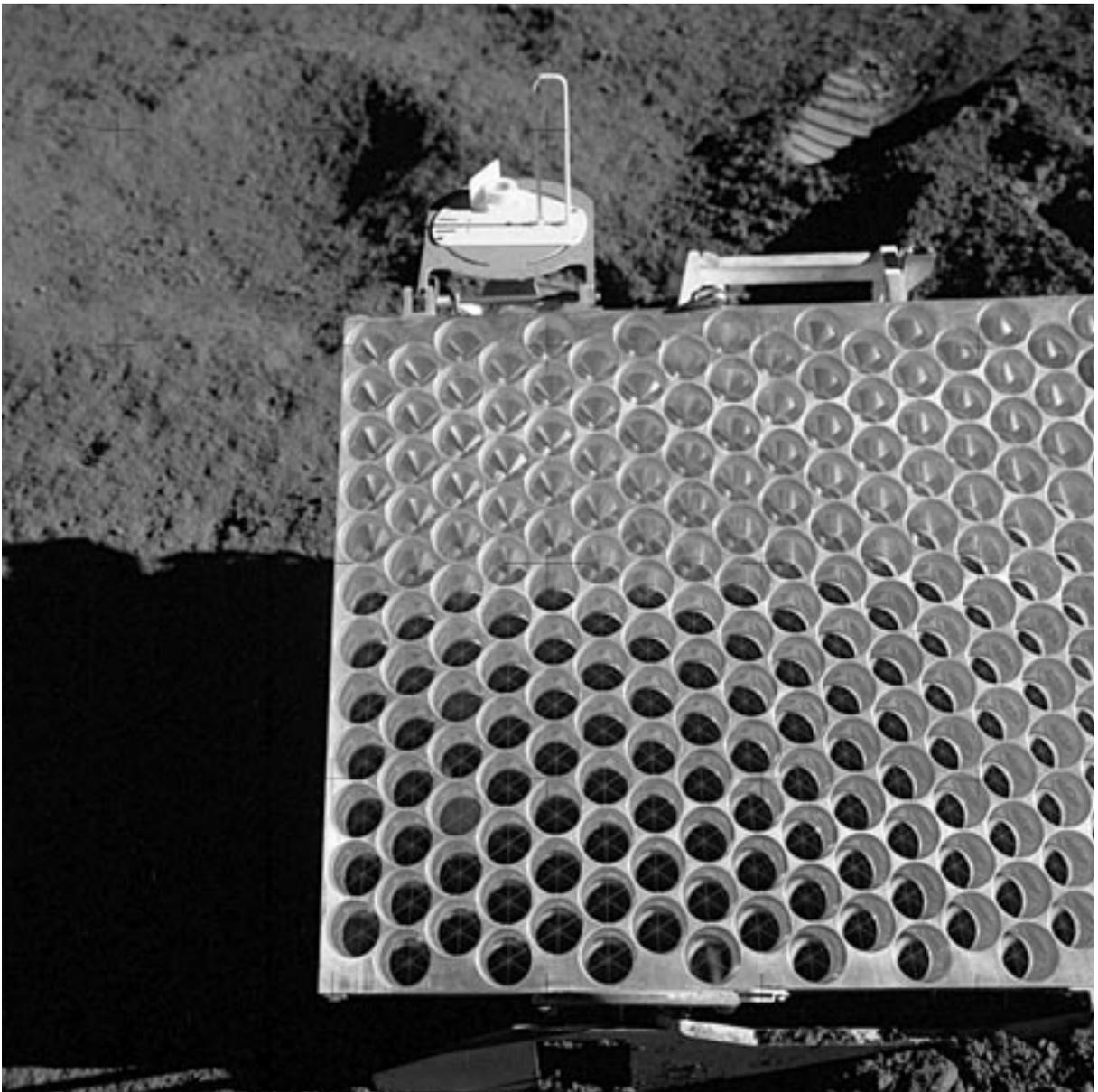
NASA

“El panel de espejos formaba parte de un programa científico de la NASA destinado a medir la distancia a la Luna con una precisión inédita, lo que permitió descubrir que nuestro satélite se está alejando de la Tierra”.

El aparato formaba parte de un programa científico de la NASA destinado a medir la distancia Tierra-Luna con una precisión inédita y, a la vez, detectar eventuales variaciones en la órbita de nuestro satélite. La estrategia parecía relativamente simple: enviar un potente rayo láser desde aquí para hacerlo rebotar allá en el retroreflector. El particular diseño óptico del dispositivo haría volver parte del haz de luz en línea recta hacia la fuente de emisión. Si se medía con cuidado el tiempo de ida y vuelta del láser, se lo multiplicaba por la velocidad de la luz (300.000 km/seg) y se dividía ese resultado por dos, se obtendría la distancia a la Luna en ese mismo instante con un margen de error de apenas 2 o 3 centímetros (“nada”, en relación a los casi 400.000 km que nos separan de nuestro satélite).

Por entonces, la NASA decidió que el láser se emitiera con la guía y apoyo de un telescopio de 76 cm de diámetro del Observatorio McDonald en Texas, Estados Unidos. El programa se puso en marcha inmediatamente después de la histórica hazaña del Apolo 11, cuyo cincuentenario estamos por celebrar muy pronto. Con cambios y mejoras, sigue funcionando aún hoy.

02 *Retroreflector instalado por los astronautas del Apolo 11 en el Mar de la Tranquilidad.*



Más misiones, más espejos

Durante los años siguientes, el plan de medición se vio reforzado con la instalación de nuevos retrorreflectores: en febrero de 1971, los astronautas del Apolo 14 colocaron uno en la región de Fra Mauro, y cinco meses más tarde, sus colegas del Apolo 15 instalaron uno tres veces más grande, cerca de la famosa Fisura de Hadley, una colosal grieta de 300 metros de profundidad situada en uno de los bordes del Mar de las Lluvias. Debido a su mayor tamaño, el súper espejo del Apolo 15 se convirtió en el blanco favorito de aquel ambicioso programa científico que reveló datos sumamente precisos, que contaremos un poco más adelante.

2005: el otro APOLLO

A comienzos de este siglo, la NASA decidió darle nuevos aires al programa de monitoreo lunar. En

03 Detalle del retrorreflector dejado por el Apolo 15 en 1971.

2005 se inauguró el *Apache Point Observatory Lunar Laser-ranging Operation* (Operación de Medición Láser de Distancia a la Luna del Observatorio de Apache Point), cuya juguetona e intencional sigla es... APOLLO. Tal como su nombre lo indica, tiene su base en el Observatorio de Apache Point, en las montañas de Sierra del Sacramento, Nuevo México, Estados Unidos, y es operado por la Universidad Estatal de Nuevo México y el Consorcio de Investigación Astrofísica (ARC). Desde sus comienzos, APOLLO utiliza un potente láser acoplado al mayor telescopio del observatorio: un reflector *Ritchey-Chrétien* de 3,5 metros de diámetro.

Gracias a estas nuevas y superadoras herramientas, las mediciones han sido aún más precisas que en los primeros tiempos del programa: la distancia Tierra-Luna puede medirse con un error máximo de 2 milímetros, menos que un grano de arroz en cientos de miles de kilómetros. Verdaderamente impresionante.

Disparando rayos láser a la Luna

Casi tan interesante como la propia historia de los espejos de la Luna es la rutina que siguen los científicos que trabajan en estas mediciones, y los detalles técnicos que las permiten. Dos veces por semana, el astrónomo Tom Murphy (actual director del programa APOLLO) y sus colegas del Observatorio de Apache Point apuntan hacia la Luna un potentísimo láser verde durante casi una hora. “*En cada sesión, lanzamos unos 50 mil pulsos láser hacia los retroreflectores, y eso nos permite medir la distancia a la Luna con precisión milimétrica*”, cuenta el científico de la Universidad de California.

La pregunta obligada es cómo logran acertarle a alguno de esos pequeños aparatos desde tan lejos (más allá del auxilio que, lógicamente, aporta un gran telescopio a la hora de afinar la puntería). Parte de la respuesta está en el propio láser, y más específicamente, en el enorme grosor que alcanza al llegar a la Luna (que es muchísimo mayor que el que tiene al partir de la Tierra, ya que se dispersa): los billones de fotones emitidos en cada pulso del láser cubren un área de 2 kilómetros cuadrados del terreno lunar. Más que un fino “hilo” de luz, se trata de un enorme “caño” lumínico que baña una apreciable porción de suelo selenita.

Aún así, Murphy explica que son poquísimos (uno de cada decenas de millones) los fotones emitidos que realmente “pegan” en cada uno de los retroreflectores, son reflejados de regreso a la Tierra y, finalmente, recibidos por el telescopio del observatorio (la atmósfera terrestre absorbe parte de ese caudal de luz láser, tanto de ida como de vuelta).

Veamos un ejemplo concreto: “*El 19 de octubre de 2005, durante el inicio de las operaciones de APOLLO, el telescopio de Apache Point sólo recibió unos 30 fotones de regreso, tras la emisión de un pulso láser hacia la*

Luna”, dice Murphy; un pulso dirigido al retroreflector dejado en el Mar de la Tranquilidad por Armstrong y Aldrin, ni más ni menos.

Espejos dañados

Tras varias décadas de permanencia en la Luna, los espejos ya no funcionan tan bien como al principio. Los científicos de APOLLO han notado que, actualmente, la señal láser que reciben de regreso de la Luna es unas diez veces menor de lo que debería ser. “*Nuestras mediciones sugieren una degradación de los espejos lunares*”, dice Murphy. ¿Causas del deterioro? Desde luego que no puede tratarse de una erosión convencional, dado que en la Luna no hay aire, ni viento, ni ninguno de los otros factores que alteran la superficie terrestre. Todo apunta a posibles impactos directos de micrometeoroides, o partículas de polvo lunar que se han ido depositando sobre ellos, tras ser levantadas de la superficie por impactos meteoríticos. Aún así, el astrónomo confía en que pueden durar unos cuantos años más, “*aunque sería estupendo que los futuros astronautas colocaran unos nuevos*”, cierra el científico con la mirada puesta en el futuro cercano, en los herederos de Armstrong y compañía.

La Luna se aleja

Ahora sí, el dato más importante que nos han revelado los retroreflectores de la Era Apolo: la Luna se está alejando de la Tierra (o lo que es lo mismo: su órbita se está haciendo más grande). ¿Cuánto? Exactamente 38 milímetros por año; unos 40 centímetros por década, o casi 2 metros desde aquel día extraordinario en que Armstrong y Aldrin caminaron por su superficie.

Los científicos –y, particularmente, los físicos– lo sospechaban. Pero la ciencia no se conforma con sospechas o creencias; requiere observación, experimentación y hechos medibles y verificables una y otra vez.

Este crecimiento de la órbita lunar se debe, fundamentalmente, a la intensa interacción gravitacional (que se expresa claramente en las mareas terrestres, en las que también participa la gravedad solar) que transfiere energía cinética de la Tierra a la Luna. Este mismo juego gravitatorio también hace que la rotación terrestre se haga 2 milisegundos más lenta con cada siglo.

Ya han pasado varias décadas y aquellos espejos siguen funcionando en los mismos lugares donde los dejaron los astronautas. Quizás no tan bien como en sus primeros años, lógicamente, pero allí están. No por casualidad, ni por milagro, sino gracias a aquellos hombres que, arriesgando sus propias vidas y por primera vez en la historia, pisaron los grisáceos y polvorientos suelos de otro mundo. Allí están, y allí seguirán por siempre, más allá de todo lo que aquí ocurra. Piénsenlo la próxima vez que salgan a mirar la Luna. ■

Observatorio Astronómico de Ampimpa

EL CIELO TUCUMANO DE ALTA MONTAÑA

Autora: *Adolfina García Zavalía, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.*



Visitamos el Observatorio Astronómico de Ampimpa, un emprendimiento educativo dentro de la comunidad Amaicha, a 2600 metros de altura, a 150 km de San Miguel de Tucumán.

Nació en 1985 con el objetivo de observar el cometa Halley. A pesar de que era un observatorio muy pequeño, que sólo contaba con el domo, el telescopio y un refugio, desde allí se logró una de las primeras fotos del cometa en Argentina, cuando todavía estaba más allá de la órbita de Júpiter, con la ayuda de la oscuridad del cielo del lugar.

Desde sus inicios, el observatorio desarrolló sus tareas como una estación científica, pero en función de los inconvenientes que abundan en la enseñanza en general y en la ciencia en particular, en 1990 se tomó una decisión institucional; se resignó la parte científica y comenzaron proyectos educativos entre los que se destacan observaciones astronómicas, charlas de divulgación y campamentos cien-

tíficos multidisciplinarios que abarcan tecnologías, física, biología, meteorología, geología, sin evadir el entorno natural que los rodea, las montañas y una vegetación extraordinaria, con un clima seco y muchas noches despejadas.

El observatorio se encuentra en tierras de la comunidad Amaicha, y cuenta con permiso de instalación por más de 100 años en la región, con la condición y el compromiso de dar mano de obra a la gente joven de la comunidad, quienes se encargan del área operativa del observatorio. Cuenta con un sendero autoguiado llamado “del Big Bang al hombre”, posee diez cabañas para alojamiento y recibe aproximadamente 3000 chicos al año.

La parte económica no es el objetivo prioritario del observatorio, no recibe subsidios del estado y trabaja de manera

independiente. Los campamentos tienen su arancel para cubrir gastos de mantenimiento y de los equipos.

El lugar fue declarado de interés turístico por la Secretaría de Turismo de la Nación, gracias a sus programas de divulgación y observación del cielo, y sus puertas están siempre abiertas a las instituciones públicas o privadas que quieran realizar actividades en conjunto.

Campamentos científicos

El observatorio es una institución independiente con una dinámica privada, y tiene una relación académica con la Universidad Nacional de Tucumán, aunque no institucional; realiza una enseñanza no formal como complemento al trabajo de las escuelas. Aporta contenidos prácticos e intenta despertar el interés desde la experiencia. Los talleres cuentan con estudiantes de biología, geología o física, y como condición para ser parte del equipo deben terminar su carrera mientras trabajan en el observatorio. Así los chicos de las escuelas conocen y reciben información sobre las diferentes carreras e investigaciones. Por ejemplo, una

persona del equipo comenzó una investigación en la Antártida para ver si allí crecen plantas con flores; una bióloga trabaja con felinos en la zona selvática; un geólogo hace trabajos de prospección minera. De esa manera los chicos reciben una amplia visión de la naturaleza y se les abren nuevos horizontes.

En cuanto a lo astronómico, los chicos tienen como tarea realizar la planificación de una noche de observación. Para eso realizan una línea de tiempo donde van colocando los diferentes horarios de lo que se puede observar por el telescopio. Esto los ayuda a entender el movimiento de los astros, el movimiento anual de la Tierra y otros conceptos astronómicos generales. También se incluyen la astrofotografía de campo amplio y la toma de imágenes con el telescopio solar. La reflexión de los chicos suele ser: “*nunca imaginé que podía hacer esto*”, y eso motiva mucho el trabajo del observatorio.

También se realizan campamentos para docentes. La metodología se basa en subir a la web una pregunta, una duda o un mito con respecto a la astronomía, lo que les aporta material para desarrollar en sus propias clases y mantiene a los docentes actualizados e informados.

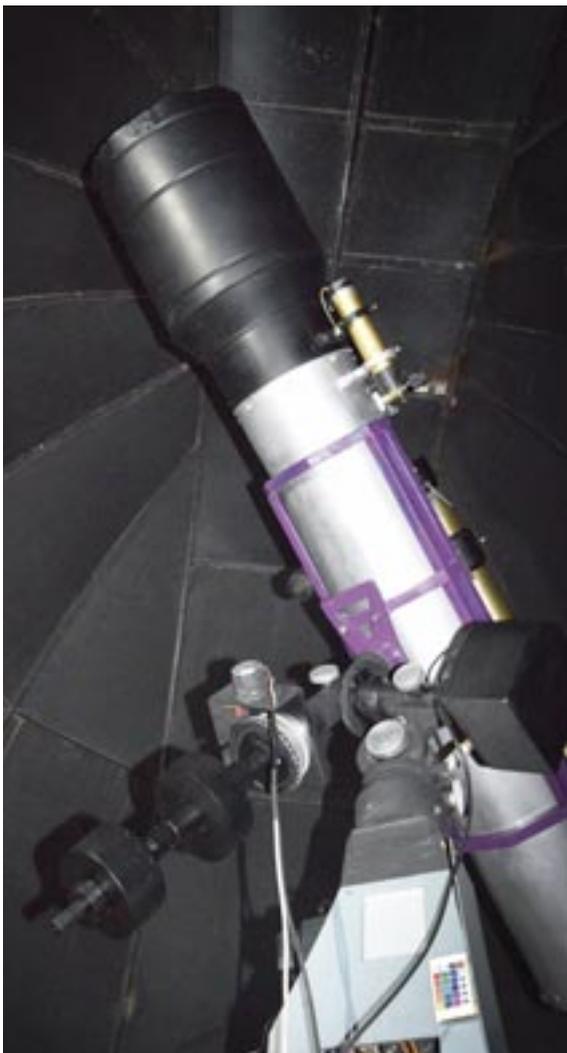
Investigaciones y telescopios

Alberto Mansilla, el director del Observatorio de Ampimpa, realiza investigaciones de nebulosas galácticas y de la distribución del radical oxidrilo en la Nebulosa de Orión, una molécula de oxígeno e hidrógeno que permite los enlaces moleculares del carbono, para confirmar que las bases de la vida forman parte de un proceso natural del universo. El personal del observatorio realiza también investigaciones en el Observatorio Paranal en Chile y asesora al Ministerio de Educación del país vecino.

El instrumental principal que posee el Observatorio de Ampimpa es un telescopio reflector newtoniano de 280 mm de diámetro con una montura ecuatorial norteamericana de la década del '50, a la que se le agregó la parte electromecánica sobre el sistema de engranaje original. La firmeza de sus ejes permite a los usuarios tomar astrofotografías de muy buena calidad, ya que se pueden adosar cámaras al instrumental. Gracias al seguimiento de relojería se puede seguir el paso de los objetos celestes a lo largo de la noche. Además, las condiciones del lugar permiten maximizar la eficacia del telescopio. El observatorio posee también un telescopio Meade y un Coronado para observar la actividad solar, debido a la demanda de los turistas que pasan durante el día con el deseo de poder realizar alguna actividad astronómica. También se atiende a los visitantes que llevan sus propios telescopios para asesorarse, para aprender a utilizarlos correctamente o hasta para reparar algún defecto.

El observatorio de Ampimpa puede compartir su cielo nocturno con otros usuarios mediante la transmisión *online* de imágenes tomadas con cámaras CCD adosadas al telescopio, y los usuarios pueden personalizar su observación. La altura, la ausencia de contaminación lumínica, el horizonte despejado y la falta de humedad atmosférica, hacen de este lugar un paraíso astronómico digno de ser visitado. ■

Adolfina García Zavaglia



El telescopio principal, con su montura de la década del '50 modernizada.

Un recorrido por el firmamento en occidente

FIGURAS EN EL CIELO

Autor: *Walter Germaná, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.*



Desde tiempos inmemoriales la humanidad ha sentido una verdadera obsesión por delimitar, agrupar, clasificar y catalogar los diferentes fenómenos y seres de la naturaleza. Es un proceso racional y organizativo del cual el cielo no fue la excepción, como veremos en este caso, para la cultura occidental.

La necesidad de organizar el cielo tuvo su origen en los requerimientos específicos de nuestra especie: ubicarse en el tiempo y reconocer las condiciones básicas de nuestro espacio vital. Para esto fue necesario construir una suerte de mapa que nos conduzca a los sectores más interesantes del firmamento. Así surgieron las constelaciones, dibujos imaginarios en los que los seres humanos de todas las épocas, culturas y civilizaciones, plasmaron sus mitos, leyendas y cosmovisión en general, sin dejar afuera sus animales, sus objetos de uso diario o sus máquinas complejas.

Todo este proceso se originó con un objetivo concreto: contar con referencias mnemotécnicas celestes claras, para reconocer los diferentes momentos del año y su relación con la periodicidad de los fenómenos naturales. Así se podía determinar el momento indicado para sembrar y cosechar, u otros períodos de importancia relacionados a la supervivencia.

Hace mucho tiempo

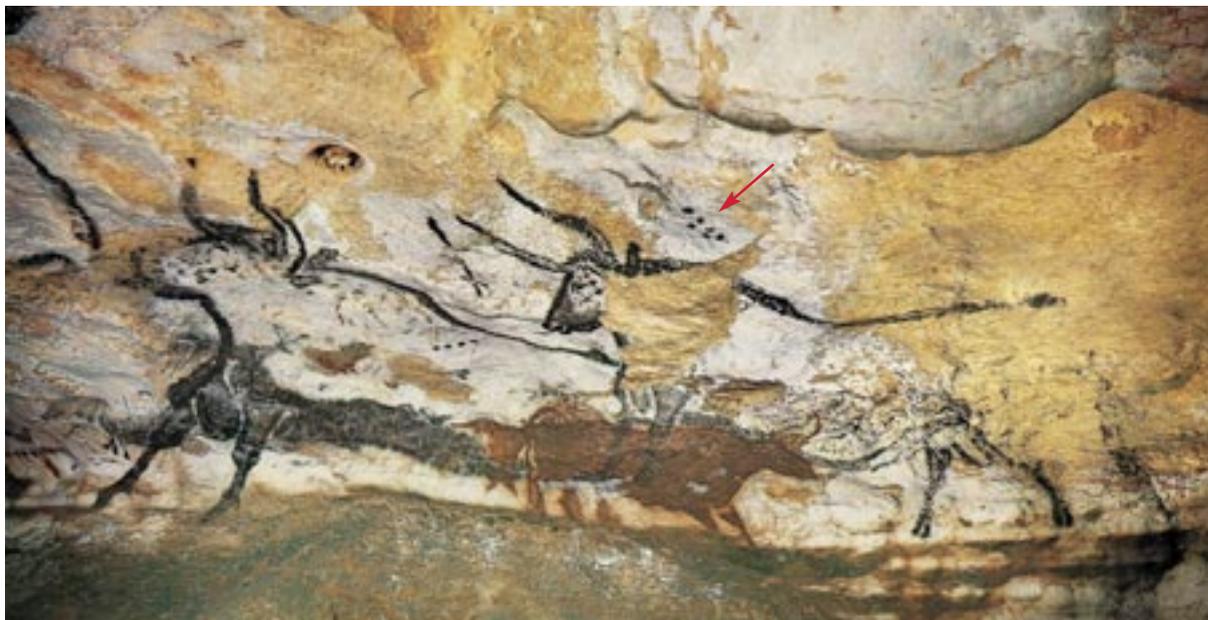
Algunos de los atisbos más lejanos que pueden relacionarse a las actuales constelaciones occidentales podemos encontrarlos en las **cuevas de Lascaux**, en Francia. Allí, en pinturas datadas en unos 17.000 años, nuestros antepasados intentaron representar, según piensan muchos

especialistas, las estrellas que conforman la cabeza de un toro en la hoy clásica constelación de Tauro, junto al famoso cúmulo estelar de las Pléyades.

Los primeros registros claros de las figuras que hoy utilizamos surgen entre 3000 y 2000 a.C., con la antigua civilización sumeria y los diferentes pueblos semitas que fueron sucediéndola y asimilando su cultura: acadios, amorreos, cananeos, arameos, caldeos, etc., en los antiguos territorios mesopotámicos, en el actual Irak. Algunos son grabados en **sellos cilíndricos** que se utilizaban para imprimir sobre tablillas de arcilla, de origen sumerio o provenientes de períodos posteriores¹, y representan supuestas figuras celestes unidas indivisiblemente a dioses, colocadas junto a un águila o a un león, entre otros animales, como signos icónicos.

Luego, dentro del primer período babilónico (1950-1500 a.C.) podemos citar la "**Oración a los dioses**", un texto de uso mágico-adivinatorio que relaciona a los dioses con estrellas específicas que formarán parte de futuras constelaciones.

Textos posteriores del período Cassita² (1530-1160 a.C.), conocidos como **Enuma Anu**, reúnen miles de registros observacionales astronómicos. Se destacan estelas documentales, piedras conmemorativas conocidas como **ku-durrus**³, donde nuevamente aparecen los símbolos de las



distintas deidades y algunas de las constelaciones clásicas más antiguas, datadas en torno al siglo XII a.C.: Águila, Escorpio, Tauro, Sagitario y Capricornio. Por esos tiempos puede evidenciarse, además, un nexa claro entre estrellas-dioses y cada mes del año (12 meses lunares).

Bestiario

La siguiente estación en el tiempo nos transporta a las famosas tablas de **Mul-Apin**, el compendio astronómico más importante de la Antigüedad, que corresponde al período asirio (883-612 a.C.). Se trata de tablillas de arcilla escritas en caracteres cuneiformes. El término significa “estrella-arado”, por comenzar con la constelación del Arado, que ocupaba el lugar del actual Triángulo. Si bien su elaboración puede datarse en torno al siglo VII a.C., sus contenidos pertenecen a conocimientos anteriores al 1000 a.C.

Allí podemos encontrar un amplio catálogo de estrellas, fechas y cálculos astronómicos de gran precisión relacionados a la salida y puesta de estrellas, al movimiento de los planetas y, lo más importante, la descripción de diferentes figuras celestes: algunas, relacionadas de a pares y en distintas ubicaciones en el cielo, opuestas, o unas en el cenit y otras en el horizonte en el mismo momento, lo que permitió datar la fecha y el lugar en el que fueron registradas.

Otra noción astronómica fundamental que nos presentan las tablas de Mul-Apin es el “**Camino de la Luna**”, recorrido que da origen al zodíaco, palabra griega que significa “círculo de animales”. Allí figuran entre 17 y 18 constelaciones pertenecientes o relacionadas directamente al zodíaco original. Éstas se redujeron a 12 para que coincidan con los meses lunares (lunaciones) a partir del reinado de Nabucodonosor II (segundo imperio babilónico, 604-562 a.C.), e incluían aún las regiones que hoy conocemos como Orión (el “Verdadero Pastor Ce-

01 En las cuevas de Lascaux, en Francia, se ve la figura de un toro y, quizás, las Pléyades (marcadas con la flecha).

02 Representación de deidades junto a sus animales icónicos.

leste”), fusionada a Gemini y a Pegaso (“el Campo”), que estaba unida a la hoy conocida como Piscis. En el siglo V a.C. el zodíaco alcanzó su versión final y dejó afuera a Orión y Pegaso, para llegar así a la cultura griega.

Cierto es también que por aquellas épocas la astronomía estaba íntimamente ligada con mitos, leyendas y una concepción religiosa que dominaba casi por completo a estas culturas y civilizaciones. Son contenidos muy valiosos y de gran interés histórico, arqueológico y antropológico; aunque desgraciadamente gran parte de la sociedad actual, en un acto de profunda ignorancia, pereza intelectual y sugestión, sigue tomando al pie de la letra preceptos mágico-religiosos creados hace más de 3000 años como verdades científicas, mientras ignora nociones físicas básicas sobre el funcionamiento del mundo en que vive. Por esa época se consolidó la astro-

02



logía como disciplina.

Otro de los compendios más relevantes, fuente de constelaciones antiguas, es el texto conocido como “**GU**” (**tablilla BM 78161**, *British Museum*), confeccionado entre el siglo VII y V a.C., con referencias a la Osa Mayor, la Osa Menor y el Cuervo.

Figuras en Grecia y Roma

Si bien muchos de estos conocimientos y constelaciones llegarían a todo el mundo de influencia griega con Alejandro Magno (356-326 a.C.), lo cierto es que la cultura astronómica y mítica griega estaba ya íntimamente ligada a las civilizaciones mesopotámicas. Las primeras referencias griegas de las constelaciones clásicas nos llegan del siglo VIII a.C., de parte de Homero y Hesíodo, quienes habían nacido en Asia Menor, actual Turquía, por lo que estuvieron empapados de los conocimientos astronómicos y de la mitología de numerosos pueblos orientales, incluyendo a los fenicios (de quienes tomaron el alfabeto). En la *Ilíada* y la *Odisea*, **Homero** nos acerca más al conocimiento existente en las tablas Mul-Apin que a desarrollos posteriores; mientras que **Hesíodo**, a través de su obra **Los Trabajos y los Días**, describe numerosos astros y figuras que relaciona a lugares específicos del cielo y a fechas destacadas en el calendario agrícola griego.

Por su parte, **Arato de Soloi** (310-240 a.C., también nacido en Asia Menor), familiarizado con las obras de Homero y Hesíodo, fue quien realizó por primera vez una descripción detallada de las constelaciones clásicas, basado en el trabajo de **Eudoxo de Cnidos** (siglo IV a.C.), conocido en forma indirecta a través de otros autores. Eso hace que los investigadores de hoy no tengan en claro cuánto de lo expresado por Arato ya estaba presente en la obra de Eudoxo. Lo principal de esta compilación es que no menciona astros y constelaciones que eran visibles en su época⁴, mientras que describe muy bien regiones celestes apenas visibles desde esas latitudes. Esto último deja en claro que las descripciones de Arato-Eudoxo fueron generadas mucho tiempo antes, en torno al siglo XII a.C.

Organizando el mapa

Tal vez el papel más destacado en esta historia pertenezca a **Eratóstenes de Cirene** (276-195 a.C.), director de la famosa Biblioteca de Alejandría, conocido por grandes obras como **Geografía** o **Cronología**. Sin embargo, su trabajo más importante en la materia que nos concierne es *Catasterismos*, que también nos llega en forma indirecta a través de una versión del año 100 d.C., que contendría numerosas diferencias con el original. El término catasterismo significa “*colocado entre las estrellas*” (sic) y hace referencia a la transformación mitológica de un personaje en estrellas y constelaciones.

Eratóstenes se basó en Arato y en mitos comunes entre los griegos de la época. Fusionó definitivamente las constelaciones mesopotámicas con la mitología griega y explicó el origen de cada mito y su transfiguración en



03 *Kudurru de la Babilonia Cassita, siglo XI a.C.*

imagen celeste, lo que dejó la versión definitiva de las constelaciones clásicas. Según se cree, también relleno los vacíos míticos con invenciones propias.

Casi un siglo después aparece en la escena científica griega otra figura descollante: **Hiparco de Nicea** (190-120 a.C.), descubridor de la precesión terrestre, hito científico para el que fue fundamental el desfase observacional en las constelaciones descritas por Arato y Eudoxo. Su obra más importante fue **Explicaciones de los Fenómenos de Arato y Eudoxo**, que incluía un catálogo de unas mil estrellas que ha llegado hasta nosotros indirectamente, a través de una escultura romana del siglo II de nuestra era, probablemente una copia de una obra más antigua del siglo II a.C.: el **Atlas Farnesio**. El globo celeste sostenido por la figura mítica de Atlas sería el mapa del cielo más antiguo conservado. Allí figuran 42 de las 48 constelaciones clásicas.

Las figuras celestes y los mitos basados en Arato y Eratóstenes cobraron una gran popularidad en **Roma**. La principal importancia de los autores romanos se basa en la difusión. La obra **Astronomía**, de **Higino**, dedica un tomo entero (de un total de cuatro) a describir las constelaciones clásicas, e incluso brinda distintas variantes de los mitos griegos. La obra de Arato también llega al mundo romano en forma más o menos directa, y se hace enormemente popular gracias a las traducciones de varios autores, entre los que se encuentra **Germánico** (15 a.C.- 19 d.C.).

Sin embargo, quien se encargó de compendiar y resumir todo este proceso de mapeo del cielo y gran parte del conocimiento astronómico y científico de la Antigüedad, fue el astrónomo griego-egipcio **Claudio Ptolomeo** (87-170), quien dedicó más de una década a estudiar el cielo de manera sistemática. Su obra más destacada es **Almagesto** (del árabe *Al Magisti*, el más grande), el compendio de astronomía observacional más importante de la Antigüedad. Se cree que se basó, para la descripción de la esfera celeste, en la obra de Hiparco. Del Almagesto proviene la compilación final de las 48 constelaciones clásicas que hoy conocemos.

La abrupta **caída del imperio romano de occidente (año 476)** amenazó con enterrar gran parte de la cultura de la Antigüedad clásica, los avances matemáticos y el conocimiento observacional práctico del cielo. Sin embargo, gracias a las valiosísimas traducciones de astrónomos árabes de los originales griegos, y de destacados aportes propios a lo largo de la Edad Media, buena parte pudo sobrevivir al oscuro letargo, sumido en los dogmas religiosos y las supersticiones, de la Europa medieval.

Navegando en otros cielos

El período siguiente terminaría de definir nuestro mapa, a partir de las primeras expediciones portuguesas al sur de África. En estos trayectos marítimos los navegantes se veían obligados a reconocer nuevas estrellas y nuevos pa-

trones celestes, no visibles desde Europa. Todo este proceso llevó a importantes cartógrafos de los siglos XVI y XVII, a completar sus mapas y globos celestes con nuevas constelaciones, muchas de ellas inspiradas en animales “exóticos”, instrumentos de navegación o inventos de la época. El más destacado fue el holandés Petrus Plancius (1552-1622), quien trabajó para la compañía de las Indias Orientales y contó con dos inmejorables colaboradores: los navegantes holandeses Frederick de Houtman y Pieter Dirkszoon Keyser, quienes se encargaron, entre 1595 y 1597, de catalogar unas 130 estrellas del hemisferio celeste sur y de agruparlas en 12 nuevas constelaciones. Entre ellas nacieron el Triángulo Austral, el Tucán, el Pavo, la Grulla y la Mosca, presentadas por

“Las 88 constelaciones oficiales representan una fusión de la historia de la mitología, la cultura, la observación del cielo, los descubrimientos y la curiosidad de la humanidad”.

04



06



05



04 *Atlas Farnesio, el globo celeste sostenido por la figura mítica de Atlas, sería el mapa del cielo más antiguo conservado.*

05 *Globo del flamenco Gerardus Mercator (1551).*

06 *Sección del atlas celeste de Bayer.*

Plancius en dos globos celestes en 1598 y 1612 respectivamente.

Otros destacados cartógrafos confeccionaron también sus globos celestes, antes y después de Plancius. Entre los más importantes se encuentran el flamenco Gerardus Mercator (1512-1594), Willem Blaeu (1571-1638) y Jodocus Hondius (1563-1612). Paralelamente, un astrónomo aficionado alemán, Johann Bayer (1572-1625), ideó el primer atlas de la esfera celeste completa en un plano de dos dimensiones. Su trabajo fue publicado en 1603 con el nombre de **Uranometría**, y constaba de 51 cartas celestes, que incluían las nuevas constelaciones australes de Plancius, Keyser y Houtman. La fuente principal, tanto para Plancius como para Bayer, fue el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), quien contaba con datos de gran precisión con respecto a la ubicación de las estrellas, los mejores existentes desde el Almagesto de Ptolomeo.

Mejorando el mapa

El siglo XVII vio nacer nuevas constelaciones y atlas celestes. Sus protagonistas fueron el alemán Jakob Bartsch (1600-1633) y el polaco Johannes Hevelius (1611-1687). El primero introdujo constelaciones como Reticulum y Vulpécula, entre algunas otras. Pero fue Hevelius, con su atlas *Firmamentum Sobiescianum*, publicado póstumamente en 1690, el más destacado. Basado en sus propias mediciones de gran precisión y en su propio catálogo conformado por más de 1500 estrellas, confeccionó un atlas celeste que incluía varias constelaciones nuevas, como Lince, Sextante o León Menor. Por su parte, el *Atlas Coelestis* del astrónomo real inglés **John Flamsteed** (1646-1719), fue otro de los más importantes de la época, publicado 10 años después de su muerte.

Hacia mediados del siglo XVIII surgen nuevas constelaciones, esta vez de la mano del abad **Nicolas Louis de Lacaille** (1713-1762). Desde el Cabo de Buena Esperanza (actual Sudáfrica), proyectó catorce nuevas constelaciones a partir de las estrellas “nuevas” del hemisferio sur, inspiradas en instrumentos de la navegación y otros diversos objetos. Sculptor (el taller del escultor), Fornax (el horno químico), Circinus (el compás), Norma (la regla) y Octans (el octante), son algunas de ellas. Además, Lacaille fue el responsable de la división de la constelación más grande del cielo: Argo Navis, que fue separada en Carina (la quilla), Puppis (la popa) y la Vela. Su trabajo fue publicado en 1756 bajo el nombre *Planisphere contenant les constellations*.

El astrónomo francés Joseph Jerome de Lalande (1732-1807) fue otra personalidad en la materia, con su constelación Felis (el gato), hoy desaparecida, muy lamentablemente para todos aquellos amantes de estos felinos.

Otra de las grandes obras fue *Uranographia* (1801), del alemán **Johann Elert Bode** (1747-1826). Fue un enorme atlas que contenía todas las constelaciones descritas hasta

la fecha e incluía por primera vez límites para cada constelación.

En busca del mapa final

Todo este derrotero llegará finalmente a una etapa que podríamos verla como conclusiva, aunque no termina con nuestra indagación de la esfera celeste. Si bien cada pueblo originario en la actualidad continúa cultivando sus tradiciones y proyectando sus mitos y leyendas en el cielo, para la cultura occidental (que es lo que nos compete en este caso), la Unión Astronómica Internacional tomó un camino más concreto y utilitario. Comenzaron a fijarse los límites de 88 constelaciones escogidas, de tal modo que cada astro quedase dentro de sólo una constelación, sin dejar lugar a interpretaciones variables en el armado de constructos culturales imaginarios, o porciones de cielo indeterminadas. En esa labor tuvo especial relevancia el trabajo del astrónomo belga Eugène Joseph Delporte (1882-1955), quien comenzó a trabajar en 1922 y utilizó las líneas de Ascensión Recta y Declinación, es decir, las coordenadas que nos permiten ubicarnos en cualquier punto específico de la esfera celeste.

Estas 88 “parcelas celestes”, una fusión de la historia de la mitología, la cultura, la observación del cielo, los descubrimientos y la curiosidad de la humanidad, comienzan a tomar forma definitiva en 1928, y fueron publicadas en forma oficial en **1930**. Así quedó definido nuestro mapa, como una suerte de división política del cielo, un mapa de “países celestes”. Esto no implica que el cielo sea una configuración ya cerrada a nuestra imaginación y a nuestras ganas de explorarlo. Conocer su historia y su configuración es sólo un punto de partida a otro camino interminable y maravilloso que recomendamos: la observación del cielo. ■

Notas

1 Período acadio: 2350-2150 a.C.; renacimiento sumerio: 2150-1950 a.C.; y primer período babilónico: 1950-1500 a.C.

2 Los Cassita fueron una tribu invasora iraní que asimiló culturalmente el primer período babilónico.

3 Los kudurrus son estelas de piedra grabadas utilizadas generalmente para registros documentales de carácter administrativo o legal por las antiguas civilizaciones mesopotámicas. Los signos relacionados al cielo y a los dioses cumplían la función de validación del documento, tal vez a manera de lo que hoy utilizamos como sellos.

4 Debido a la precesión de los equinoccios, un movimiento en forma de trompo que realiza el eje de rotación terrestre en unos 26.000 años, algunas regiones del cielo eran visibles en Europa en aquellos tiempos, pero ya no lo son.

46P/Wirtanen

El cometa "bola"

Vista de campo amplio del cometa 46P/Wirtanen, realizada el sábado 8 de diciembre de 2018, poco antes de la medianoche. Este pequeño visitante helado, apenas observable a simple vista bajo cielos oscuros, era imposible de ver a ojo desnudo en cielos urbanos. La foto es el resultado del apilado de 3 tomas individuales (de 2 minutos de exposición cada una) obtenidas en Yamay, localidad de Pardo, en la provincia de Buenos Aires, a unos 230 km de la Capital Federal. Aún en cielos de esa calidad (donde se llegan a ver estrellas hasta de magnitud 5,8 a 6,0 a simple vista), el cometa era un objeto pálido y difuso, nada fácil de observar en primera instancia. Esa noche lo estimamos en una magnitud visual total de 4,5 (distribuida en toda su "área") y un diámetro aparente de 35/40 minutos de arco (más grande que la Luna llena). Eso le daba el aspecto de una "bola de humo", especialmente, visto a través de binoculares. De ahí que, junto con los amigos y colegas que compartimos esa velada astronómica en Yamay, lo apodáramos cometa "bola". La foto de campo profundo fue tomada con una exposición de casi una hora.

Mariano Ribas



Eclipse total del 21 de enero

LUNA DE VERANO

Alberto Russomando



En un año en el que los eventos astronómicos ocuparán las primeras planas en varias oportunidades, el puntapié inicial lo dio un eclipse total de Luna visto en todo el continente americano.

En el Planetario de la Ciudad de Buenos Aires tuvimos la suerte de poder observar el eclipse total de Luna por completo, con un cielo absolutamente despejado de nubes, una temperatura más que agradable y más de 15 mil personas que se acercaron desde que comenzó a anochecer, alrededor de las 20, con telescopios, binoculares, reposeras, mate, sándwiches, empanadas y bebidas. Muchos de ellos –varios miles– pudieron ingresar a la explanada del Planetario para observar el eclipse a través de alguno de los siete telescopios que colocamos para el público, muy cerca de otros instrumentos que utilizamos para registrar el evento de diferentes maneras: cámaras fotográficas y filmadoras, binoculares y hasta un “telescopio-binocular” mediante el cual se puede observar directamente con los dos ojos abiertos, como si fuera un binocular pero con la potencia y la montura de un gran telescopio. Además, la buena música llenó el ambiente del parque mientras nuestro satélite natural se sumergía en la sombra terrestre.

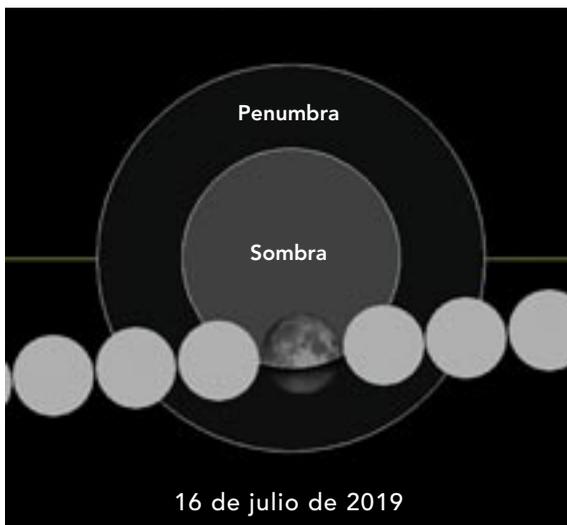
Minuto a minuto

La Luna ingresó en la penumbra a las 23.36 del domingo 20, y como ocurre en esta etapa de un eclipse, su brillo decayó levemente, de manera casi imperceptible. A las 00.34 de la madrugada del lunes 21 comenzó a “desaparecer” (la palabra eclipse, justamente, significa *desaparición de un astro por otro o por la sombra de otro*) en la umbra, la parte central del cono de sombra de la Tierra, cuyo contorno redondeado comenzó a ser cada minuto más evidente, reflejado en la superficie lunar; algo que pudo observarse claramente tanto a simple vista como con instrumentos.

La etapa más espectacular se dio a partir de la 01.41, cuando la Luna quedó completamente sumergida en la sombra terrestre. A las 02.12 se dio el máximo del eclipse, y a las 02.43 nuestro satélite comenzó a salir lentamente del cono de sombra y, poco a poco, la luz solar volvió a reflejarse en su cara visible; hasta que 67 minutos después, la Luna volvió a estar completamente iluminada y sólo quedó cerca de una hora más

de la etapa penumbral, nuevamente, prácticamente imperceptible.

El próximo eclipse total de Luna visible casi por completo desde nuestro país será el 26 de mayo de 2021. Pero este mismo año tendremos la oportunidad de ver parte de un eclipse parcial, en el atardecer del 16 de julio (dos semanas después del eclipse total de Sol). Ese día la Luna saldrá sobre Buenos Aires a las 17.55, pero el eclipse parcial dará comienzo antes, a las 17.01. El máximo será a las 18.30, con la Luna apenas 6° sobre el horizonte porteño, y el eclipse finalizará a las 19.59. ■



Gráficos de un eclipse total (arriba) y otro parcial de Luna. El 16 de julio de 2019 la Luna no ingresará por completo en el cono de sombra de la Tierra. A la derecha, cuatro momentos de la totalidad que muestran diferentes matices de iluminación y tonalidades.

Mariano Ribbas







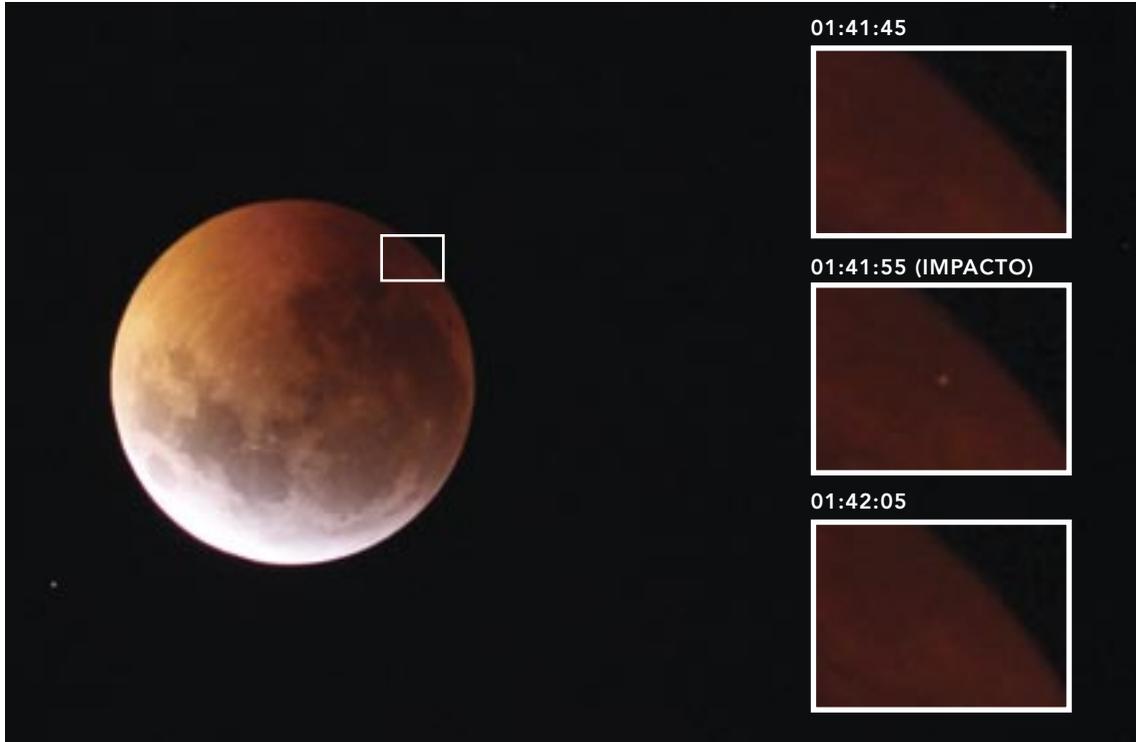
LUNA ROJA, NARANJA, ÁMBAR, MARRÓN, OCRE, COBRE, CAOBA, CANELA O GRANATE

Durante la totalidad de un eclipse de Luna, nuestro satélite, en lugar de desaparecer completamente de nuestra vista al estar sumergido en la sombra terrestre, queda débilmente iluminado con un color que varía en cada eclipse, pero que generalmente está relacionado a los tonos anaranjados. Nunca podemos estar seguros del color con el que se va a teñir la Luna durante la totalidad de un eclipse; eso depende de las condiciones de la atmósfera terrestre. La luz del Sol atraviesa la atmósfera de nuestro planeta y, por la interacción con sus elementos, se refracta, se inclina, se dispersa, se descompone. Debido a esos fenómenos, especialmente la parte roja del espectro de luz visible se refleja en la Luna. Ésa es la razón por la que, en el momento de la totalidad de un eclipse, la Luna no se oscurece por completo. La tonalidad será diferente si en la atmósfera terrestre hay más polvo, ceniza volcánica, contaminación; incluso si la luz del Sol se refracta sobre los sectores más contaminados de la superficie terrestre: Estados Unidos, Europa o China. Si en algunos de esos lugares está amaneciendo o atardeciendo en el momento de la totalidad del eclipse, eso afectará también el color con el que la Luna se tiña. En estas imágenes comparamos los últimos eclipses totales de Luna como para comprobar la diferencia en la tonalidad durante la totalidad.

Fotos de Mariano Ribas (2014) y Cristian López (2015 y 2019).

En el Planetario colocamos siete telescopios para observar el eclipse con algunas de las 15 mil personas que se acercaron al Parque Tres de Febrero.





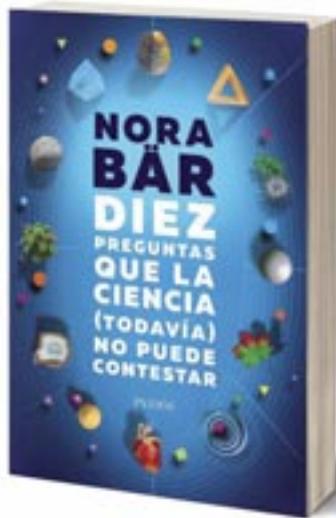
EL IMPACTO

Durante la totalidad del eclipse un pequeño meteoroide impactó contra la superficie lunar. Este tipo de evento es bastante habitual en nuestro satélite, aunque no es muy común que sea registrado fotográficamente dada la instantaneidad del hecho y el breve destello que acompaña el impacto. Además, en este caso, con el brillo de la Luna llena, es muy probable que no hubiera sido detectado si no se hubiera dado durante la totalidad de un eclipse. En el Planetario de Buenos Aires (y en muchos otros lugares de América) pudimos registrar el impacto gracias a que, obviamente, estábamos observando y fotografiando el eclipse. Nuestro compañero Alberto Russomando (NdeR: quien tomó la imagen del sello postal publicada en la página 6 de nuestra edición anterior) registró una imagen de la Luna cada 10 segundos durante todo el eclipse, con la intención de realizar luego un time-lapse de todo el evento. Cuando nos enteramos del impacto, revisamos cada imagen cercana a ese horario. En la que corresponde exactamente a las 01 h 41 min 55 seg estaba el píxel blanco que tanto esperábamos encontrar, al sureste de la superficie lunar. Las imágenes que acompañan a la del impacto corresponden a los 10 segundos previos y posteriores. La estrella que aparece abajo a la izquierda de la imagen es Mu Cancrí, en la constelación de Cáncer.



PRÓXIMOS EVENTOS EN 2019

- 2 de julio:** Eclipse total de Sol.
- 16 de julio:** Eclipse parcial de Luna.
- 11 de noviembre:** Tránsito de Mercurio por delante del Sol.



Diez preguntas que la ciencia (todavía) no puede contestar

Nora Bär

2018. Editorial Paidós

Porfiada acumuladora de datos simpáticos, cronista infatigable, en este libro Nora Bär nos guía a través de los hallazgos científicos fundamentales del siglo XX, y toma como excusa diez incógnitas que la ciencia aún no logra resolver. Desde qué sucedió antes del Big Bang hasta por qué dormimos, su propuesta nos lleva a recorrer la historia de la ciencia occidental a partir de anécdotas desopilantes y datos curiosos, extraños azares y situaciones por momentos paranormales. De protagonistas, mujeres y hombres curiosos, creativos, inconformistas: casi artistas. Con prosa clara y sin tecnicismos, la autora explora áreas como la astrofísica, la medicina y las neurociencias, al tiempo que nos recuerda las enormes dificultades que los intrépidos investigadores fueron dejando en el camino. Lleno de vidas notables, este libro convoca las voces de destacados científicos argentinos, como Juan Martín Maldacena, María Teresa Dova o Matías Zaldarriaga, y también de personalidades internacionales, como Giulio Tononi, Daniel Dennett o Stanislas Dehaene.



Crónicas del cielo y la Tierra

Mariano Ribas

2018. Editorial TantaAgua

¿Qué fue realmente la estrella de Belén? ¿Cuáles son las variables astronómicas que pudieron haber influido en el naufragio del Titanic? ¿Qué relación existió entre el paso de un cometa y la caída del imperio azteca? ¿De qué manera un eclipse de Sol puso a prueba la Teoría de la Relatividad General? ¿Es la superficie lunar un reflejo de la geografía terrestre, como se creyó durante siglos? Mariano Ribas responde estas y muchas otras preguntas en un fascinante recorrido histórico que abarca más de dos mil años. Desde los “Reyes Magos” hasta Colón, de Genghis Khan a Da Vinci, de los intrépidos vikingos a Galileo Galilei y de Einstein a los esclavos norteamericanos, todos los relatos están atravesados por una idea central: “No hay cielos sin historias... ni historias sin cielos”.

Matemáticas aplicadas a la astronomía

MEDIR EL UNIVERSO

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

“La ciencia está escrita en el más grande de los libros, abierto permanentemente ante nuestros ojos, el universo. Pero no puede ser comprendido a menos que aprendamos a entender el lenguaje y a conocer los caracteres con que está escrito. Está escrito en lenguaje matemático, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin las que es humanamente imposible entender una sola palabra. Sin ellas, uno vaga desesperadamente por un oscuro laberinto.”

Saggiatore, Galileo Galilei, 1623.

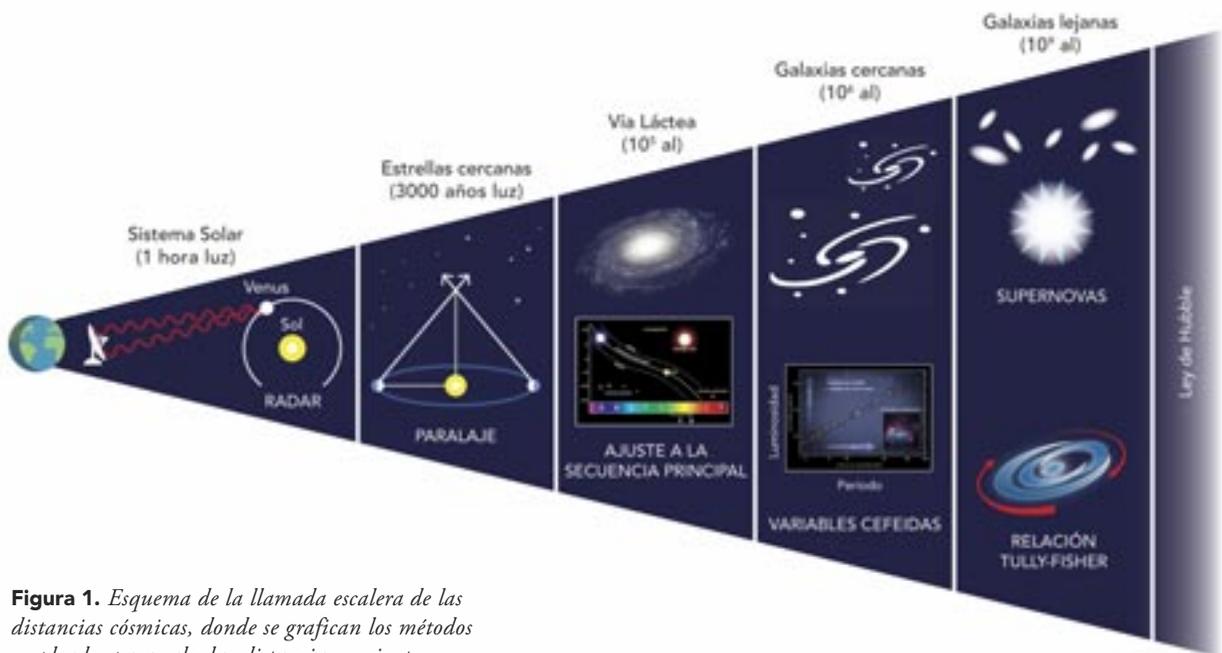


Figura 1. Esquema de la llamada escalera de las distancias cósmicas, donde se grafican los métodos empleados para calcular distancias crecientes.

Las dimensiones en el universo son tan grandes que las escalas de tiempo, distancia y tamaño son difíciles de imaginar. No hay un único sistema de unidades que nos sirva para todo el rango de distancias posibles, y tampoco hay un único método para calcularlas. Estas mediciones, que no se pueden hacer en forma directa, requieren observaciones precisas y un poco (o mucho) de matemáticas.

El desarrollo de la actividad científica requiere observar, clasificar, cuantificar, establecer relaciones, elaborar hipótesis y, por supuesto, corroborar y volver a repetir estos pasos las veces que sea necesario. En cada etapa se necesita el auxilio de las matemáticas. Para su estudio científico, algunos objetos pueden ser

manipulados con relativa facilidad. La astronomía tiene una dificultad intrínseca: los astros no se pueden pesar ni medir directamente. La rama de la astronomía que se ocupa de estudiar las distancias, la posición y el movimiento propio de los cuerpos celestes es la **astrometría**. Para empezar a encontrar algunas respuestas se requiere

una sucesión de métodos que se apoyan unos en otros, que se denomina **escalera de distancias cósmicas** (figura 1). Necesitamos calcular la distancia a partir de otros parámetros que sí podamos medir. Se utiliza la metáfora de la escalera porque para avanzar hace falta tener como referencia una medición anterior, para calibrar el siguiente paso. Se pueden establecer medidas relativas que nos permiten construir un modelo de escala del universo. Luego necesitamos **indicadores** que nos den parámetros absolutos para poder establecer las dimensiones reales.

lómetros no se pudo calcular hasta bien entrado el siglo XVII, y durante el siglo XIX se logró ajustar el valor de la UA.

Actualmente, las mediciones se hacen con radares que miden el tiempo que tarda una señal enviada desde la Tierra en ir y regresar a un determinado astro del sistema solar. Así, conociendo la velocidad de la luz (casi 300.000 km/segundo), se puede calcular indirectamente la distancia. Con este método se definió la UA en 149.597.870,700 km, es decir, casi 150 millones de km (ver figura 3).

Grecia: midiendo tiempo atrás

En la actualidad disponemos de técnicas e instrumentos sofisticados, gran cantidad de datos observacionales acumulados y capacidad para procesarlos, y también un gran desarrollo de las matemáticas. Pero, ¿cómo fue posible, de la nada, ir midiendo el tamaño del universo? Si se conoce la distancia a la que se encuentra un objeto, es relativamente sencillo estimar su tamaño; o si conocemos el tamaño, también podemos estimar con precisión la distancia a la que se encuentra. ¿Y si no conocemos ninguno de los dos parámetros?

Los antiguos griegos eran muy ingeniosos, y también muy hábiles en geometría. Hace 23 siglos realizaron las mediciones que fueron la base de la escalera de distancias cósmicas. Aristarco de Samos logró calcular, con precisión admirable, la relación de tamaños entre la Tierra y la Luna, y la distancia que las separa, en función del radio de la Tierra. Conocer los tamaños y las distancias relativas es un buen comienzo, pero para avanzar es necesario establecer la medida real de los astros. Hubo que esperar casi un siglo hasta que Eratóstenes pudiera calcular el tamaño de la Tierra: valiéndose de palos, sombras y sus conocimientos de geometría, estimó la circunferencia y el radio de nuestro planeta. El valor obtenido por Eratóstenes, que se aproxima razonablemente al real, permitió seguir avanzando en el cálculo de las dimensiones del universo.

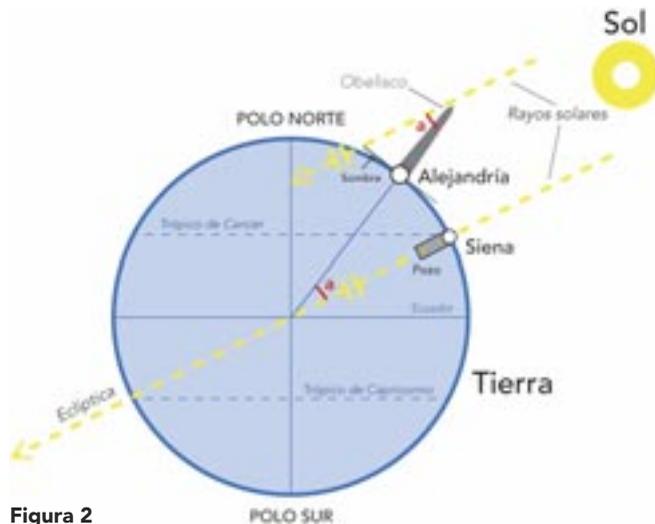


Figura 2

Eratóstenes midió la distancia entre Alejandría y Siena, y calculó la circunferencia de la Tierra a través de la diferencia en la longitud de las sombras producidas al mediodía en la misma fecha desde distintas localidades, debido a la curvatura terrestre.

► Primer peldaño: sistema solar

Método: radar.

Alcance: 1 hora luz.

Se mide tiempo.

El primer patrón de medida es la **Unidad Astronómica (UA)**, que es la distancia media que separa la Tierra del Sol; o lo que es lo mismo, el radio de la órbita terrestre. Ya en 1543 Nicolás Copérnico había logrado calcular por métodos trigonométricos las distancias relativas entre los planetas conocidos y el Sol. Usó como referencia la distancia Tierra-Sol, a la que consideró como unidad. Las distancias al Sol de los demás planetas se calculaban como proporciones de esta distancia. El valor real en ki-

► Segundo peldaño: estrellas cercanas

Método: paralaje.

Alcance: 1 kpc (1 kilopársec = 1000 pársecs, aproximadamente 3000 años luz).

Se mide un ángulo.

Esta medición se basa en la variación de la posición aparente de las estrellas observadas con seis meses de diferencia, es decir, desde puntos opuestos de la órbita de la Tierra. El ángulo de desplazamiento se denomina **paralaje** (se dice **la** paralaje, es femenino), y disminuye cuando los objetos están más lejos, hasta hacerse casi imperceptible. Este fenómeno de perspectiva es muy simple, y se puede comprobar mirándonos un dedo con el

Figura 3



brazo extendido, cerrando alternativamente un ojo y el otro. Se observará el desplazamiento aparente del dedo respecto a un fondo determinado, que varía al cambiar la distancia del dedo a la nariz.

Este método sólo puede utilizarse para calcular la distancia a estrellas relativamente cercanas, y es necesario haber calculado previamente el radio de la órbita terrestre, es decir, la Unidad Astronómica (150 millones de km).

La unidad de medida es el **pársec**, que se define como la distancia desde la cual una UA subtende un ángulo de un segundo de arco ($1''$); o lo que es lo mismo, el punto desde el cual la distancia angular Tierra-Sol equivale a $1''$. En otras palabras, una estrella está a 1 pársec de distancia si su paralaje es igual a $1''$ (1 segundo de arco es la 3600ava parte de 1 grado). Como ejemplo, la estrella más cercana al Sol, Próxima Centauri, tiene una paralaje

de $0,77''$, equivalente a un objeto de 2 cm visto a una distancia de 5,3 km, o a una empanada chica en Quilmes, vista desde el Planetario, a unos 20 km (figuras 4A y 4B).

► **Tercer peldaño: Vía Láctea**

Método: ajuste a la Secuencia Principal.

Alcance: hasta 100 kpc (kilopársecs).

Se mide color y brillo aparente.

Un objeto puede parecer más pequeño que otro del mismo tamaño si está más lejos. Lo mismo ocurre con el brillo de las estrellas: a igual luminosidad, parece más débil la más lejana. Se puede calcular la distancia a una estrella a partir de la relación entre su **magnitud aparente** (que depende de la distancia a la que se encuentra de nosotros) y su **magnitud real o absoluta**.

Existe una fórmula que las relaciona, conocida como "módulo de distancia":

$$m - M = 5 \log(d) - 5$$

donde **d** es la distancia medida en pársecs, **m** es la magnitud aparente y **M** es la magnitud absoluta.

Para averiguar el valor de **d** hace falta conocer la magnitud absoluta de la estrella en cuestión. Necesitamos lo que se conoce como **candela estándar**, un tipo de estrellas cuya magnitud absoluta podemos conocer. Es posible deducir la magnitud absoluta de algunas estrellas a partir del diagrama de Hertzsprung-Russel (H-R): simplificado, este diagrama ilustra la relación entre la radiación que emite una estrella frente a su color y temperatura (figura 6). En este diagrama, la mayoría de las estrellas se "sitúa" en la Secuencia Principal, que es el período de tiempo en la vida de una estrella en que su actividad y su luminosidad son estables.

Por técnicas espectroscópicas y fotográficas se puede medir respectivamente el color y la magnitud aparente de una estrella de la Secuencia Principal. Con esos dos parámetros se ubica un punto en el diagrama H-R y, a partir de él, se puede conocer la magnitud absoluta de

Figura 4A

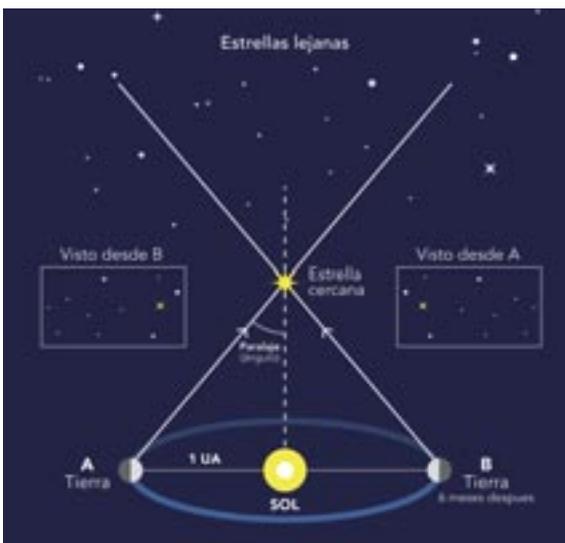


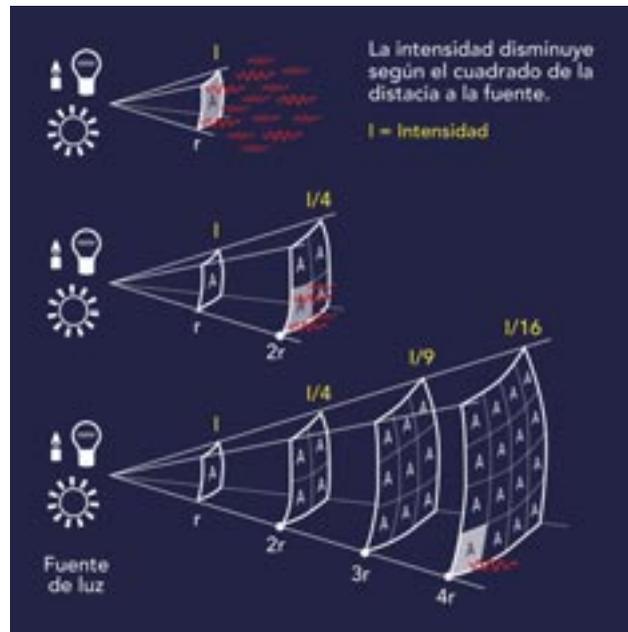
Figura 4B



esa estrella. Luego se aplica la fórmula para calcular la distancia. Este método es relativamente simple, pero poco preciso.

El ajuste de la Secuencia Principal utiliza, para medir distancias con mayor precisión, cúmulos estelares. Este método es mucho más confiable debido a la cantidad de estrellas que conforman un cúmulo. El procedimiento para medir las distancias consiste en comparar un diagrama H-R del cúmulo, con un diagrama H-R teórico con la magnitud absoluta de las estrellas. Luego se deslizan ambos diagramas, uno sobre el otro, hasta que los puntos representativos de la Secuencia Principal se superponen. La medida del desplazamiento entre la magnitud observada y la magnitud absoluta da como resultado la distancia buscada (ver figuras 5 y 6).

La intensidad del brillo de un astro disminuye según el cuadrado de la distancia a la fuente.



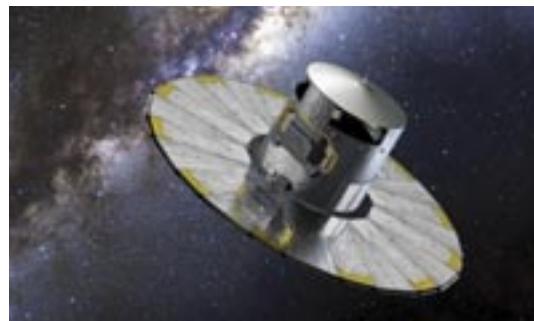
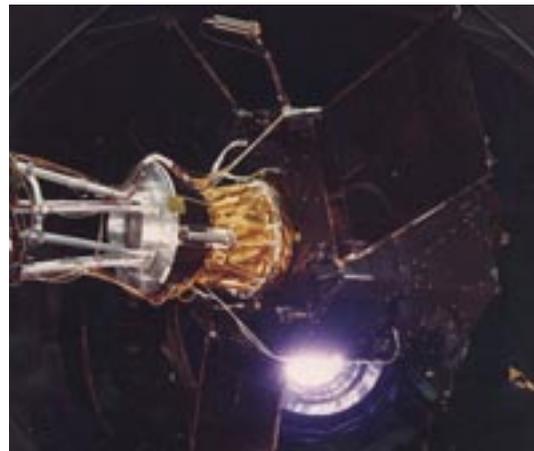
Los ojos de Hipparcos y Gaia

El satélite Hipparcos (*High Precision PARallax COLlecting Satellite*) de la Agencia Espacial Europea fue puesto en órbita en 1989. Al estar en el espacio, sin la turbulencia atmosférica que afecte sus observaciones, posee una precisión imposible de lograr con telescopios terrestres, ya que evita el titilar de las estrellas, efectos de la gravedad sobre los telescopios y, además, puede observar el cielo completo.

Este satélite permitió compendiar tres catálogos estelares que contienen información de las estrellas que se encuentran en un radio de unos 500 años luz (150 pársecs) desde la Tierra, con una precisión del orden de la millonésima de segundo de arco. Como resultado de estas mediciones, los astrónomos debieron rever y modificar todas las distancias conocidas en el universo, y así se concluyó que su tamaño era mayor que el estimado anteriormente.

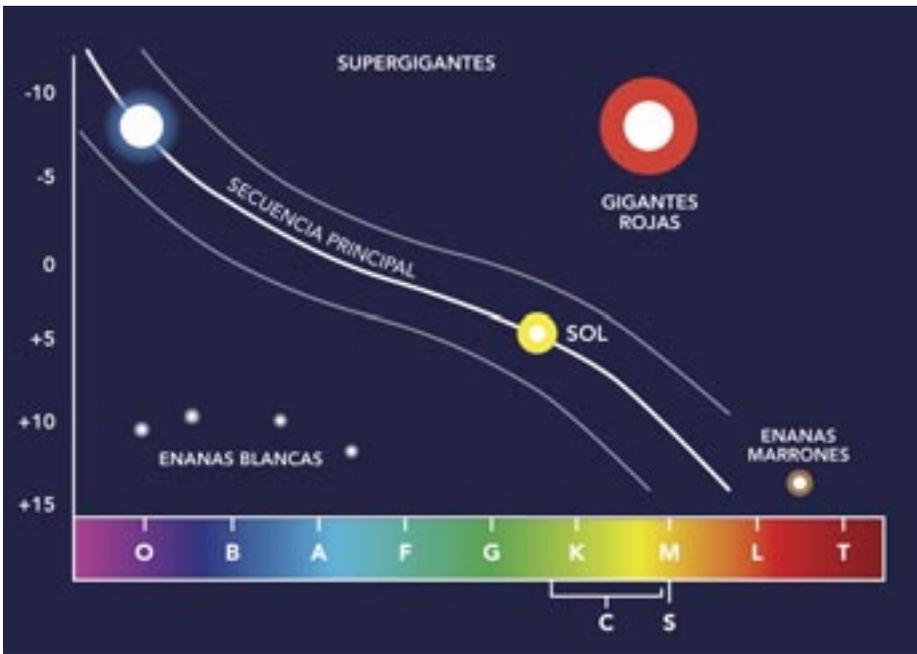
El proyecto Gaia, sucesor de Hipparcos, logró mejorar y complementar las medidas astrométricas (posición, movimiento y propiedades físicas) de una gran cantidad de estrellas. Gaia es 50 veces más preciso que Hipparcos y puede medir más de mil millones de estrellas de magnitud 20 con una precisión de hasta 7 microsegundos de arco. Esto representa el 1% de las estrellas en la Vía Láctea. Su precisión es tal que podría medir el espesor de un cabello ubicado a 1000 km de distancia.

El objetivo de la misión Gaia es cartografiar la Vía Láctea, analizar su estructura tridimensional y aportar datos para estudiar sus movimientos, origen y evolución; la influencia de la materia oscura y la curvatura de los rayos de luz debido a los efectos gravitacionales. Gaia también puede detectar entre 1000 y 2000 estrellas variables cefeidas y medir sus distancias, lo que permite calibrar con precisión este peldaño de la escalera de distancias cósmicas. El satélite observa el cielo profundo en una órbita privilegiada alrededor del Sol, a 1,5 millones de km de la Tierra, en un ambiente térmico muy estable.



El satélite Hipparcos antes de ser lanzado y una simulación del satélite Gaia.

Figura 6



En el Diagrama H-R se confronta la relación entre la radiación que emite una estrella frente a su color y temperatura. El Sol y todas las estrellas que atraviesan su etapa más estable se "sitúan" en la Secuencia Principal.

► **Cuarto peldaño: Grupo Local de galaxias**

Método: variables cefeidas.

Alcance: 30-40 Mpc (megapársecs = 10^6 pársecs), equivalente a 100 Mal (1 mega año luz = 10^6 años luz).

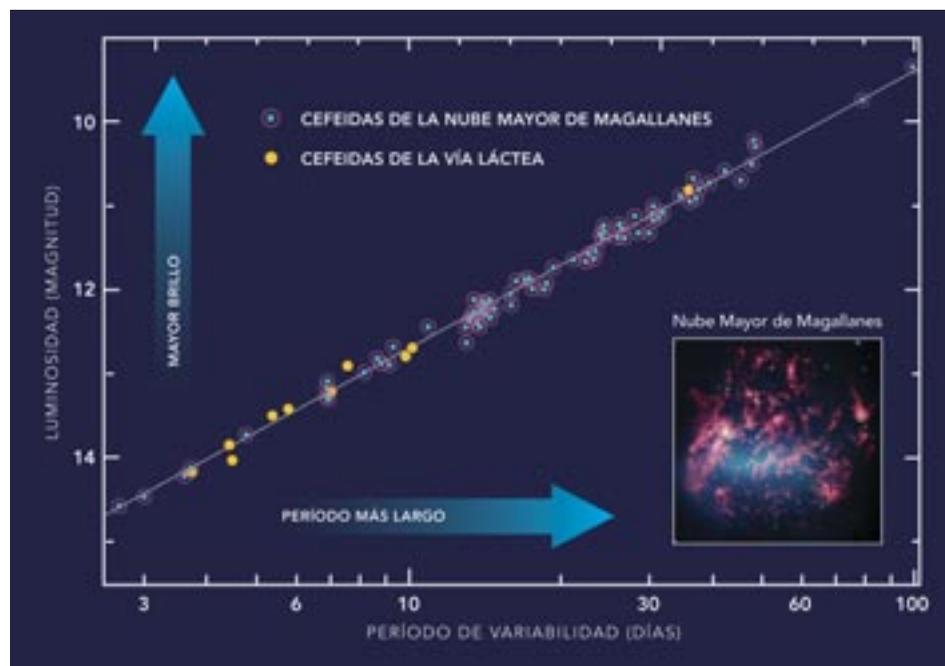
Se mide la variación en brillo aparente.

Para distancias mayores se utilizan diferentes candelas estándar de luminosidad creciente. Las variables cefeidas son estrellas cuya luminosidad cambia en períodos regulares (desde unas pocas horas hasta meses). Su masa es 4 a 20 veces la del Sol, y son 100.000 veces más brillantes, por lo que son visibles desde distancias inmensas, por

ejemplo, en galaxias vecinas a la Vía Láctea. Durante su ciclo estas estrellas pueden aumentar hasta 4 veces su brillo. Existe una relación directa entre la magnitud absoluta de estas estrellas y su período de variación. Las más luminosas tienen períodos más largos.

En un gráfico que enfrente el período de la variabilidad y el brillo, se puede observar una relación directa entre la magnitud aparente y el logaritmo de su período (tanto para el máximo como para el mínimo de luminosidad). El método se calibra calculando por paralaje la distancia a variables cefeidas cercanas (*ver figura 7*).

Figura 7



Datos de la relación período-luminosidad calibrados en las cefeidas de la Nube Mayor de Magallanes y la Vía Láctea. El ajuste genera una recta.

► Quinto peldaño: cúmulos de galaxias

Método: supernovas Tipo *Ia* / relación Tully-Fisher.

Alcance: hasta 10 Gal (giga años luz = 10^9 años luz), mayores a 100 Mpc.

Se mide el brillo aparente o la velocidad de rotación de una galaxia.

Estrellas variables y cúmulos de estrellas juegan un rol fundamental para calibrar los primeros peldaños de la escalera de distancias astronómicas: son los **indicadores primarios**. Pero para sondear los confines del universo es necesario recurrir a objetos y procesos altamente luminosos. Aquí, las candelas son estrellas supergigantes, supernovas tipo *Ia* (“uno A”) y cúmulos globulares. A estos se los denomina **indicadores secundarios**.

Las supernovas tipo *Ia* son 100.000 veces más luminosas que las variables cefeidas. Este fenómeno se produce y se observa en todo tipo de galaxias, y se asocia a estrellas viejas con una masa menor a la masa solar. El escenario es un sistema estelar doble compacto, conformado por una enana blanca y otra estrella. La enana blanca quita material de su compañera, que cae de manera espiralada y forma un disco de acreción a su alrededor. Cuando el material acumulado alcanza 1,44 masas solares, se vuelve inestable y explota sin dejar residuo alguno. La liberación de energía es tal que, repentinamente, se hacen extremadamente luminosas y pueden ser observadas a enormes distancias.

Aunque hay ciertas diferencias entre las supernovas *Ia*, todas tienen aproximadamente la misma masa, lo que significa que tienen también el mismo brillo intrínseco.

Si aplicamos nuevamente la fórmula del módulo de distancia, si se observa una supernova y se mide su magnitud aparente, se puede calcular a qué distancia se encuentra.

Para estimar la distancia a galaxias lejanas también pueden aplicarse métodos dinámicos, en los que el indicador de distancias es la velocidad de las estrellas que se encuentran en esas galaxias. En 1977 los astrónomos Brent Tully y Richard Fisher (del Instituto de Astronomía de Honolulu, Hawái) encontraron una relación empírica entre la velocidad de rotación de una galaxia espiral y su luminosidad. La velocidad se estima a partir del análisis del espectro de la galaxia. Si observamos el espectro en su totalidad como si la galaxia estuviese en reposo respecto a nosotros, en las partes externas que se aproximan hacia nosotros (debido a su rotación), las líneas espectrales se corren hacia el azul; y en las que se alejan, se corren hacia el rojo. Si sumamos los componentes, incluyendo corrimientos hacia el rojo y hacia el azul, se observa un ensanchamiento de la línea del espectro correspondiente al hidrógeno, y el ancho de esa línea es mayor cuanto más rápida es la rotación de la galaxia (ver siguiente peldaño, “Más allá”). La luminosidad, es decir, la magnitud absoluta, se obtiene a partir de la relación de Tully-Fisher.

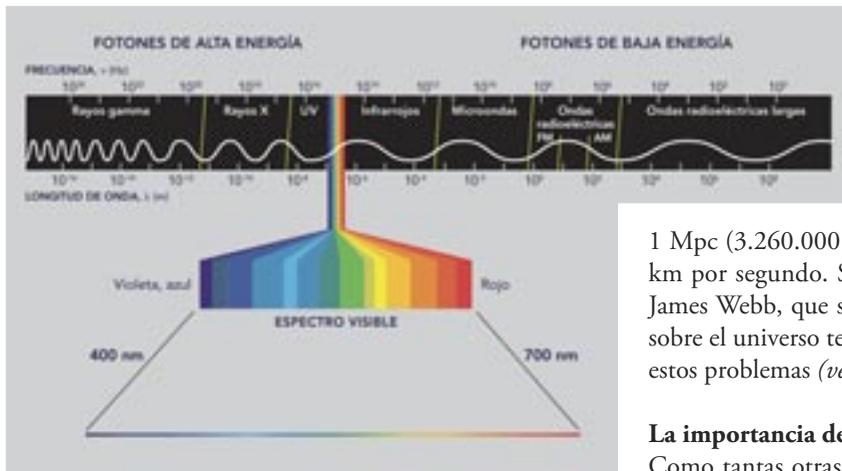
Para las galaxias elípticas existe una relación similar, descubierta también en forma empírica por Sandra Faber y Robert Jackson (Universidad de California, Santa Cruz, EE.UU.), basada en la dispersión de velocidades que tienen las estrellas que la conforman, debida a la presión en la parte central de la galaxia (*figura 8*).

Figura 8



Supernova tipo Ia (“uno A”) en la galaxia M82, en la Osa Mayor.

Figura 9



Espectro electromagnético desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma, hasta la mayor longitud de onda, como las de radio. Se muestra la zona del espectro visible entre el rojo y el violeta.

1 Mpc (3.260.000 años luz) se “aleja” de nosotros a 73 km por segundo. Se espera que el Telescopio Espacial James Webb, que será lanzado en 2021, obtenga datos sobre el universo temprano que ayuden a la solución de estos problemas (ver figuras 9 y 10).

► **Más allá: expansión del universo**

Método: Ley de Hubble.

Alcance: límites del universo observable.

Se mide el corrimiento al rojo del espectro.

El último peldaño es el más desafiante, y consiste en estimar las distancias a los objetos más lejanos y alcanzar los límites del universo observable.

El universo se expande; lo sabemos porque se puede observar que las galaxias más distantes se alejan de nosotros, y lo hacen más velozmente cuanto más lejos están. Eso se detecta al analizar sus espectros, en los que se observa un “corrimiento al rojo”: la luz de las galaxias se hace “más roja” a medida que se encuentran más lejos del observador. No es en realidad un movimiento real de las galaxias, sino que es el espacio el que se expande. Esta expansión arrastra las ondas electromagnéticas, lo que altera su longitud. El azul “estirado” se desplaza hacia la longitud de onda correspondiente al rojo en el espectro de la luz visible. Cuanto más lejos se encuentra una galaxia, más rápidamente parece alejarse, y mayor es el corrimiento de su luz hacia el rojo. En 1929 Edwin Hubble propuso que todas las galaxias lejanas se alejan respecto de nosotros con velocidades proporcionales a sus distancias, según la fórmula $v = H d$

En esta fórmula, v es la velocidad radial, H es un parámetro denominado constante de Hubble, y d es la distancia.

La relación entre el corrimiento hacia el rojo y la distancia se ha determinado para las galaxias cercanas con el método anterior, el de las cefeidas. Una vez conocida esa relación, se puede aplicar a las galaxias más lejanas en las que es imposible distinguir las estrellas individuales. La constante de Hubble (H_0), en realidad, varía lentamente con el tiempo, ya que el ritmo de expansión del universo no es constante. Medirla con precisión es medir la tasa actual de la expansión del universo, y no es una tarea sencilla.

El valor hallado en base a la escalera de distancias cósmicas es de $73 \pm 1,74$ km/s/Mpc (con un error del 2,4%). Eso significa, en principio, que una galaxia a

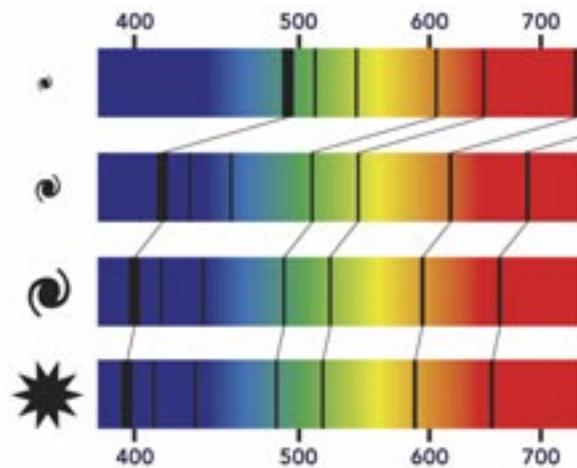
La importancia de medir distancias en el universo

Como tantas otras veces en la historia de la ciencia, el desarrollo del conocimiento que llevó a construir la escalera de distancias cósmicas siguió un camino sinuoso. En ocasiones hubo que esperar, detenidos en un escalón hasta que otro descubrimiento astronómico o un desarrollo tecnológico permitieran interpretar los datos y establecer las relaciones necesarias para avanzar. Otras veces fue necesario saltar escalones sin ajustar los parámetros para distancias más cercanas.

Cuando confiamos en los métodos precedentes podemos alejarnos más y más en tiempo y espacio. Los astrónomos han podido medir parámetros globales de galaxias como **indicadores terciarios** para determinar distancias, relacionados con la luminosidad, el tipo morfológico, la función de esa luminosidad y la ley de Hubble, y estimaron distancias hasta miles de millones de pársecs. Es así que han llegado a medir con precisión y confiabilidad la tasa de expansión del universo.

Hay dos motivos importantes para medir esas distancias. Desde una mirada astrofísica, implica conocer el objeto: su masa, luminosidad, edad, temperatura. En cuanto al punto de vista cosmológico, permite conocer nada menos que el tamaño y la edad del universo. ■

Figura 10



Corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales de un mismo elemento en diferentes galaxias, a causa de la expansión del universo. Se lo llama corrimiento hacia el rojo cosmológico.

¿A qué distancia están?

ALREDEDOR DE LAS PLÉYADES

Autor: *Dr. Guillermo Abramson, Centro Atómico Bariloche, CONICET e Instituto Balseiro.*

Mariano Ribas

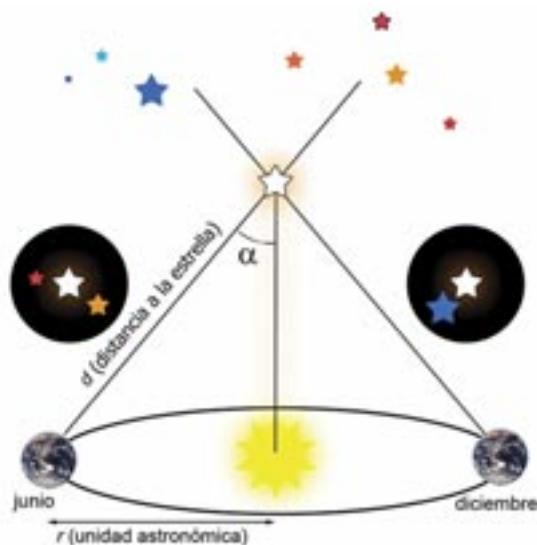


El más famoso de los cúmulos estelares fue objeto de una intensa controversia durante veinte años.

Cualquiera diría que los astrónomos deberían poder contestar la pregunta: ¿A qué distancia están las Pléyades? Es, sin embargo, algo muy difícil de averiguar. Los esfuerzos por medir la distancia a las estrellas recorren los siglos del desarrollo de la astronomía desde la Antigüedad clásica. Pero las estrellas están tan lejos que ningún método rindió sus frutos hasta que la Revolución Industrial brindó instrumentos de observación

y medición exquisitamente precisos en el siglo XIX.

Con ellos pudimos medir la distancia a las estrellas usando el mismo fenómeno que nos permite estimar las distancias en la vida cotidiana, desde enhebrar una aguja hasta atajar una pelota en el aire: nuestros ojos observan el mundo desde perspectivas ligeramente distintas, y esta diferencia es procesada por el cerebro para construir una imagen tridimensional de nuestro entorno.

**FIGURA 1**

La paralaje estelar es la variación aparente de la posición de una estrella cuando la Tierra se mueve a lo largo de su órbita. El ángulo α (muy exagerado en la ilustración) medido con la Tierra en puntos opuestos de la órbita permite calcular la distancia mediante un cálculo trigonométrico elemental (de G. Abramson, 2010).

En astronomía el método consiste en observar el cambio aparente de la posición de una estrella en el cielo a medida que la Tierra se mueve en su órbita (figura 1, y artículo de la página 31). Para hacerlo se procura medir el ángulo α , llamado paralaje estelar. Ocurre que, incluso para estrellas cercanas, este ángulo es pequeñísimo¹. Recién en 1838 Friedrich Bessel pudo medir de manera incuestionable la paralaje de una estrella: la de 61 Cygni, que resultó estar a 10 años luz de nosotros. Su paralaje, de apenas un tercio de segundo de arco², es equivalente a distinguir un auto en Córdoba, mirando desde Ushuaia. A lo largo de todo el siglo siguiente se pudieron medir apenas un centenar de paralajes estelares. Medir distancias estelares de manera masiva, de cientos de miles de estrellas, es una tarea que tuvo que esperar el desarrollo de la tecnología moderna.

A fines del siglo XX la Agencia Espacial Europea (ESA) diseñó un telescopio satelital específicamente para medir paralajes estelares. Llamado Hipparcos en homenaje al astrónomo Hiparco de Nicea (siglo II a. C.), sus instrumentos observaron un conjunto predefinido de estrellas durante 4 años. El resultado fue el Catálogo Hipparcos, publicado en 1993, con mediciones de alta precisión de algo más de 100 mil estrellas. La precisión alcanzada fue de alrededor de 1 milisegundo de arco (mas), equivalente a un pelo visto a 20 km. Todas ellas se encuentran dentro de una esfera de unos 300 años luz del Sol. Parece mucho, pero en una galaxia de 100 mil años luz de diámetro quedaba ciertamente muchísimo para explorar. Así de exitosa como fue la misión de Hipparcos, aparecieron rápidamente varias sorpresas en sus resultados. La

más llamativa fue la distancia al más famoso de los cúmulos estelares: las Pléyades (Messier 45). Hipparcos midió una distancia de 115 pc (pársecs³), bastante menos que los 130 pc de cálculos previos, basados en su brillo y consideraciones de la física estelar.

Era un problema embarazoso por varias razones. En primer lugar, las Pléyades son un cúmulo estelar cercano, por lo cual son muy importantes para la astronomía. Los cúmulos estelares abiertos juegan un rol crucial porque todas sus estrellas tienen la misma edad, ya que se formaron a partir de la misma nube de material interestelar. Como tal, son excelentes laboratorios para poner a prueba los modelos físicos de evolución estelar. Pero es necesario saber a qué distancia están, para saber cuál es el brillo intrínseco de sus estrellas. Estos modelos permiten luego calcular indirectamente la distancia a estrellas más lejanas, fuera del alcance de las mediciones geométricas directas. Son entonces una pieza clave de la calibración de la escala de distancias cósmicas. Ésta procede, escalón por escalón, desde el Sol a las estrellas vecinas, luego a las cercanas, y así siguiendo y cambiando de métodos de medición hasta los confines del universo (ver artículo anterior). De manera que gran parte de la astronomía, desde la física de las estrellas hasta la estructura y la evolución mismas del universo, depende de la buena calibración de esta escalera de distancias.

Por otro lado, un resultado dudoso ponía en tela de juicio todo el catálogo de Hipparcos. ¿Habría algún error instrumental o sistemático que se les hubiera pasado por alto? ¿El problema estaba sólo en las Pléyades, o en otras mediciones también? ¿O estaban realmente las Pléyades más cerca, y no encajaban en los modelos físicos de formación y evolución estelar?

Gaia al rescate

Llevó muchos años zanjar la cuestión, y no está del todo claro lo que ocurrió realmente. Aparentemente se trata de un problema de calibración del instrumento, debido a la intrincada manera en que el telescopio observaba las estrellas. En lugar de apuntar a un lugar fijo del cielo (como hace cualquier otro telescopio, desde el de un aficionado hasta el Telescopio Espacial Hubble), Hipparcos giraba permanentemente sobre sí mismo, una estrategia habitual para mantener el satélite bien estable. El telescopio miraba “de costado”, y registraba las estrellas como trazas circulares. Estrellas cercanas, como las de un cúmulo, daban trazas muy apretadas, de manera que a pesar de ser estrellas independientes sus mediciones están muy correlacionadas. Esto requería una calibración diferente a distintas escalas espaciales, y resultó en una fuente de error inesperado para los importantes y apretados cúmulos estelares.

Mediciones adicionales realizadas con otros instrumentos y métodos vinieron a confirmar esta sospecha. Las Pléyades, después de todo, estaban donde todo el mundo creía y no donde Hipparcos decía. En 2005 una medición de tres estrellas de las Pléyades hecha con el Teles-

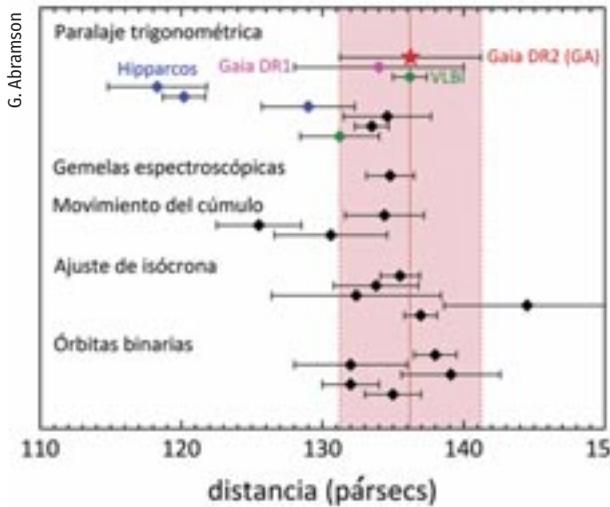


FIGURA 2

La distancia a las Pléyades, según una variedad de métodos de medición. Se destacan la anómala distancia medida por Hipparcos y sucesivas recalibraciones (azul), la precisa medición por VLBI (verde), la preliminar de Gaia DR1 (magenta) y la que presentamos en este artículo, basada en Gaia DR2 (roja). (Datos de la bibliografía de Melis et al., 2014, excepto el indicado GA).

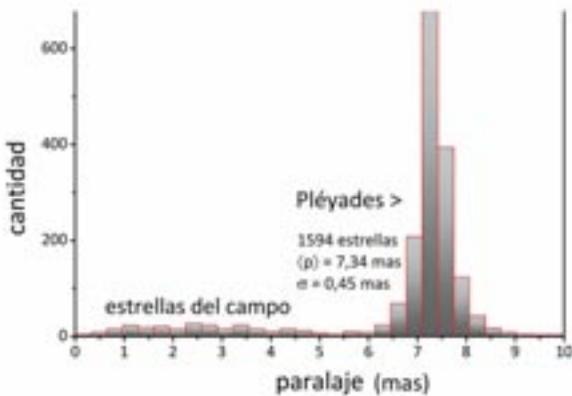


FIGURA 3

Histograma de la paralaje de las fuentes del catálogo Gaia DR2 en el campo de las Pléyades, y con similar movimiento propio.



FIGURA 4

Visualización realista de las Pléyades vistas desde una perspectiva inusual. La Tierra se encuentra hacia la derecha de la imagen. (Realizada con Celestia).

copio Espacial Hubble dio 133,5 pc. En 2014 una medición extremadamente exacta y precisa usando radiotelescopios de todo el planeta como si fueran uno solo (*Very Large Baseline Interferometry, VLBI*), produjo un resultado de 136,2 pc. En la *figura 2* se muestra una colección de mediciones, y se ve que las de Hipparcos parecen anormalmente bajas, si bien sucesivos reexámenes de los datos permitieron corregir en alguna medida los errores sistemáticos iniciales.

El sucesor de Hipparcos es el satélite Gaia, también de la ESA. Como Hipparcos, es un telescopio de diseño inusual: parece un sombrero, sus espejos son rectangulares y también miran “de costado” mientras el satélite gira. Pero es mucho más ambicioso en cantidad de mediciones y precisión. Su impresionante catálogo *Gaia Data Release 2 (DR2)* fue publicado en abril de 2018. Provee la posición en el cielo, distancia y movimiento propio de más de 1300 millones de estrellas de hasta magnitud 21, y abarca hasta el lejano centro de nuestra galaxia. La incerteza de las paralajes medidas es de unos 40 microsegundos de arco⁴ hasta magnitud 15. Gaia midió además la velocidad radial (alejándose o acercándose de nosotros) de más de 7 millones de estrellas, el brillo de más de 1600 millones con precisión de una milimagnitud, la temperatura de más de 160 millones, clasificaciones de medio millón de estrellas variables, la posición de más de 14 mil objetos del sistema solar, y mucho más. Gaia todavía está observando: habrá un tercer catálogo en 2020 y uno final en 2022 (o más tarde si el fin de la misión se extiende a la próxima década). Además, supuestamente ha superado algunos de los problemas sistemáticos de Hipparcos. ¿Qué valor daría para la distancia al famoso cúmulo? Uno de los artículos del preliminar *Gaia Data Release 1 (DR1)*, de 2016, muestra precisamente las Pléyades como ejemplo. Usa las primeras mediciones de un centenar de estrellas del cúmulo y encuentra una distancia de 134 pc, y confirma el valor erróneo de Hipparcos.

Hágalo usted mismo

Los datos de los catálogos de Gaia son públicos, de manera que podemos calcular nosotros mismos usando el mismo método que se describe en el trabajo *Gaia Collaboration et al. (2016)*, basado en *DR1 (paper DR1, de aquí en más)*. Si descargamos todas las fuentes centradas en la posición de las Pléyades obtenemos un cono con el vértice en el sistema solar y extendiéndose indefinidamente en el espacio: casi 700 mil estrellas. En algún lugar de ese cono están las Pléyades, pero también muchas estrellas “del campo”, tanto delante como más allá del cúmulo.

La extracción de las Pléyades de esta enorme población estelar es, afortunadamente, sencilla. Se basa en que un cúmulo estelar se mueve por la galaxia como un rebaño. Todas sus estrellas tienen el mismo movimiento propio en el cielo, también medido por Gaia. Según el *paper DR1* se pueden identificar las Pléyades revisando las que

tienen movimiento propio cercano a 50 milisegundos de arco por año, hacia el sudeste (más información en el apartado sobre *Detalles del cálculo*, en la *página 42*). Esto deja 1876 estrellas. La *figura 3* muestra un histograma de sus paralajes. Vemos claramente un gran pico centrado aproximadamente en 7 mas, que son 140 pc (unos 400 años luz); así que corresponde a las Pléyades. Se ve también que hay algunas estrellas adicionales: estrellas mucho más lejanas (con paralajes menores) que casualmente tienen un movimiento parecido al de las Pléyades. Si seleccionamos las que tienen paralajes entre 5 y 9,5 mas, obtenemos 1594 estrellas, diez veces más que las obtenidas en el *paper DRI*, que podemos identificar como las Pléyades.

El valor medio de sus paralajes es 7,34 mas, y la desviación estándar es 0,45 mas. A mi juicio, sería incorrecto considerar esta desviación como error de la medición; se trata más bien de una caracterización estadística de la distribución de las estrellas del cúmulo alrededor de su centro. Para tener una estimación del error podemos usar los errores de las mediciones individuales. En definitiva, y convertido a distancia, tenemos una distancia a las Pléyades de $445,8 \pm 0,1$ años luz.

No deja de ser un alivio: las Pléyades están donde deben estar y toda la física estelar está bien. Vale la pena señalar que una paralaje de 7,34 milisegundos de arco es como distinguir un pelo a 3 kilómetros de distancia.

Las Pléyades en 3D

Una determinación tan precisa de las posiciones nos permite graficar el cúmulo en 3D. Podemos verlo en la *figura 5*, donde cada estrella es una bolita de acuerdo a su magnitud. En rojo y un poco infladas para que se destaquen están las estrellas más brillantes, que son las que vemos a simple vista en el famoso cúmulo. Se puede ver que el enjambre es más bien esférico, y que las estrellas brillantes están alineadas y forman una columna que apunta hacia nosotros (hacia abajo en el gráfico), y que se encuentra en su mayor parte más cerca que el promedio de las estrellas menos brillantes. En la *figura 4* vemos una visualización realista de las Pléyades vistas “de costado”, como podemos soñar verlas desde un nave interestelar. Finalmente, en la *figura 6* (*página 42*) hemos preparado una imagen estereoscópica del cúmulo, para ver con los ojos cruzados. Las presentamos aproximadamente tal como aparecen desde la Tierra, pero como si tuviéramos una separación de 3 años luz entre ojo y ojo. ■

Notas

- 1 La historia de la medición de la paralaje estelar, plena de desventuras y personajes curiosos, puede leerse en el libro del autor *Viaje a las Estrellas: De cómo (y con qué) los hombres midieron el universo* (2010).
- 2 Un segundo de arco es 1/3600 de grado. La Luna (y el Sol) ocupan en el cielo medio grado (1800 segundos).
- 3 El pársec (pc) es una unidad de distancias astronómicas equivalente a unos 3,26 años luz.
- 4 ¡Un pelo visto a 500 kilómetros!

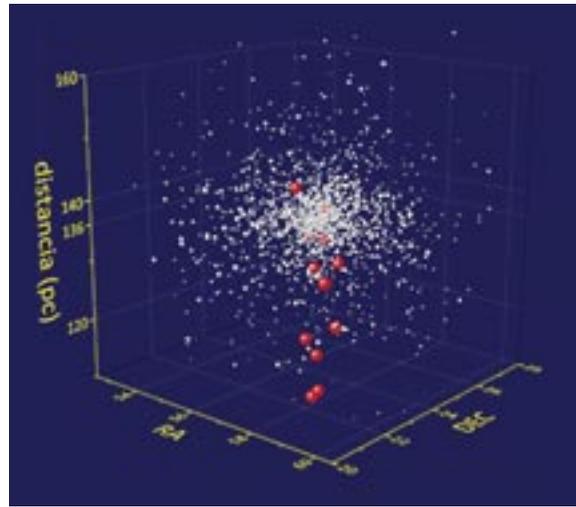


FIGURA 5

Distribución tridimensional del cúmulo estelar de las Pléyades. El tamaño de los puntos corresponde a la magnitud, y se destacan en rojo y multiplicadas por un factor 2 las 12 estrellas de magnitud menor o igual a 6.

Referencias

- D. R. Soderblom et al., *Confirmation of errors in Hipparcos parallaxes from Hubble Space Telescope fine guidance sensor astrometry of the Pleiades*, *The Astronomical Journal*, 129:1616-1624 (2005).
- C. Melis et al., *A VLBI resolution of the Pleiades distance controversy*, *Science* 345:1029-1032 (2014).
- Gaia Collaboration et al., *Gaia Data Release 1 - Summary of the astrometric, photometric, and survey properties*, *Astronomy & Astrophysics* 595(A2):1-23 (2016).
- X. Luri et al., *Gaia Data Release 2: Using Gaia parallaxes*, *Astronomy & Astrophysics* (aceptado, 2018) (doi:10.1051/0004-6361/201832964).
- C. Bailer-Jones, *Inference of cluster distance and geometry from astrometry*, ESA, 2017 (https://www.cosmos.esa.int/documents/1371789/0/cluster_inference.pdf).
- G. Abramson, *Viaje a las estrellas: De cómo (y con qué) los hombres midieron el universo* (Ciencia que ladra, Siglo XXI, 2010).
- En este trabajo se utilizaron datos de la misión Gaia (<https://cosmos.esa.int/gaia>) de la Agencia Espacial Europea (ESA), procesados por el *Gaia Data Processing and Analysis Consortium* (DPAC).



FIGURA 6

Imagen estereoscópica de las Pléyades. La separación simulada entre los ojos es de 3 años luz. Para observarla, ubique la imagen a unos 40 cm y cruce los ojos hasta fusionar las imágenes en una vista tridimensional en medio. (Realizado con Celestia).

DETALLES DEL CÁLCULO

Los datos fueron descargados del archivo Gaia (gea.esac.esa.int/archive), usando todas las fuentes en un círculo de 5° centrado en las coordenadas $RA = 56,75^\circ$, $DEC = 24,12^\circ$. Esto produjo 699860 fuentes. A éstas se aplicó el siguiente criterio de dispersión del movimiento propio:

$$\sqrt{(p_\alpha - 20,5)^2 + (p_\delta + 45,5)^2} < 6 \text{ mas/a.}$$

(donde p_α y p_δ son los movimientos propios en ascensión recta y declinación respectivamente), y se encontraron 1876 estrellas. Este criterio es probablemente muy estricto, porque hubo que agregar manualmente la estrella Merope, para la cual da $6,76 \text{ mas/a}$. Seguramente hay más miembros del cúmulo que los encontrados, pero es el criterio usado en el *paper DR1*, de manera que lo hemos usado así. Finalmente se seleccionaron las 1595 fuentes con paralaje entre 5 y $9,5$.

El error está calculado pesando las mediciones individuales con la inversa de sus varianzas. Esta elección

es la que da la máxima verosimilitud en la estimación de la media, suponiendo que cada medición es una variable aleatoria con distribución gaussiana. El error en distancia reportado arriba corresponde a la propagación del error relativo al convertir paralaje en distancia. Sabemos que esta suposición tiene limitaciones, y también que el *paper DR1* recomienda sumar $0,3 \text{ mas}$ como error sistemático. Para una estimación inicial no tuvimos en cuenta estos y otros efectos.

Un cálculo más sofisticado requeriría tener en cuenta el error sistemático, pero el artículo de *Luri et al. (2018)* dice explícitamente que “desafortunadamente, no hay una receta sencilla para estimar los errores sistemáticos”. Para el caso específico de cúmulos estelares, el trabajo de *Bailer-Jones (2017)* sugiere usar un modelo de la distribución de las estrellas en el cúmulo para inferir la distancia a su centro. Por otro lado, *Luri et al. (2018)* recomienda hacer un análisis estadístico bayesiano de los errores, incluso teniendo en cuenta la magnitud y el color. Esperaremos ansiosos el resultado que encuentren los expertos en los próximos meses.

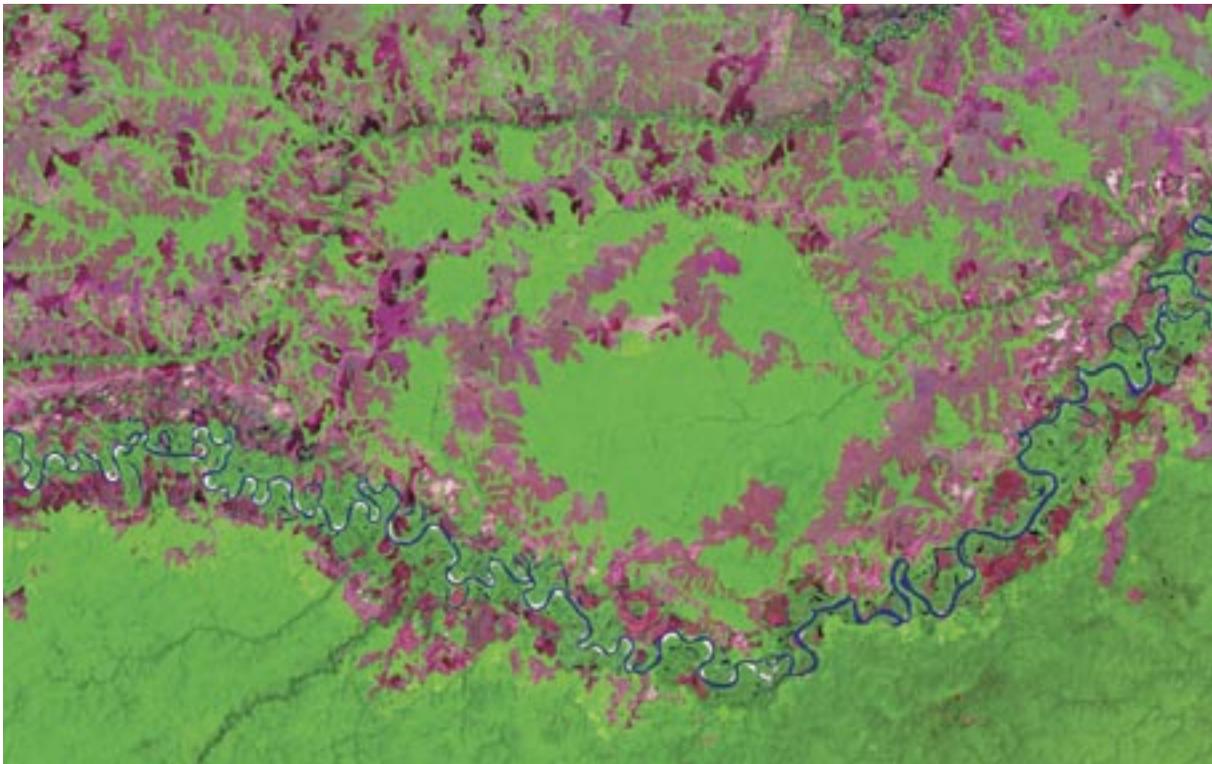
Descubrimiento y estudio de la estructura de impacto Vichada, Colombia

ASÍ EN LA TIERRA COMO EN LA LUNA

Autor: Maximiliano C. L. Rocca, *The Planetary Society*,
Pasadena, EE.UU. maxrocca2010@gmail.com

En los últimos 40 años quedó evidenciado que tanto Mercurio, Venus y Marte, como muchos de los satélites de los otros planetas, poseen cráteres de impacto, consecuencia de las colisiones con núcleos de cometas o asteroides que se cruzan en sus órbitas. Los científicos han demostrado que también nuestro planeta es víctima de impactos con esos objetos cósmicos, y ya se han catalogado unas 200 estructuras y cráteres de impacto sobre la Tierra, que tienen desde unas decenas de metros hasta cientos de kilómetros de diámetro. En este caso, presentamos el mayor cráter conocido en Sudamérica, descubierto por el autor de este artículo.

01



Satélite LANDSAT-5/NASA

01 *Región y río Vichada, que contiene la estructura de impacto del mismo nombre.*



02 La Estructura Vichada de Colombia es muy parecida al Mare Orientale de la Luna, aunque este cráter (llamado “mar”) de nuestro satélite es mucho más grande: 327 km contra 50 km de diámetro. Ambos muestran una cuenca deprimida central, rodeada por varios anillos de montañas y valles concéntricos.

Como parte de un programa científico para la detección de nuevos sitios de impacto de asteroides o cometas, financiado por becas anuales que otorga *The Planetary Society*, de Pasadena, California, EE.UU., en enero de 2004 este autor ha encontrado en Colombia, al revisar imágenes satelitales, una gigantesca estructura circular. El hallazgo se hizo a partir del examen de imágenes provenientes de los satélites LANDSAT 4, 5 y 7, pertenecientes al Centro Espacial John C. Stennis (SSC) de la NASA. El descubrimiento fue publicado y presentado en el Congreso Anual de la *Meteoritical Society*, de Río de Janeiro, Brasil, y la zona fue bautizada como **Estructura Vichada**, debido al nombre del departamento en el que se encuentra y al río contiguo.

Curiosamente, la Estructura Vichada es sumamente similar en imágenes satelitales al impacto del *Mare Orientale*, una gigantesca cicatriz en la Luna, de 327 km de diámetro. Las dos muestran el mismo tipo de configuración: una cuenca deprimida central, rodeada por varios anillos de montañas y valles concéntricos.

Una joya en la jungla tropical

La República de Colombia tiene una superficie total de 1.138.914 kilómetros cuadrados, y su geología está dominada por los picos y volcanes de la cadena Andina en el oeste, y por las grandes cuencas sedimentarias tropicales en el este. El área en la que está ubicada la Estructura Vichada es parte de la cuenca Llanos, y está cubierta por vegetación y por la jungla tropical húmeda lluviosa.

Vichada tiene realmente la típica configuración de una estructura de impacto del tipo multianillo central, y es probablemente la más bonita entre las más grandes del continente. Su corazón central consiste en un anillo circular de cerros bajos, de 30 km de diámetro, que encierra una depresión circular de 20 km de diámetro.

En esa zona central interior hay una depresión en forma de cuenca. Allí el relieve es generalmente plano y es la parte más profunda de la estructura. La cuenca central está cubierta por jungla y circundada por dos anillos concéntricos compuestos por cerros bajos, de no más de 50 metros de altura. Un arroyo pequeño corta el primero de esos anillos concéntricos en el sector este.

El anillo de cerros más externo (el segundo desde el centro) tiene un diámetro de 50 km, y en el sector sur el río Vichada fluye en su curso y hace un giro semicircular perfecto, y bordea la estructura multianillo. **Esta curva tan evidente en el curso del río Vichada es un rasgo muy interesante y anómalo, pero típico de otras estructuras de impactos cósmicos.**

La geología de este sector de Colombia no es, por ahora, conocida en gran detalle, pero se sabe que las rocas expuestas en la Estructura Vichada son de dos tipos: rocas metasedimentarias (son rocas metamórficas formadas a partir de rocas sedimentarias) y granitos de edad precámbrica, de unos mil millones de años, con una extensa cubierta de rocas sedimentarias más jóvenes.

La cubierta sedimentaria es una secuencia de conglomerados, areniscas y arcillas de épocas Eoceno/Oligoceno a Plioceno, o sea, de una edad menor a 37 millones de

años, y cubren las rocas del basamento cristalino en las cuencas de relieve negativo. Los anillos concéntricos tienen probablemente sus raíces en la roca granítica precámbrica.

Estudios geológicos comparativos muestran que esta estructura no es de origen volcánico o tectónico, ni una estructura terrestre común como, por ejemplo, una intrusión de tipo batolito¹ de rocas graníticas, o un cráter o caldera volcánica gigante. La región está evidentemente erosionada por el paso del tiempo y, en especial, por la acción del agua, la lluvia y el clima tropical. Se estima que Vichada tiene una posible edad de 30 a 37 millones de años.



VICHADA

Ubicación geográfica: río Vichada, Departamento Vichada, Colombia (Coordenadas: N 4° 30', O 69° 15').

Tipo y Forma: estructura de impacto compleja del tipo de anillo central: grandes estructuras geológicas circulares que muestran una montaña central o una cavidad central circular con forma de plato sobero, y una alternancia de anillos elevados concéntricos y valles hundidos delimitados por fallas geológicas, todo alrededor de ese centro.

Diámetro: al menos 50 kilómetros.

Edad: entre 30 y 37 millones de años.

Imagen de la región del cráter de Vichada tomada del Google Earth.

Estudios geofísicos

Desde 2009 el equipo de geólogos y geofísicos liderado por Orlando Hernández Pardo, de la Universidad Nacional (UNAL) de Bogotá, Colombia, realiza estudios valiosos de la Estructura Vichada. Mediante el uso de información tomada de bases de datos aéreos y satelitales, se estudiaron tanto las anomalías gravimétricas como las magnéticas asociadas a la estructura.

Los mapas de anomalías del campo gravitacional terrestre miden las pequeñísimas variaciones en la superficie del planeta. Ellos representan para los geólogos lo que serían las placas radiográficas para los médicos. Nos enseñan la densidad de las rocas por debajo de la superficie, y muestran qué estructuras hay ocultas bajo tierra. Orlando y su equipo confirmaron que en el lugar de la Estructura Vichada hay una gigantesca anomalía gravimétrica negativa con centro positivo. En los mapas se ve claramente una forma circular de 50 kilómetros de diámetro, con valores gravimétricos negativos que alcanzan un mínimo de -8 a -15 miliGals (el miliGal es



la unidad usada en estudios gravimétricos), con un centro de valores positivos. Es el tipo de anomalía conocida técnicamente, por su semejanza, como “anomalía del sombrero mexicano”. **La configuración en forma de sombrero mexicano es típica de los mapas gravimétricos de los cráteres de impacto de tipo complejo y de anillo central, como los de la Luna y Marte, y representa una clara confirmación del origen cósmico de la Estructura Vichada.**

“Estudios geológicos comparativos muestran que esta estructura no es de origen volcánico ni tectónico”.

03 El tipo de anomalía gravimétrica de Vichada es conocido como “anomalía del sombrero mexicano”, típica de los cráteres de impacto complejos con anillo central, y representa una clara confirmación del origen cósmico de la estructura. En la foto, Maradona y Passarella posan para la revista *El Gráfico* con sus sombreros antes del Mundial de México 1986.

También se confirmó la existencia en el sitio de una anomalía magnética positiva, y esto nos dice que en ese sector el campo magnético es más intenso que en cualquier otro lugar de la zona. Por eso, los valores positivos de la anomalía magnética alcanzan un valor máximo de 100 a 300 nanoTeslas, la unidad utilizada en geología para medir el campo magnético terrestre. Una vez más, esto es característico de los cráteres de impacto de anillo central de gran tamaño. El calor liberado durante el impacto funde y luego magnetiza intensamente las rocas del lugar.

Más estudios vienen marchando

Durante años resultó imposible visitar la zona exacta de la Estructura Vichada, ya que se encuentra en un territorio que era controlado por las Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia (FARC). Felizmente, el conflicto con las FARC ha terminado y, desde hace algún tiempo, los geólogos colombianos tienen acceso al sector de la estructura. Es así que a partir de 2013 el Servicio Geológico y Minero de Colombia (INGEOMINAS) ha realizado una serie de viajes de estudio a la zona. Se han recolectado muestras de rocas de los afloramientos locales y se han confeccionado nuevos mapas geológicos detallados del área.

Por ahora, los resultados completos de esta campaña no han sido publicados. Sin embargo, en comunicación privada los geólogos amigos aseguran tener evidencias concluyentes del origen de la Estructura Vichada, y no dudan de que se trata del impacto de un cometa o de un asteroide. Ahora podemos estimar con mayor precisión que el objeto que formó esta estructura de impacto tenía unos 2,5 kilómetros de diámetro, y que la explosión liberó varias decenas de miles de Megatonnes de TNT de energía. Investigaciones aún más detalladas de este sitio siguen hoy mismo en marcha en Colombia. ■

Nota:

1 Masa de rocas magmáticas de grandes dimensiones consolidada en la corteza terrestre a gran profundidad.

Adaptando conceptos astronómicos

UN PLANETARIO ACCESIBLE

Autora: Graciela Cacace, Planetario de la Ciudad de Buenos Aires Galileo Galilei.



En septiembre de 2018 el Planetario de Buenos Aires estrenó el show De la Tierra al universo, un espectáculo inclusivo, narrado en castellano, subtulado e interpretado en Lengua de Señas Argentina por Personas Sordas; una muestra de los logros alcanzados en la primera etapa de un proyecto conjunto que desarrollamos entre el Planetario, Personas Sordas e intérpretes de la Confederación Argentina de Sordos.

En el show *De la Tierra al universo* se presentan las **adaptaciones lingüísticas de conceptos astronómicos en Lengua de Señas Argentina (LSA) definidos hasta el momento**, como resultado de una tarea interdisciplinaria entre distintas instituciones. Los espectáculos en LSA se vienen desarrollando en el Planetario desde hace tiempo, pero la interpretación se extendía mucho porque cada concepto astronómico, como galaxia, sistema solar, Júpiter o Saturno, debía deletrearse.

Comenzamos a trabajar con la Confederación Argentina de Sordos (CAS), la máxima autoridad a nivel nacional de la Comunidad Sorda Argentina. La Comisión para la Plena Participación e Inclusión de las Personas con Discapacidad (COPIDIS, GCBA) otorgó el subsidio que permitió hacer posible el proyecto.

Formamos un equipo con Personas Sordas, intérpretes en LSA y personal del Planetario. Después de un largo período de capacitación astronómica y de un proceso de reflexión y discusión, de ensayos y filmaciones, se logró la adaptación lingüística de ciertos

conceptos astronómicos para ser transmitidos en LSA. *De la Tierra al universo* muestra lo alcanzado en esta primera etapa, un material de divulgación científica para la Comunidad Sorda. Este trabajo conjunto recién comienza.

La inclusión como objetivo

Desde el Planetario estamos desarrollando actividades inclusivas ininterrumpidamente desde el año 2001, y estamos convencidos de que el conocimiento es un bien social del que TODOS tenemos derecho a gozar. El Planetario recibe anualmente más de 400.000 visitantes. Entre ellos existen personas con distintos tipos de discapacidades. La presencia creciente de visitantes con discapacidad evidencia el salto cualitativo que se ha dado en las últimas décadas, en el marco de un proceso de integración social y cultural. El concepto de discapacidad fue evolucionando con el tiempo. En estos días se la define teniendo en cuenta la interacción entre las personas y las barreras que impiden su plena participación. La definición de la OMS dice: “Discapacidad es un término general que

abarca las deficiencias, las limitaciones de la actividad y las restricciones de la participación. Las deficiencias son problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por consiguiente, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive.”

Las discapacidades son muy diversas. Se calcula que más de 1000 millones de personas, es decir, un 15% de la población mundial, presentan alguna discapacidad (OMS, 2017). El número de personas con discapacidad está en constante crecimiento debido a los cambios socio-demográficos, la mayor esperanza de vida y el envejecimiento de la población. En Argentina, los datos oficiales respecto a la discapacidad co-

rresponden al último Censo Nacional realizado en 2010. En el país viven más de 5 millones de personas con dificultad o limitación permanente, lo cual es equivalente al 12,9% del total de la población.

Entre las personas con discapacidad permanente, el 59,5% presenta problemas visuales; el 20% sufre dificultades motoras inferiores; el 8,4%, cognitivas; el 8,3%, auditivas, y el 3,8%, motoras superiores. De todos ellos, el 68% sufre una discapacidad permanente y el 32%, dos o más discapacidades.

Si aceptamos que todas las personas somos diferentes, es fundamental promover el respeto por la diferencia y la aceptación de las personas con discapacidad como parte de la diversidad humana. El no respeto por las diferencias conduce a la desigualdad, la falta de equidad y la injusticia social.

La Convención Internacional sobre los Derechos de Personas con Discapacidad (Art. 9 y 30, ONU, 13



MIRANDO AÚN MÁS ALLÁ *Por Walter Germaná*

Nuestra área de accesibilidad suma, por estos días, otras innovaciones a sus ya clásicas **funciones para Personas Ciegas y con baja visión** en su sala de espectáculos, sus talleres y sus visitas a instituciones especializadas en discapacidad visual en formato itinerante. Un nuevo proyecto está en pleno desarrollo: **El universo más cerca**. Se trata de la incorporación de 4 planos hápticos (táctiles) destinados a expandir el conocimiento del cosmos por fuera de la experiencia del cielo estrellado de Buenos Aires (presente en nuestras semiesferas táctiles). Los planos hápticos presentarán nuestro sistema solar, las estrellas cercanas al Sol, la Vía Láctea y los grupos galácticos cercanos. Además, vamos más allá con un ciclo especial, **Abriendo caminos al cosmos**, que lleva contenidos astronómicos adaptados a la Fundación Argentina de Afasia Charlotte Schwarz; tres charlas didácticas para recorrer el universo, ejercitar y acomodar las ideas.



de diciembre de 2006), sirvió de marco jurídico para que en 2008 se sancionara la *Ley Nacional N° 26.378 (2008) - Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad* en nuestro país. Sus artículos mencionan específicamente la responsabilidad de los Estados de adoptar las medidas pertinentes para desarrollar, promulgar y supervisar la aplicación de normas mínimas y directrices sobre la accesibilidad de las instalaciones y los servicios abiertos al público o de uso público, y asegurar el derecho de acceso a servicios culturales y deportivos.

Reconocimiento

En abril de 2018, el Planetario recibió el certificado de distinción por la implementación del *Programa de Directrices de Accesibilidad* otorgado por el Ente de Turismo del GCBA y de la Nación. Las Directrices, en la actualidad, constituyen nuestro marco de referencia para mejorar la calidad de la atención del público con discapacidad y contemplar su plena integración.

El trabajo en equipo es indispensable. Tenemos un contacto fluido con la Comunidad Sorda, la Comunidad Ciega y el asesoramiento permanente de instituciones especializadas como COPIDIS, CAS, la Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos (MAH), CILSA (ONG para la inclusión), la Asociación de Sordomudos de Ayuda Mutua (ASAM), el Ente de Turismo del GCBA y de la Nación, Turismo Accesible, la Biblioteca Argentina para Ciegos (BAC) y la Asociación de Ayuda al Ciego (ASAC).

Divulgar para todos

El programa *Planetario para públicos no habituales* (2001) incluía no sólo actividades dirigidas a las distintas discapacidades sino también a personas con diferentes problemáticas sociales. El Planetario para Ciegos, denominado *El Cielo para Todos* fue la primera de esas actividades. Inmediatamente después siguieron las primeras funciones para personas Sordas. Incorporamos el *Aro Magnético* en el domo, donado por la Mutualidad Argentina de Hipoacúsicos, lo que permitió incluir más visitantes. En la actuali-

dad, el *Planetario para Personas Sordas e Hipoacúsicas* incluye un espectáculo visual para los más chicos, con relato en vivo y con intérprete en Lengua de Señas Argentina. Para adolescentes y adultos ofrecemos un espectáculo inclusivo narrado en castellano, subtítulo e interpretado en LSA, abierto para todo público.

Nuestra visión

El *Planetario Accesible* es el Planetario pensado para todos. Contempla la accesibilidad edilicia, la comunicación accesible y la generación de actividades de divulgación inclusivas que optimizan las oportunidades de disfrute y aprendizaje. Trabajamos día a día para que la inclusión sea el eje transversal a todas nuestras actividades.

“Entre las personas con discapacidad permanente, el 59,5% presenta problemas visuales; el 20% sufre dificultades motoras inferiores; el 8,4%, cognitivas; el 8,3%, auditivas, y el 3,8%, motoras superiores.”

El Planetario es un edificio patrimonial de la década del '70*, que no fue pensado bajo el Diseño Universal o "Diseño para Todos", definido en 1996 por el *Trace Center* de la Universidad de Wisconsin (EE.UU.). El Diseño Universal respeta la diversidad humana y fomenta la inclusión de todas las personas en todas las actividades de la vida. Con la restauración de 2017 se incorporaron mejoras edilicias –adaptaciones– para hacer del Planetario un edificio lo más accesible posible, es decir un "Edificio Practicable", según definen las Directrices de Accesibilidad.

Trabajamos para la comunicación accesible y ofrecemos distintos canales de comunicación para que todos accedan a la información: comunicación oral, escrita, pictogramas, Braille, comunicación aumentativa, comunicación alternativa en LSA y, por supuesto, comunicación basada en la tecnología: Wi-Fi para teléfonos celulares, tablets y computadoras, hoy de gran utilidad para las personas con discapacidad.

Nuevos desafíos

Con el fin de lograr que los shows sean cada vez más inclusivos y autónomos, estamos trabajando y superando barreras técnicas para incorporar en los espectáculos *audio-descripciones* para las Personas Ciegas, y para que niños y adultos con dificultades cognitivas y trastornos del lenguaje puedan acceder al mundo de las ciencias. Estamos diseñando material concreto y pictogramas de objetos astronómicos y adaptamos shows infantiles para niños con autismo. Trabajamos permanentemente en una divulgación sustentable en el tiempo para acercar el cielo, la astronomía y la ciencia a las personas con discapacidad, para que puedan disfrutar con autonomía de cualquier experiencia, y para consolidar el Planetario como destino de turismo accesible. ■

** Aunque el Planetario fue construido durante la década del '60, tenía una representación futurista.*

Planetario accesible

Graciela Cacace, Walter Germaná
y Analía Pereyra.
planetarioaccesible@gmail.com

UN UNIVERSO PARA TODOS/AS

Por Soledad Acuña*

Hay un lugar en la Ciudad de Buenos Aires, referente en la divulgación del conocimiento científico e ícono porteño, que recibe todos los años más de 400 mil visitantes y estudiantes de escuelas de todo el país. Un lugar que llama la atención por su forma, sus luces y su cúpula: el Planetario Galileo Galilei. Pero lo más asombroso es la experiencia que ofrece en su interior, que nos invita a acercarnos a la astronomía de forma atractiva. Además, el Planetario brinda contenidos que los/as docentes abordan en las aulas, para sumar aprendizajes sólidos y significativos vinculados a las ciencias.

En 2017 emprendimos el desafío de renovar sus instalaciones y mejorar la tecnología, la iluminación y el sonido. En esta línea surge la propuesta "Planetario Accesible" que tiene el objetivo de trabajar por la accesibilidad edilicia y de comunicación junto con la generación de actividades inclusivas, para que todos/as puedan experimentar el cielo con autonomía.

Este camino comenzó hace mucho tiempo con el Planetario para personas ciegas y de baja visión, y lleva recorrer el cielo de Buenos Aires en forma táctil y auditiva para identificar estrellas y constelaciones, mientras acceden a distintas nociones astronómicas. A ello se agregaron las funciones para Personas Sordas más un aro magnético en el domo, es decir, un amplificador que permite una transmisión directa del sonido sin verse afectado por la distancia o el ruido de fondo. Finalmente, en septiembre de 2018 se estrenó "De la Tierra al universo" en Lengua de Señas Argentina (LSA).

Queremos que todos los contenidos puedan ser comprendidos por cada persona que nos visite, y que puedan vivir una experiencia de descubrimiento y disfrute. Por eso, seguimos trabajando para divulgar y fomentar el interés por la ciencia, integrar mediante la tecnología y acercar contenidos astronómicos a todos y todas por igual.

* Ministra de Educación e Innovación del GCBA.

Espectáculo de divulgación astronómica para público en general

El deseo de comprender el universo bien puede ser la más antigua experiencia intelectual que tiene en común la humanidad. Los invitamos a compartir un impresionante viaje a través del tiempo y el espacio que nos permitirá descubrir el universo que la ciencia nos ha revelado.

DE LA TIERRA AL UNIVERSO



Buenos Aires Ciudad



Vamos Buenos Aires

