

MIRADOR

DESDE CHILE,
ESCUDRINAMOS EL CIELO
Y LA TIERRA A TRAVÉS DEL
PENSAMIENTO CIENTÍFICO.

CIELO

PRESENTAMOS INVESTIGACIONES,
DESCUBRIMIENTOS Y GRANDES
COLABORACIONES QUE HAN SIDO
RELEVANTES EN LA CIENCIA.



MIRADOR

@mim, Museo Interactivo Mirador, 2015
Dirección de Educación y Área Comunicaciones
ISBN 000000000

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y EDICIÓN DE TEXTOS

Museo Interactivo Mirador

COLABORACIÓN CIENTÍFICA

Dr. Andrés Gomberoff
Dr. Luis Chavarría
Dr. Reynaldo Charrier, como miembro de la Sociedad
Geológica de Chile

COLABORACIONES INSTITUCIONALES

Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile
Departamento de Geología de la Universidad de Chile
Departamentos de Geofísica de la Universidad de Chile
Observatorio Astronómico Nacional
Sociedad Geológica de Chile
Universidad Andrés Bello

AGRADECIMIENTOS

María Teresa Ruiz, José Maza, Mario Hamuy, David
Rubilar, Manuel Suárez, Jaime Campos y a todos
quienes participaron en el desarrollo de este libro.

 DIRECCIÓN SOCIOCULTURAL
Presidencia de la República



 DISEÑO/PRODUCCIÓN
Confin Ediciones
www.confin.cl

IMPRESIÓN

Talleres de Aimpresores, en papel couché de 130 grs. con
tipografías ANDES y Sánchez diseñadas por Daniel
Hernández Sánchez (2012); y **Texta Narrow**, diseñada por Daniel
Hernández Sánchez y Miguel Hernández Montoya (2015).

Estoy muy feliz y orgullosa que el MIM, como parte de la Red de Fundaciones de la Presidencia, publique este libro especial, para que **estudiantes, profesores y familias de nuestro país disfruten**, aprendan y se asombren con la ciencia y con los científicos y científicas de Chile que encontraremos al recorrer este MIRADOR

Paula Forttes V.
**Directora Sociocultural
de la Presidencia**

El MIM nuevamente sorprende. Esta vez decidió transformarse en libro, para llegar a muchos lugares y **contarte cómo ha sido estudiar el Cielo y la Tierra desde nuestro país** y cómo nuestros científicos y científicas han generado nuevo conocimiento desde aquí al mundo.

Orieta Rojas B.
**Directora Ejecutiva
MIM**

MIRA DOR

 DIRECCIÓN SOCIOCULTURAL
Presidencia de la República





EL CIELO

1. CIELO



Prolongar el asombro
ante la ciencia 6

EL CIELO 8

Alcanzar el cielo desde Chile 12

Ondas por todas partes 40

Telescopios y radiotelescopios:
Ojos al cielo 42

GLOSARIO 48
¿Qué buscar en el cielo?

Encuentro con las enanas café 52

Los moáis y las estrellas 60

Observatorios de Chile 62

Chinitas al espacio 94

Somos polvo de estrellas 98

Lo esencial de los eclipses 100

Colaboración científica 108

¿Tendrá un origen el Universo? 116

ANEXOS CIELO 132

Índice fotográfico 134

Bibliografía 138

ÍNDICE TEMÁTICO 140

INVERTIR
EL LIBRO
PARA EL
CAPÍTULO
TIERRA

144



LA TIERRA²

INVERTIR EL LIBRO

La prolongación del asombro 277

LA TIERRA 275

Tierra viva 271

Construcción colectiva 251

La intensidad de Chile 239

Dentro del volcán 231

Línea de tiempo erupciones 227

GLOSARIO: notas para observar la Tierra 225

Un territorio que se llamará Chile 221

La Tierra y sus acertijos 207

Tiembra en la colonia 203

Laboratorio de terremotos 197

Línea de tiempo terremotos 189

Darwin y su terremoto en Chile 187

Conocer y prevenir 185

Mitos, leyendas y otras explicaciones 173

Caicai y Tentén, el agua y la tierra 171

Un primate chileno 169

Diego y su dinosaurio 167

Hablan las piedras, los dientes y los huesos 157

ANEXOS TIERRA 151

Índice fotográfico 149

Bibliografía 147



8

14

Estos números indican una página del libro donde hay temas relacionados con el texto en el que están ubicados.

PROLONGAR EL ASOMBRO ANTE LA CIENCIA

Para muchas personas recorrer el **Museo Interactivo Mirador** constituye el primer encuentro con el asombro ante la ciencia. Es el descubrimiento de un universo animado por la curiosidad, la experimentación y la verificación, de un camino guiado por las preguntas y la creatividad, de un espacio donde aprender es explorar sin temor a equivocarse. Este libro quiere prolongar el espíritu científico de esa visita más allá de nuestras salas, y se suma a nuestras exposiciones itinerantes y los encuentros y actividades en establecimientos educacionales, ferias científicas, seminarios, congresos y campamentos.

Desde que se inauguró el **Museo Interactivo Mirador** hace 16 años, más de 6 millones de visitantes, en especial niños y niñas, han aceptado nuestra invitación a descubrir y apreciar la mirada y el método con los que la ciencia observa y vive el mundo. Con muchas de esas personas creamos una relación cariñosa y fructífera; más de alguno que entró al Museo cuando era niño, regresó años más tarde, como mamá o papá, acompañando a sus hijos



Todo lo que tú amas
en tierra y en cielo,
está entre tus labios
pálidos de anhelo.

Extracto de
ELOGIO DE LA CANCIÓN
Gabriela Mistral

Este libro está dirigido a todos los que nos han visitado –grandes, medianos y chicos– y también a quienes todavía no nos conocen; son páginas para recorrer, descubrir, leer y conversar en familia.

Es un viaje por el Cielo y la Tierra guiado por las investigaciones y descubrimientos de hombres y mujeres que, desde Chile, buscan comprender y conocer nuestro lugar en el mundo, entre las abismales dimensiones temporales y espaciales del Universo y de las constantes y colosales fuerzas que forjan la Tierra. En la travesía de miles de millones de años que nos trajo hasta hoy, **las fuerzas telúricas crearon las condiciones para que este territorio llamado Chile sea considerado mundialmente como un lugar privilegiado para la contemplación del Cosmos y de la Tierra.**

Es una invitación a incorporar la perspectiva del conocimiento científico para aprovechar y disfrutar de esas condiciones privilegiadas, elaborar algunas explicaciones que apacigüen las incertidumbres que nos agitan y participar, desde Chile, de la exploración de las grandes preguntas que animan a la humanidad.

Seamos ese pedazo de cielo,
ese trozo en que pasa
la aventura misteriosa,
la aventura del planeta
que estalla en pétalos de sueño.

**Extracto de
ALTAZOR O EL VIAJE EN PARACAÍDAS
(CANTO II),
Vicente Huidobro**

¡Gira el libro 90°.
FLIPEA las páginas
y descubre la historia
animada de todo!

EL CIELO

La profundidad del cielo es capaz de inspirar por igual a científicos y magos, a artistas y sacerdotisas, al espíritu y a la mente. En los inicios de nuestra civilización, cuando nuestros antepasados realizaron las primeras observaciones del Sol, de la Luna y de las estrellas, iniciaron el camino hacia la ciencia.

El estudio de los astros y sus ciclos era fundamental para conocer las estaciones y potenciar el desarrollo de la agricultura. Las referencias estelares también fueron vitales para orientarse en los viajes terrestres y marítimos, potenciando el comercio y el intercambio, y la expansión del conocimiento.

Se muere el Universo de una calma agonía
sin la fiesta del Sol o el crepúsculo verde.
Agoniza Saturno como una pena mía,
la Tierra es una fruta negra
que el cielo muere.

Extracto de
TENGO MIEDO
Pablo Neruda

De endurecer la tierra se encargaron las piedras:
pronto tuvieron alas: las piedras que votaron:
las que sobrevivieron subieron el relámpago,
dieron un grito en la noche, un signo de agua,
una espada violeta, un meteoro.

El cielo succulento no solo tuvo nubes,
no solo espacio con olor a oxígeno,
sino una piedra terrestre aquí y allá, brillando,
convertida en paloma, convertida en campana,
en magnitud, en viento penetrante:
en fosfórica flecha, en sal del cielo.

Extracto de
LAS PIEDRAS DEL CIELO
Pablo Neruda



ALCANZAR EL CIELO DESDE CHILE

LA HUMANIDAD
MIRA AL CIELO

BUSCAR EN EL
CIELO DESDE CHILE

1

2

P. 14

P. 28

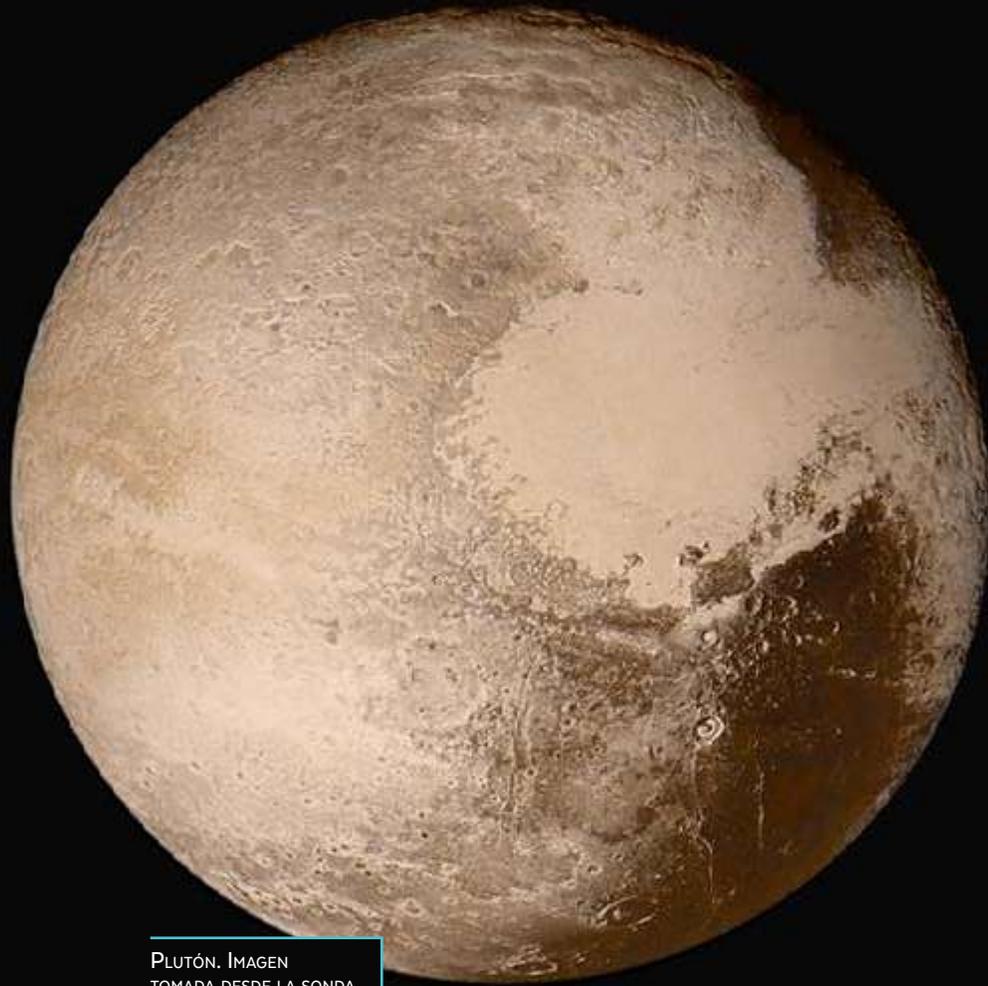
1 LA HUMANIDAD MIRA AL CIELO

En nuestra época es usual recibir maravillosas imágenes de nuevas galaxias captadas por el telescopio espacial Hubble, o de Plutón, enviadas por la sonda New Horizons, o de los atardeceres de Marte transmitidas por el robot Curiosity desde el planeta rojo, o de la superficie del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko recibidas desde la sonda Philae de la misión Rosetta.

Pero la tecnología necesaria para escudriñar el Universo con ese nivel de detalle es muy reciente. El primer satélite artificial que orbitó alrededor de la Tierra fue lanzado por la Unión Soviética en 1957. La primera observación del cielo con un telescopio fue realizada por Galileo Galilei recién en 1609, y con ese rudimentario instrumento descubrió las cuatro lunas más brillantes de Júpiter.

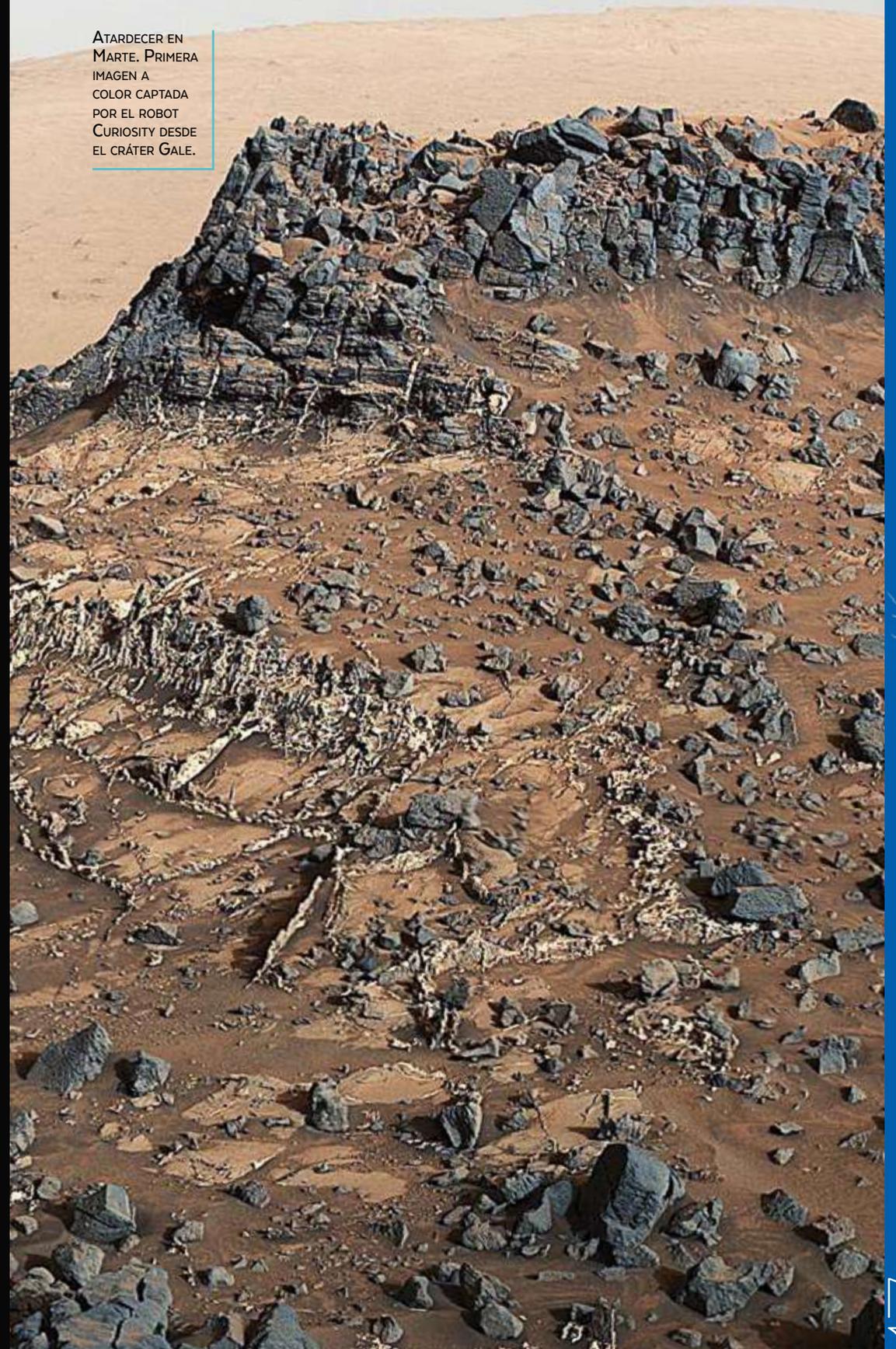
EL CENTRO DEL COMPLEJO
NEBULAR ASOCIADO N44
EN LA GRAN NUBE
DE MAGALLANES.

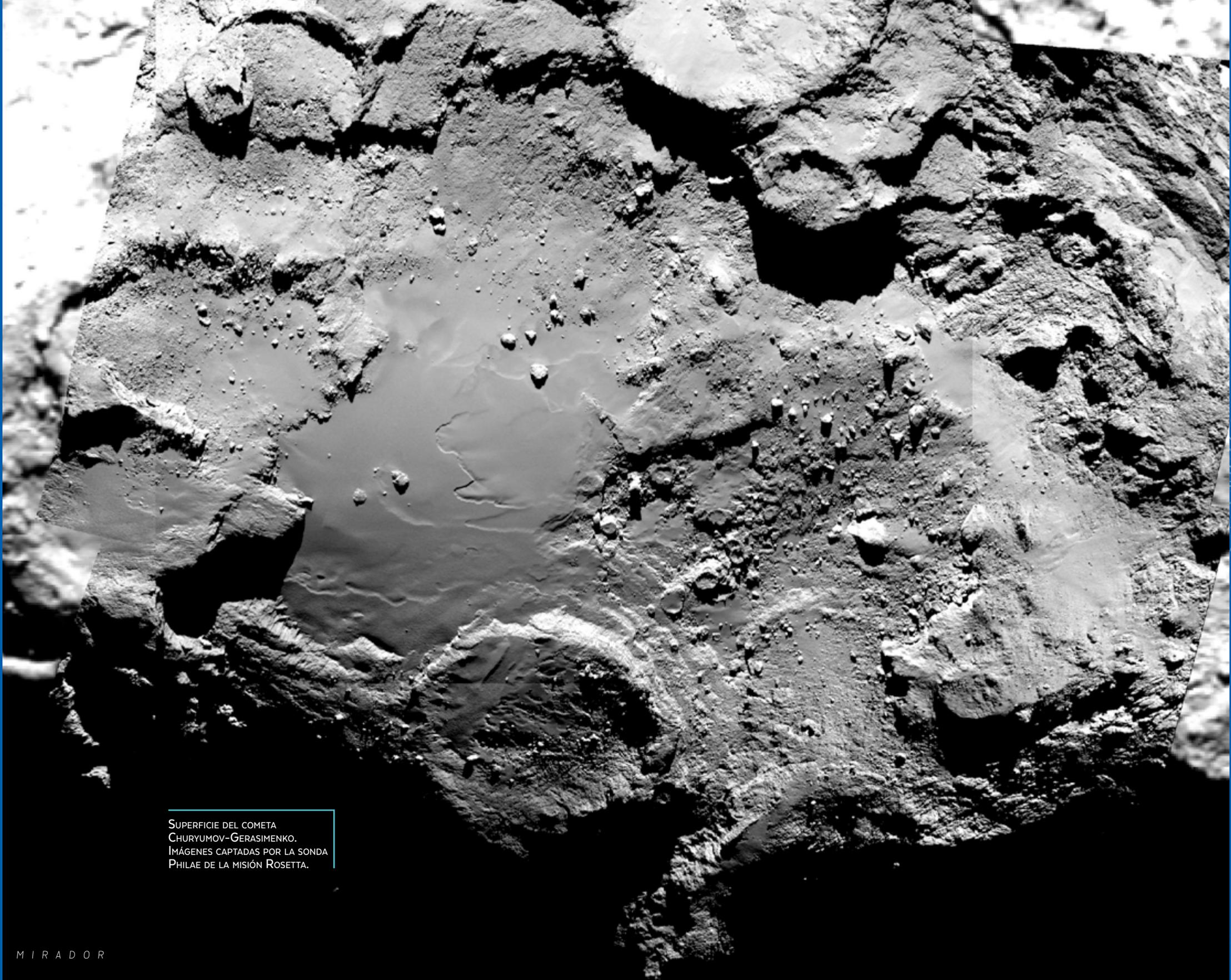




PLUTÓN. IMAGEN TOMADA DESDE LA SONDA ESPACIAL NEW HORIZONS CUANDO PASÓ A 450 MIL KILÓMETROS DE DISTANCIA DEL PLANETA.

ATARDECER EN MARTE. PRIMERA IMAGEN A COLOR CAPTADA POR EL ROBOT CURIOSITY DESDE EL CRÁTER GALE.



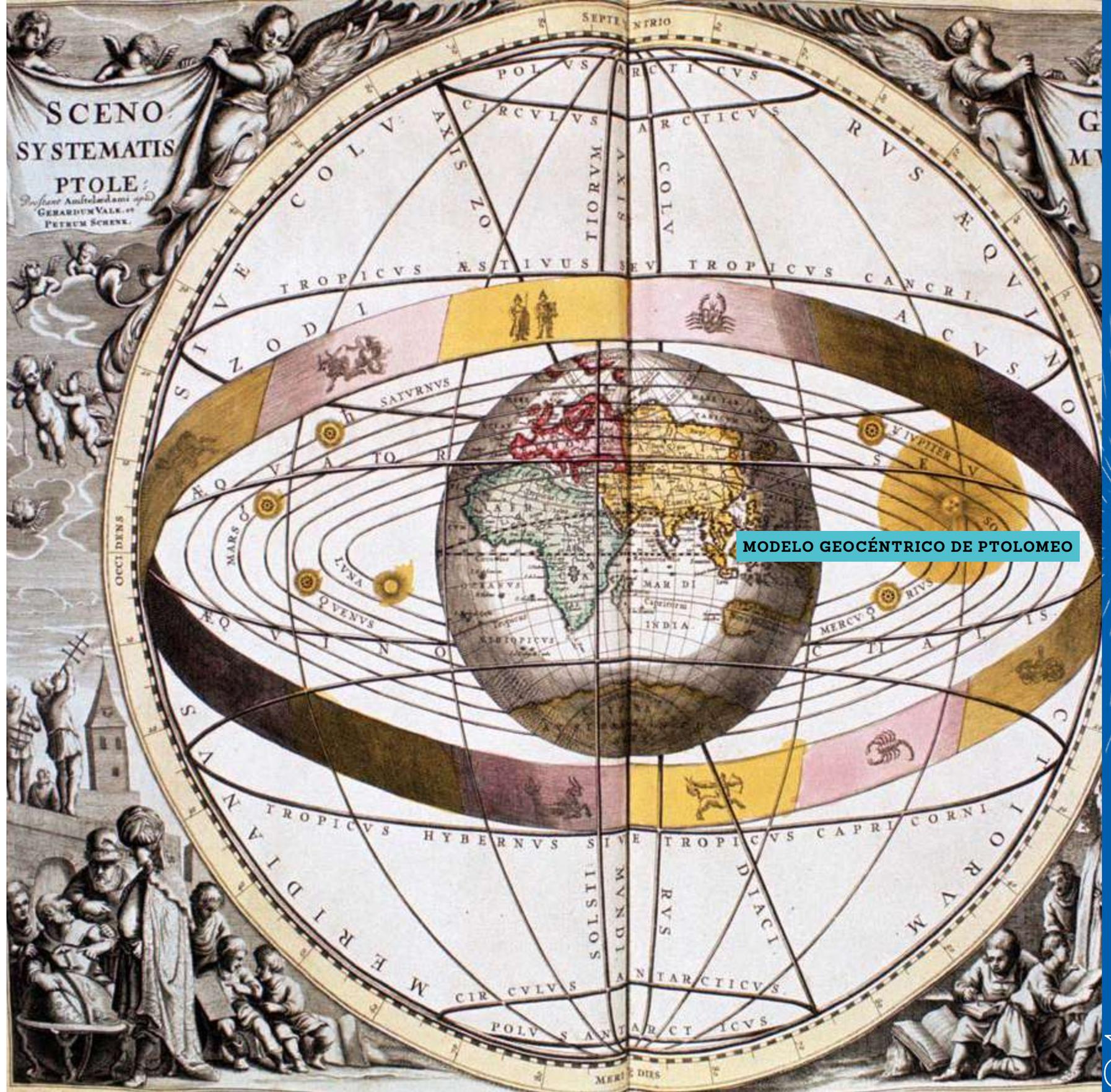


SUPERFICIE DEL COMETA
CHURYUMOV-GERASIMENKO.
IMÁGENES CAPTADAS POR LA SONDA
PHILAE DE LA MISIÓN ROSETTA.

Antes del año 1600, el conocimiento surgía de las observaciones a simple vista. Quizás eso contribuyó a que durante los 1.500 años previos, la humanidad creyera que las estrellas y el Sol giraban en torno a la Tierra. Así, se sostenía la teoría geocéntrica del astrónomo griego Claudio Ptolomeo.

Solo a comienzos del siglo XVI, Nicolás Copérnico cuestionó las creencias legadas por Ptolomeo y propuso el modelo heliocéntrico, donde el Sol permanece fijo al centro del Universo y la Tierra realiza un movimiento anual alrededor del Sol y rotación diaria sobre su propio eje.

A diferencia del modelo geocéntrico, en el modelo copernicano las estrellas están fijas en el firmamento y la Tierra y los planetas orbitan alrededor del Sol, que a su vez es el centro del Universo.

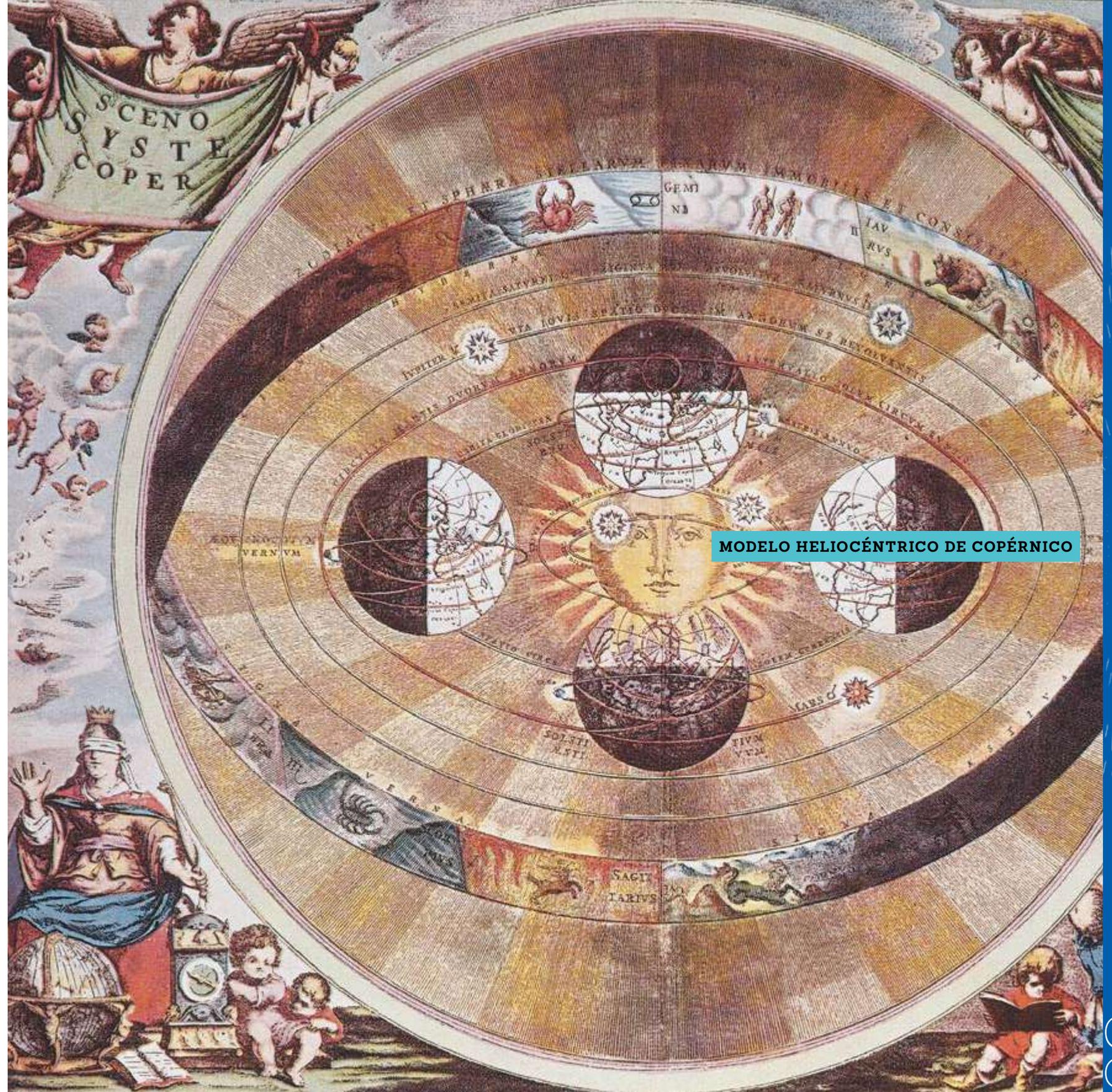


MODELO GEOCÉNTRICO DE PTOLOMEO

La teoría de Copérnico, astrónomo polaco, revolucionó la astronomía y remeció las bases de las creencias católicas de su época, que afirmaban que el hombre y la Tierra eran el centro del Universo.

Sus ideas chocaron con el sentido común del pensamiento occidental vigente, por lo que el reconocimiento y la aceptación tardaron muchos años. Durante décadas se siguió utilizando el modelo geocéntrico porque entre otras cosas, resultaba eficiente en la predicción de las efemérides cósmicas.

EN LAS CIENCIAS, LAS VERDADES SON VERDADES HASTA QUE ALGUIEN DEMUESTRA LO CONTRARIO. LA PERMANENTE DISPOSICIÓN A CUESTIONAR LAS TEORÍAS Y MODELOS VIGENTES, Y A ELABORAR, COMPROBAR Y VERIFICAR OTROS NUEVOS ES UNA DE LAS VIRTUDES DEL PROGRESO DINÁMICO Y ACELERADO DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO.



MODELO HELIOCÉNTRICO DE COPÉRNICO

1

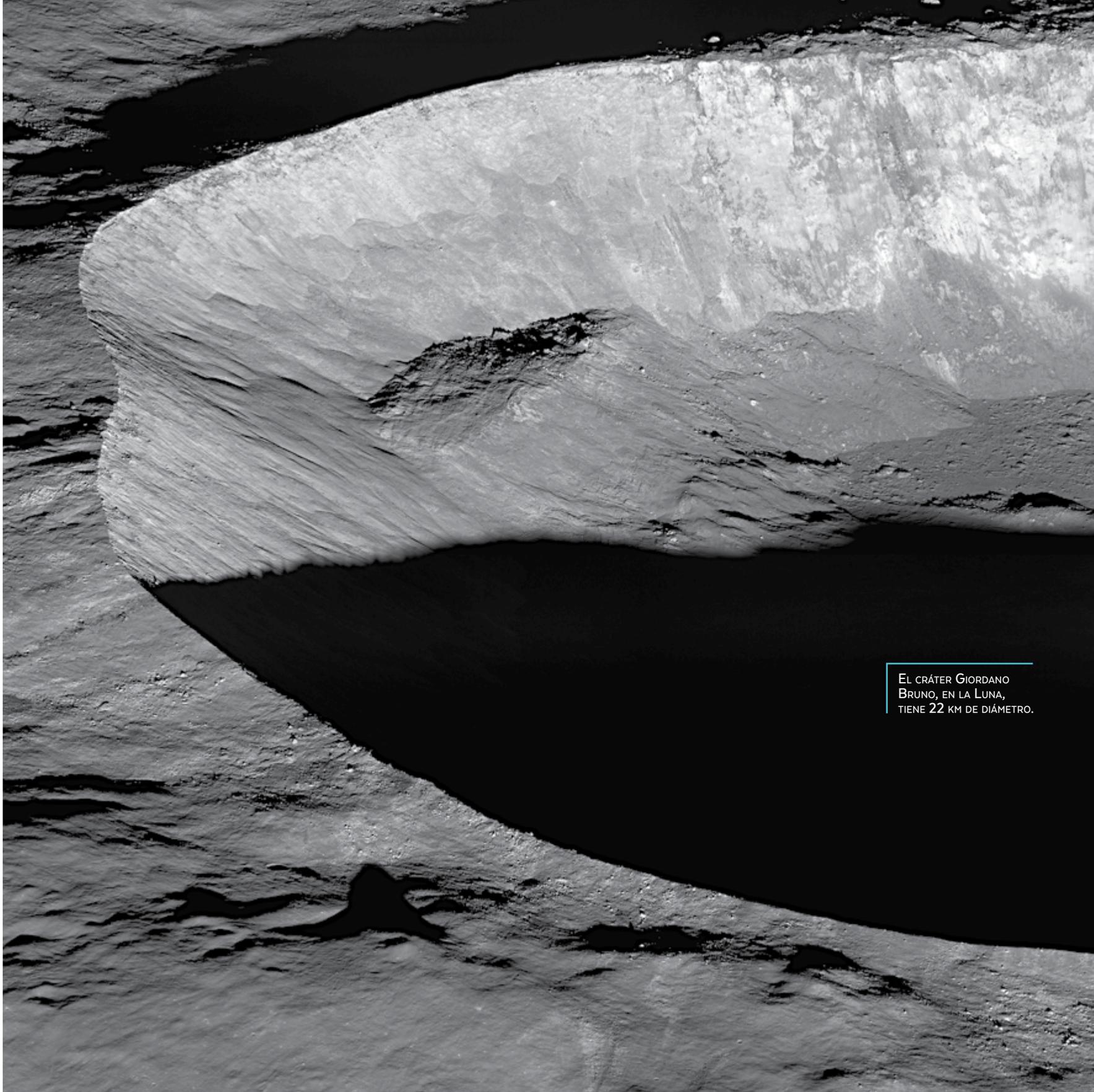
La ciencia es un campo vital y activo de debate y discusiones entre pares; a menudo de confrontación con las creencias e intereses de sistemas poderosos como los políticos, económicos o religiosos.

2



El astrónomo y filósofo italiano, Giordano Bruno, fue condenado a la hoguera por la Santa Inquisición Católica, a pesar de ser miembro de la Orden dominica. Era el año 1600. Bruno, que profundizaba el modelo de Copérnico, decía que no solo la Tierra giraba en torno al Sol sino que todas las estrellas eran otros soles con sus respectivos planetas y que por lo tanto no existía un centro del Universo homogéneo, infinito e inmóvil.

122

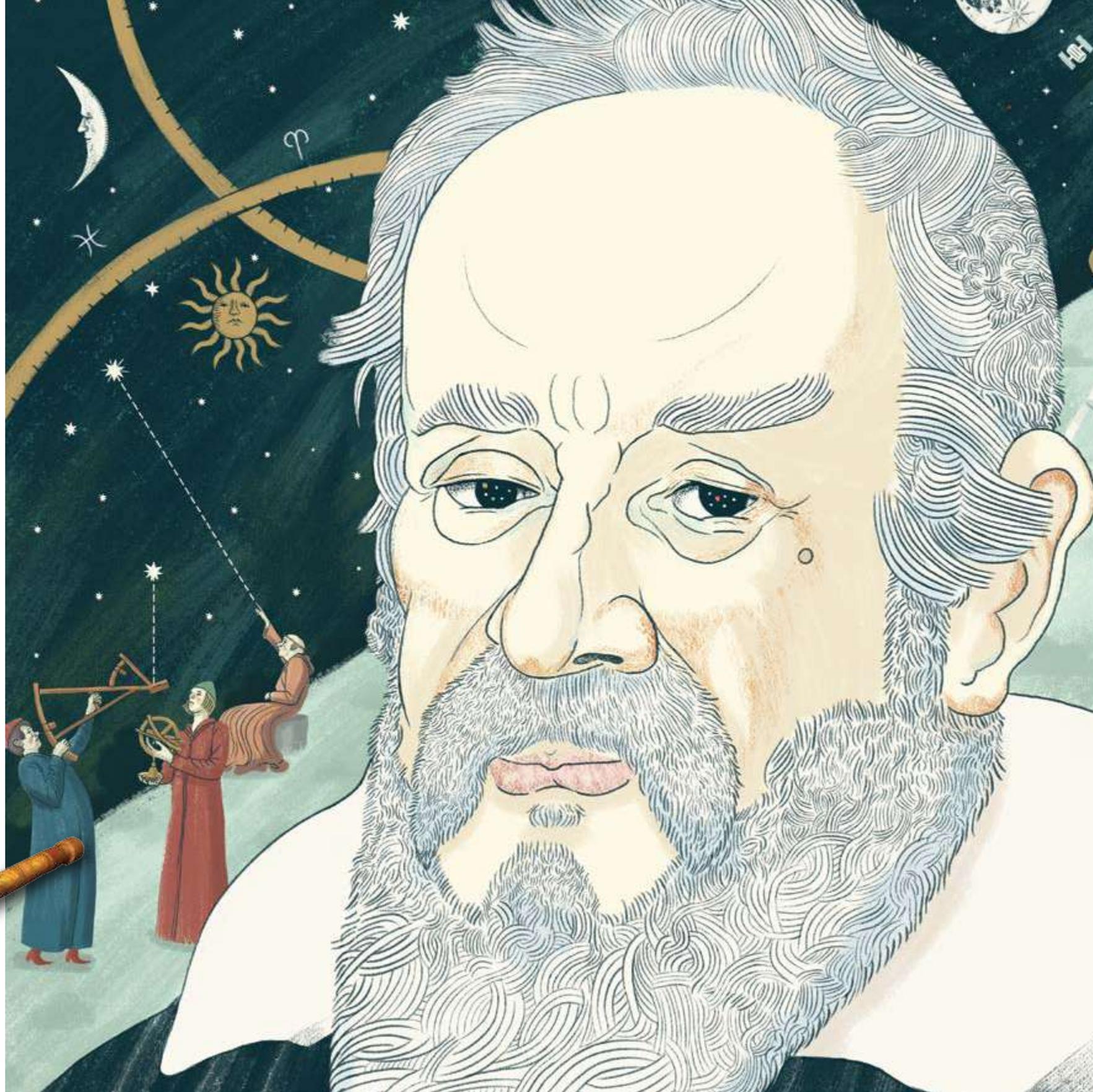
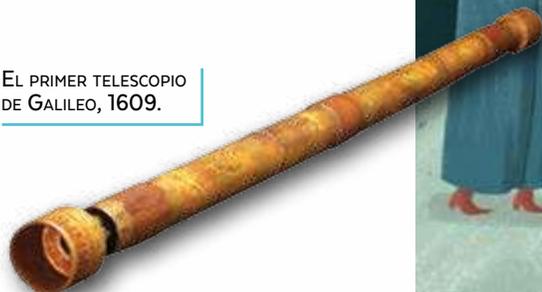


EL CRÁTER GIORDANO BRUNO, EN LA LUNA, TIENE 22 KM DE DIÁMETRO.

Las ideas de que el Universo no había sido creado y de que era estable, permanente y sin fin fueron consideradas como una amenaza a las nociones cristianas de Creación y Juicio Final, y fueron determinantes para que se cumpliera la condena de Giordano Bruno, quien terminó entregado a las llamas.

Galileo Galilei, un sabio también italiano, fue juzgado por la Santa Inquisición por considerar que sus teorías eran absurdas, falsas y contrarias a las santas escrituras. En especial, condenaron la idea de que la Tierra no fuera el centro del Universo. Para la Santa Inquisición, eso era filosófica y teológicamente absurdo, falso, además de erróneo en la fe. Galileo fue condenado a prisión formal, que luego fue cambiada por arresto en su casa, de por vida.

EL PRIMER TELESCOPIO DE GALILEO, 1609.



2 BUSCAR EN EL CIELO DESDE CHILE

DESDE QUE GALILEO GALILEI UTILIZARA POR PRIMERA VEZ UN TELESCOPIO PARA OBSERVAR LOS CIELOS Y COMPROBAR ALGUNAS DE LAS TEORÍAS DE COPÉRNICO, LA FÍSICA Y LA ASTRONOMÍA OBSERVACIONAL COMENZARON A TRABAJAR JUNTAS. LA IMAGINACIÓN, EL RAZONAMIENTO, LA OBSERVACIÓN Y LA VERIFICACIÓN IRÍAN CONSTRUYENDO UN CONOCIMIENTO CADA VEZ MÁS AMPLIO, CON INSTRUMENTOS DE OBSERVACIÓN MÁS POTENTES Y SOFISTICADOS.

La ciencia multiplicó sus esfuerzos por mejorar y afinar los instrumentos para conocer el Universo. Hoy, la innovación tecnológica en la astronomía resulta tan asombrosa como las imágenes que captan los telescopios y radiotelescopios.

AMANECER EN EL
OBSERVATORIO
PARANAL.

Existen telescopios fuera de la Tierra, los satélites y sondas sobrevuelan otros planetas y recorren el Universo. En el suelo terrestre se siguen construyendo observatorios que son majestuosas obras de ingeniería, algunas de las cuales se han levantado en Chile, gracias a la colaboración de varias naciones.

En el mundo, solo tres lugares reúnen las mejores condiciones necesarias para observar el cielo en todo su esplendor y construir las estructuras que soporten los gigantescos ojos que indagan en el Universo: Hawái, las Islas Palma y Tenerife del archipiélago español de Canarias y el desierto de Atacama. En la actualidad, el 40% del poder de observación astronómica mundial se encuentra en Chile y en la próxima década será cerca del 70%.



UN DESIERTO ENTRE DOS GIGANTES TELÚRICOS

En el desierto, las noches atacameñas son tan silenciosas que pareciera posible escuchar la caída de las estrellas fugaces o tocar los numerosos satélites que se pueden observar surcando los cielos. A los visitantes también les asombra caminar en plena noche sin ayuda de linternas o lámparas y ver sus sombras dibujadas en el suelo por el fulgor de las estrellas. Para los astrónomos, esa claridad de la noche atacameña es la mejor oportunidad para observar espectáculos tan sobrecogedores como el centro mismo de la Vía Láctea.

La maravillosa bóveda celeste observada sobre Atacama se debe a la geografía de Chile. El angosto territorio tiene a un costado el océano Pacífico recorrido por la fría corriente de Humboldt y al otro, a casi 400 km en su punto más ancho, la cordillera de los Andes, un alto cordón montañoso que frena las tormentas que vienen del Atlántico.

LA VÍA LÁCTEA
SOBRE EL
OBSERVATORIO
ALMA.

1

2

LA CORRIENTE DE HUMBOLDT AVANZA DESDE LAS COSTAS DE CHILOÉ HASTA EL SUR DE PERÚ ENFRIANDO EL MAR, LIMITANDO LA EVAPORACIÓN Y SECANDO EL CLIMA DE UNA MANERA INUSUAL PARA UN TERRITORIO UBICADO A UNA ALTURA SUBTROPICAL.

EN EL CONTINENTE, ESTA CORRIENTE PRODUCE SISTEMAS ESTABLES DE ALTA PRESIÓN CON VIENTOS QUE DESPLAZAN LAS TORMENTAS, ENFRÍAN LAS BRISAS MARINAS Y REDUCEN LA EVAPORACIÓN.

En el norte, las cordilleras de los Andes y de la Costa, contribuyen a crear óptimas condiciones para la observación astronómica, no solo por su influencia en la formación del desierto y del clima, sino también porque entre ellas se forman mesetas desérticas de gran altura, y excelentes planicies en lo alto de las montañas para instalar la infraestructura que necesitan los observatorios modernos.

Para que los grandes observatorios astronómicos puedan aprovechar sus enormes capacidades y justificar las elevadas inversiones económicas necesarias para su implementación, el lugar donde se construyen debe cumplir numerosos requisitos. El desierto de Atacama reúne todo lo necesario: buen clima y aire seco con una mínima cantidad de vapor de agua, que es lo que absorbe las emisiones en ondas de radio milimétricas que observa ALMA; gran altura, una distancia considerable de la contaminación lumínica de las ciudades; espacio suficiente y fácil acceso para construir las complejas instalaciones.

46

58

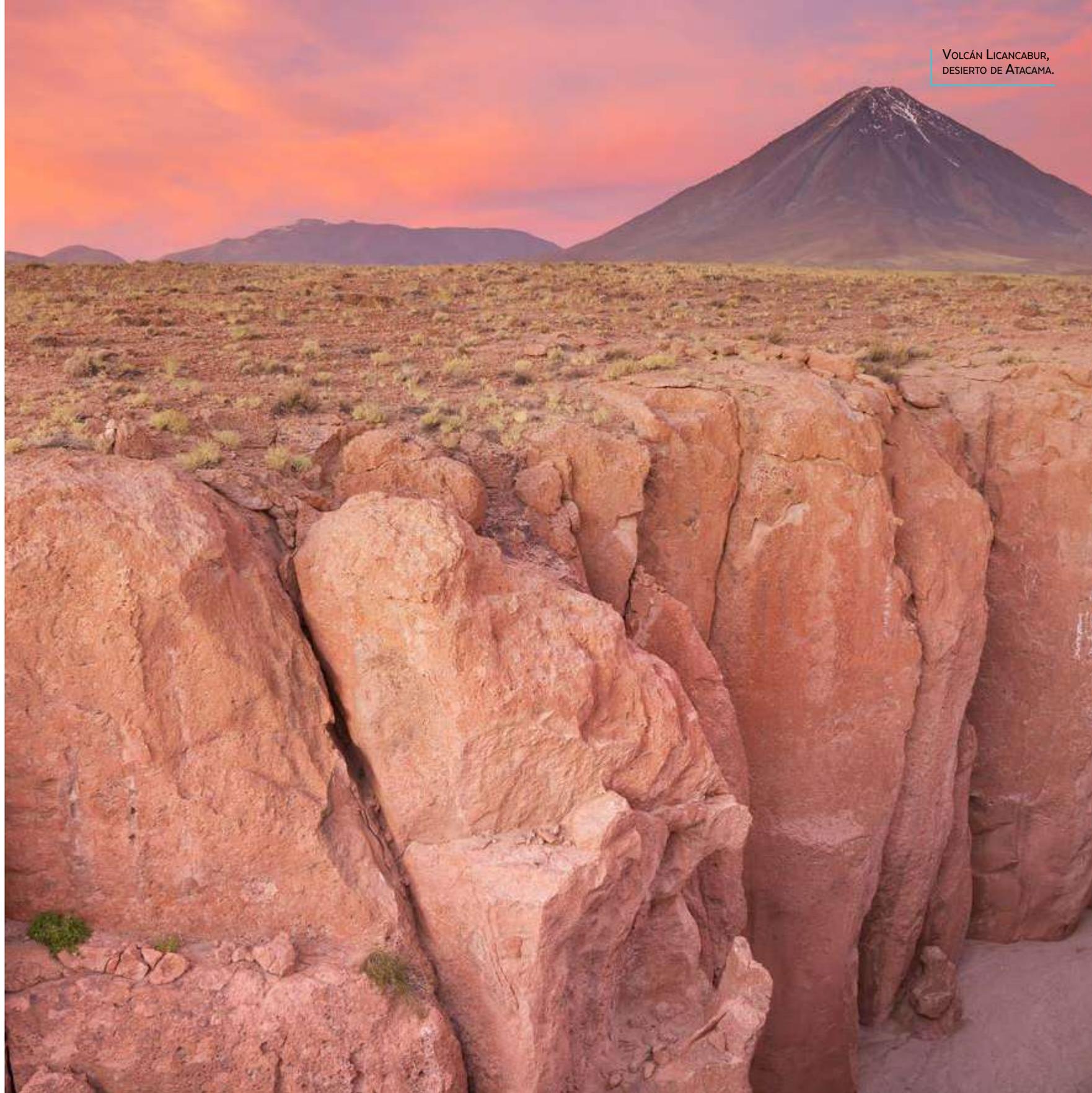
84

213

REGIÓN DE LA VÍA LÁCTEA
QUE SE ENCUENTRA DENTRO
DE LA CONSTELACIÓN DE
ESCORPIO, CERCA DEL PLANO
CENTRAL DE LA GALAXIA.

El desierto de Atacama es la zona más árida del planeta; llueve 250 veces menos que en el desierto del Sahara. La estabilidad atmosférica es absoluta, es decir, la temperatura del aire a nivel del suelo y la de aquel que llega a la atmósfera son muy similares. Esto produce noches secas, casi siempre despejadas, sin presencia de nubes, y precipitaciones de apenas 0.1 milímetros al año. Estas condiciones extremas hacen del desierto de Atacama uno de los lugares más inhóspitos del planeta para el desarrollo de la vida y a la vez un paraíso para la astronomía. Por esta razón, países de Asia, de la Unión Europea y Estados Unidos, en colaboración con Chile, instalan aquí los telescopios más potentes y avanzados del mundo.

EN EL DESIERTO DE ATACAMA, LOS CIENTÍFICOS Y CIENTÍFICAS CUENTAN CON 300 NOCHES DESPEJADAS “DE CIELO TRANSPARENTE” AL AÑO PARA SEGUIR EXPLORANDO LAS ESTRELLAS, UNA PASIÓN DE LA HUMANIDAD DESDE QUE COMENZAMOS A CULTIVAR LA TIERRA Y A PREGUNTARNOS SOBRE NUESTRO ORIGEN Y NUESTRO DESTINO. ★



EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

ONDAS MÁS LARGAS

Longitud de onda en metros

10^3

10^2

10

1

10^{-1}

10^{-2}

10^{-3}

10^{-4}

10^{-5}

10^{-6}

10^{-7}

10^{-8}

10^{-9}

10^{-10}

10^{-11}

10^{-12}

ONDAS MÁS CORTAS

Tamaño de la longitud de onda

BARCO
100 M



PELOTA DE TENIS
10 CM



UN GRANO DE ARENA
1 MM



ESTO VE ALMA

ESTO VEMOS NOSOTROS

BACTERIAS



VIRUS



PROTEÍNAS



ÁTOMOS



Nombre común de las ondas

ONDAS DE RADIO

MICROONDAS

INFRARROJO



VISIBLE



ULTRAVIOLETA



RAYOS X

RAYOS GAMMA

EL ESPACIO QUE NOS RODEA NO ESTÁ VACÍO; LO SURCAN MILES DE ONDAS DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA. ESTAS SON EMITIDAS POR TODO TIPO DE OBJETOS, DESDE LAS SUPERNOVAS QUE EXPLOTARON HACE MILES DE MILLONES DE AÑOS HASTA NUESTROS CUERPOS Y LOS OBJETOS QUE NOS RODEAN.

Las ondas electromagnéticas se clasifican de acuerdo a su longitud, las que pueden llegar a ser tan largas como un campo de fútbol, similar a las que se utilizan en las transmisiones de radio AM, o tan cortas como el ancho de un átomo, como las utilizadas en las radiografías.

Observando esas ondas podemos conocer la composición, la velocidad y hasta la edad de los objetos que las emitieron. Por ejemplo, si hay nubes de

agua o moléculas de azúcar alrededor de una estrella o qué sucedió en las zonas más heladas del Universo. Gran parte de las ondas más largas vienen desde las zonas más frías y antiguas del Universo, mientras que las más cortas llegan desde las más calientes.

Mucha de la tecnología que se utiliza hoy funciona sobre la base de ondas electromagnéticas, como el teléfono celular, la radio, el horno microondas, el control remoto y el escáner que se usa

ONDAS POR TODAS PARTES

en la medicina o como dispositivo de seguridad en los aeropuertos. Estamos inmersos en miles de ondas de este tipo pero no las vemos.

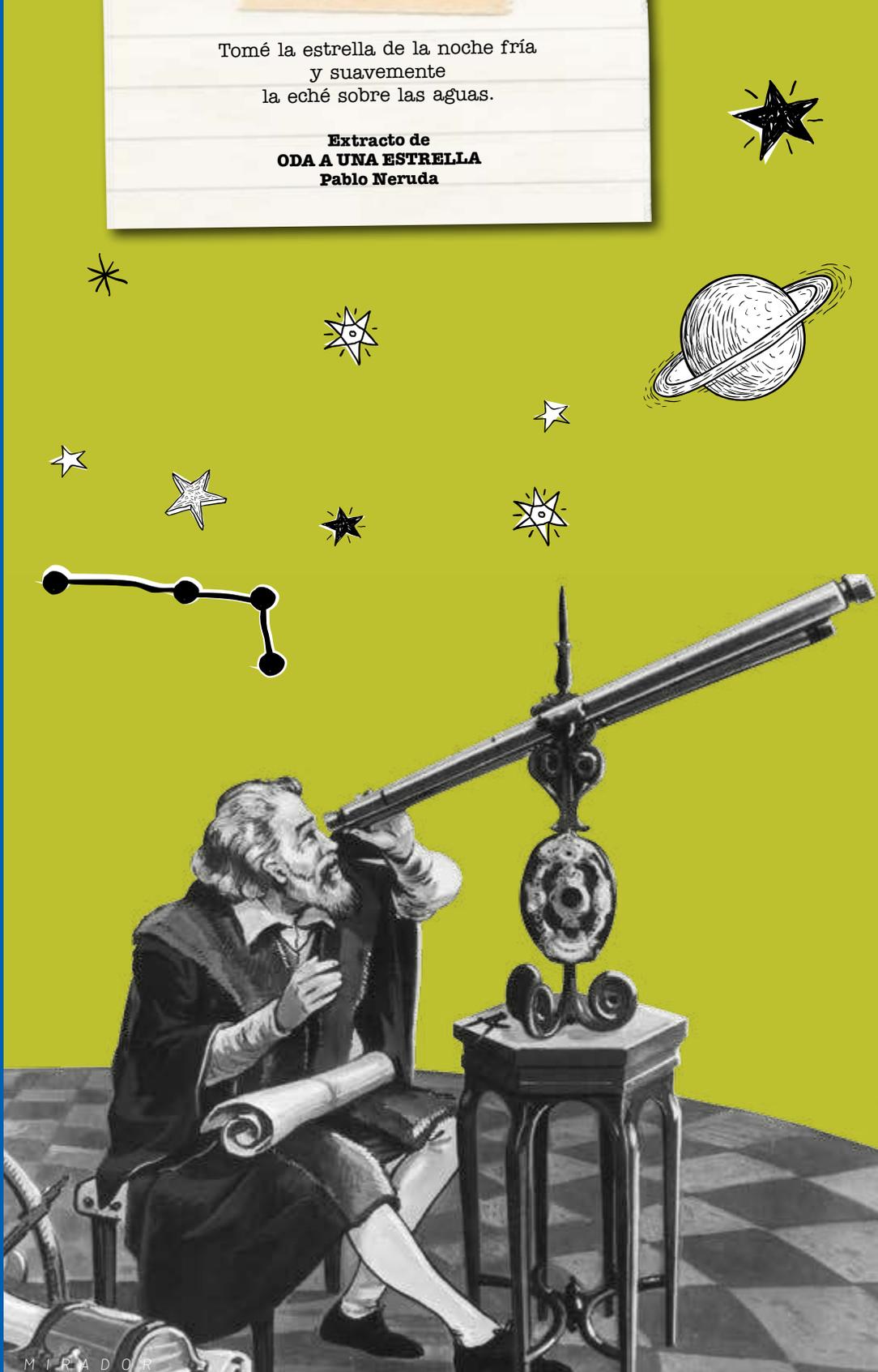
Nuestra visión solo percibe una pequeña porción de las ondas del espectro electromagnético, aquellas que tienen una longitud del orden del tamaño de un virus o una bacteria. Las ondas más largas de la luz visible para los humanos son las de color rojo, luego siguen las del naranja, el amarillo,

el verde, el azul y al final, las del color violeta, que están entre las más cortas del espectro de luz visible.

Fuera de ese espectro visible están las ondas ultravioletas y las infrarrojas, que los seres humanos no ven pero que algunos otros seres vivos sí, como las abejas, que perciben la luz ultravioleta, lo que les ayuda a recolectar el polen. O también algunas serpientes, como las boas o pitones, que pueden detectar las ondas infrarrojas. ★

Tomé la estrella de la noche fría
y suavemente
la eché sobre las aguas.

Extracto de
ODA A UNA ESTRELLA
Pablo Neruda



TELESCOPIOS Y RADIOTELESCOPIOS: OJOS al CIELO

EL TELESCOPIO

EL RADIOTELESCOPIO

1

2

P. 44

P. 46

1

EL TELESCOPIO

Galileo Galilei, usando el telescopio que él mismo había construido, descubrió las cuatro lunas que giran en torno a Júpiter, marcando un hito en la historia de la astronomía.

ANTES DEL TELESCOPIO, EL ALCANCE DEL OJO HUMANO FIJABA EL LÍMITE DE LA EXPLORACIÓN EMPÍRICA DE LOS CIELOS.

Galileo no imaginó que cuatro siglos más tarde, desde un telescopio ubicado en el Observatorio Paranal, desde un país que aún no existía, se podría distinguir una estrella más antigua que la Vía Láctea o la primera imagen de un exoplaneta muy parecido a la Tierra.

Con el perfeccionamiento de los telescopios, mayores tamaños y mejor calidad de los lentes y espejos para

recoger y concentrar la luz visible que hay en el cielo, se abren posibilidades impensadas para el conocimiento de nuestro Universo.

Para evitar las distorsiones en las imágenes producidas por turbulencias en la atmósfera, existen telescopios en el espacio, como el Hubble, con el que se pueden observar millones de objetos celestes, mientras que a simple vista podemos distinguir alrededor de 6 mil estrellas.

Hasta hace poco más de 100 años, para generar sus registros, los astrónomos tenían que dibujar sus observaciones y hallazgos con lápiz y papel, pero con el desarrollo de la fotografía comenzaron a producir placas, luego negativos, hasta llegar a captar hoy las imágenes en formato digital con cámaras cada vez más sensibles a la mínima presencia de luz.

LOS CUATRO SATÉLITES GALILEANOS DE JÚPITER: IO, GANÍMEDES, CALISTO Y EUROPA.

ANTU, KUEYEN, MELIPAL Y YEPUN, LAS CUATRO UNIDADES DE TELESCOPIOS DEL "VERY LARGE TELESCOPE" (VLT) DE ESO UBICADOS EN CERRO PARANAL, CHILE.

2

EL RADIOTELESCOPIO

Además de la luz visible para el ojo humano, en el Universo se desplazan muchas otras ondas, como las ultravioletas, las infrarrojas, las microondas y las de radio. Todas ellas son portadoras de valiosa información para la astronomía.

En 1937, el científico estadounidense Grote Reber inventó el radiotelescopio, un aparato capaz de captar las ondas de radio.

EN LUGAR DE UN LENTE Y UN ESPEJO, EL RADIOTELESCOPIO UTILIZA UNA ANTENA QUE FOCALIZA LA RECEPCIÓN DE LAS ONDAS, Y LUEGO LAS AMPLIFICA Y REGISTRA PARA QUE LOS ASTRÓNOMOS PUEDAN INVESTIGARLAS.

Con esta tecnología podemos distinguir objetos que no emiten luz visible, pero sí ondas de radio como el gas y el polvo en las galaxias y en las afueras de los agujeros negros y otros objetos antiguos que se encuentran en los sectores más lejanos y fríos del Universo, desde donde emiten señales de los inicios del cosmos.

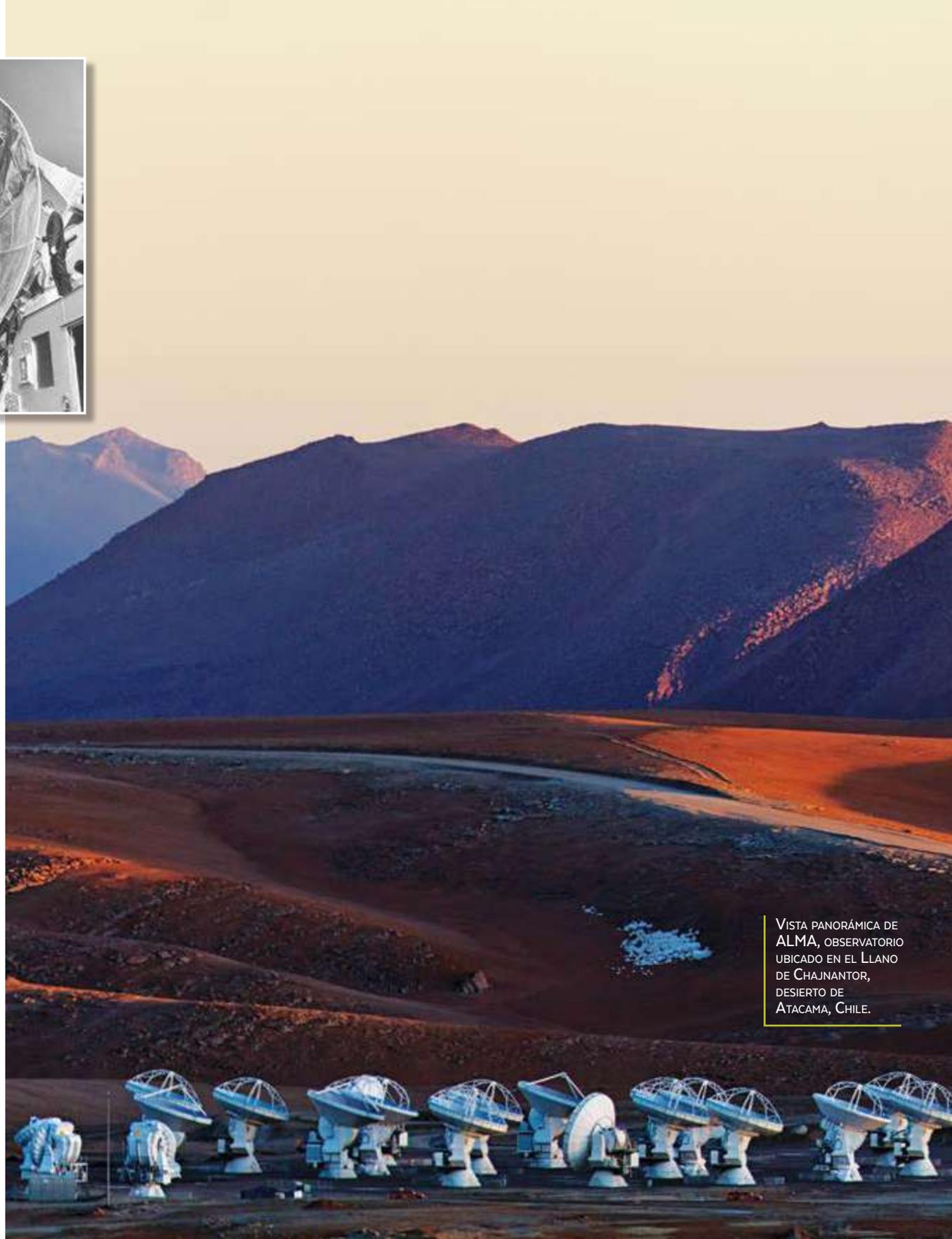


GROTE REBER Y EL RADIOTELESCOPIO.



Para que un radiotelescopio tenga una resolución similar a la de un telescopio en el rango de luz visible, debe ser muy grande, lo que hace compleja su construcción y ubicación. Una dificultad radica en que así como las nubes impiden la visión para nuestros ojos y los telescopios ópticos, el vapor del agua de la atmósfera bloquea las ondas que llegan desde el Universo y que podemos observar con los radiotelescopios. Por eso, estos conjuntos de antenas deben ubicarse en lugares aislados, secos y de gran altura.

El observatorio de radiotelescopios más grande del mundo se llama ALMA y está en el cerro Chajnantor, a más de 5 mil metros sobre el nivel del mar, en el árido desierto de Atacama. La resolución de un radiotelescopio como ALMA es al menos 10 veces la del telescopio espacial Hubble, lo que permite explorar más allá de las nubes de polvo y gas denso que cubren el corazón de las galaxias, observar la formación de los planetas y medir la presencia de moléculas y su distribución en el espacio. ★

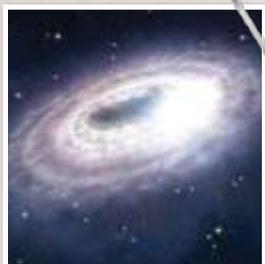


VISTA PANORÁMICA DE ALMA, OBSERVATORIO UBICADO EN EL LLANO DE CHAJNANTOR, DESIERTO DE ATACAMA, CHILE.



ASTEROIDES

Son restos rocosos de nuestro Sistema Solar, de tamaño variable, entre 30 cm hasta varios kilómetros de diámetro. La mayoría se encuentra en el cinturón de asteroides entre Marte y Júpiter.



AGUJEROS NEGROS ESTELARES

Son invisibles, se forman porque una estrella de gran tamaño colapsa en su propia gravedad -es como si una gran cantidad de materia quisiera entrar en un espacio muy reducido-. Este hoyo negro forma un campo gravitacional de tanta fuerza que no deja salir ningún tipo de radiación, ni siquiera la luz.



CUÁSARES

Se crean debido a la interacción de materia que cae a un agujero negro supermasivo en el centro de las galaxias. Son muy brillantes y pueden emitir más energía que 100 galaxias combinadas.

COMETAS



Son cuerpos formados de gases, rocas y polvo congelados, que se calientan al acercarse al Sol y expulsan gas y polvo formando una suerte de cola que al ser iluminada por el Sol, brilla haciéndola visible incluso desde la Tierra.



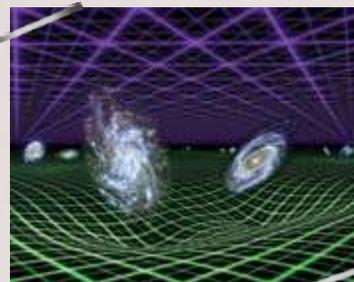
ENANAS CAFÉ

Pueden ser más masivas que Júpiter y menos masivas que la masa mínima para ser estrella. Nacen como posibles estrellas pero no alcanzan a tener suficiente masa, por lo que no tienen reacciones nucleares ni la temperatura que las haría brillar como una estrella.



ENERGÍA OSCURA

Cerca del 74% del Universo es energía oscura. Una fuerza poderosa de repulsión que provoca que la expansión del Universo sea cada vez más rápida. La velocidad con que galaxias se alejan unas de otras aumenta constantemente.



ENANAS BLANCAS

Son núcleos de estrellas con tanta masa como el Sol y de tamaño apenas mayores que la Tierra. Estas estrellas quemaron todo el combustible nuclear que contenían y llegaron al final de su vida, al no tener suficiente masa como para reiniciar reacciones nucleares.

GLOSARIO

¿QUÉ BUSCAR EN EL CIELO?



ESTRELLAS

Estructuras esféricas formadas de plasma en un estado de altísimas temperaturas, de las que emanan luz y calor.

GALAXIA

Es una agrupación de estrellas, polvo y gases, que contienen trillones de estrellas unidas por su propia gravedad. Se clasifican según su forma en espirales, elípticas e irregulares.



PÚLSARES

Son estrellas de neutrones que giran rápidamente, entre 7 mil y 40 mil veces en un minuto, formando un fuerte campo magnético alrededor, emitiendo luz, una intensa radiación e incluso rayos gama.



GIGANTES ROJAS

Son estrellas en una etapa de vejez. Luego de millones de años de vida, incluso billones, las estrellas convierten en helio todo el hidrógeno de su núcleo, el cual se contrae aumentando su temperatura y la de la superficie estelar. El aumento de temperatura en la superficie genera nuevas reacciones nucleares que expanden las capas externas de la estrella, lo que la enfría y va tornando de color rojo.

NUBES MOLECULARES

Nubes compuestas por gas y polvo de baja densidad y turbulentas. En su interior se forman las estrellas.



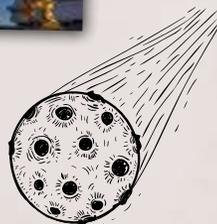
VÍA LÁCTEA

Es la galaxia espiral en la cual se encuentra el Sistema Solar. Contiene cientos de miles de millones de estrellas que giran en torno a su núcleo, en el cual se alberga un agujero negro que tiene tres millones de veces la masa del Sol.



METEOROIDE

Fragmentos de piedras, metales, hielos pequeños -pueden ser escombros de cometas, asteroides o rocas de satélites naturales- que viajan alrededor del Sol en distintas órbitas y velocidades. El meteoroido más rápido se desplaza a 42 km por segundo.



METEORO

Un meteoroido que ingresa a la atmósfera del planeta, generando una enorme fricción y altas temperaturas que despliegan una estela de luz visible a simple vista (estrella fugaz), fenómeno que dura unos pocos segundos antes de desintegrarse por completo y de entrar en contacto con la superficie de la Tierra.

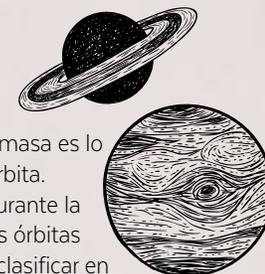


METEORITO

Es un meteorito que no se quemó por completo en su ingreso a la atmósfera, y sus restos golpean la superficie del planeta. Su apariencia es muy similar a una roca y su textura puede ser rugosa o lisa.

PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR

Son cuerpos celestes que giran alrededor del Sol y cuya masa es lo suficientemente grande como para haber limpiado su órbita. Los planetas se formaron en el disco proto-planetario durante la formación del Sistema Solar. Lo que los mantiene en sus órbitas es la enorme gravedad del Sol. Los planetas se pueden clasificar en interiores, compuestos mayormente de rocas y con mayor cercanía al Sol (Mercurio, Venus, Tierra, Marte); planetas exteriores con una composición de gases y más lejanos al Sol (Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno); y los planetas enanos, menos masivos y que comparten su órbita con otros cuerpos celestes similares (Plutón, Ceres, Eris, Makemake, Haumea).



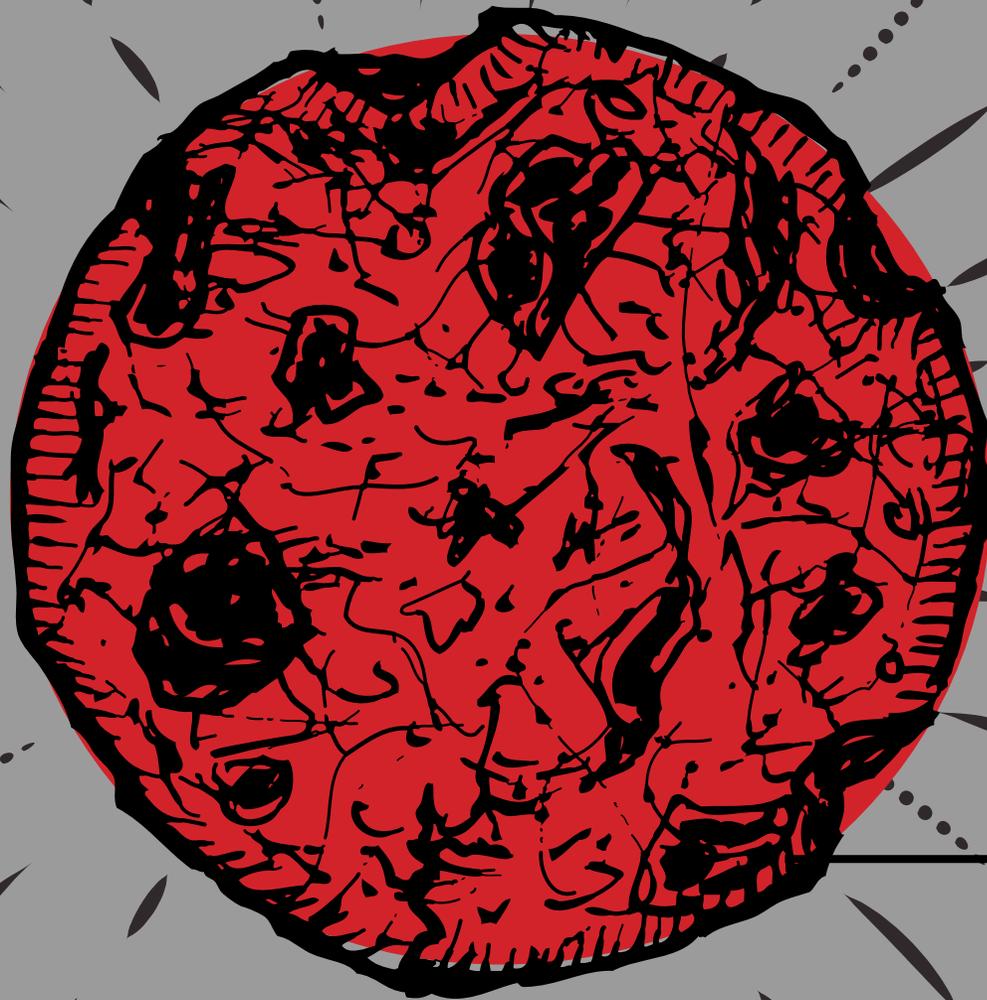
EXOPLANETAS

Son aquellos planetas que pertenecen al sistema planetario de otras estrellas, distintas del Sol.



MATERIA OSCURA

Cerca del 27% del Universo es materia oscura y aún se desconoce su composición. Es la materia que no absorbe, refleja, ni emite suficiente radiación electromagnética para ser detectada con la tecnología actual. Sin embargo, se sabe de su existencia por el efecto que causa su gravedad en los objetos que sí se pueden observar. ★



Mi cuerpo tendido entre cielo y mundo se eleva, se resiste, se retrata disgregándose, entre verdes peces alados que ya no tocarán la tierra.

Extracto de
PLANETA SIN RUMBO
Winétt de Rokha

ENCUENTRO CON LAS eNANAS CAFÉ

LA BÚSQUEDA QUE
PARTIÓ EN LA
MENTE DE
UN INDIÓ

1

P. 56

SERENDIPIA:
ELAZAR Y EL
DESCUBRIMIENTO
CIENTÍFICO

2

P. 58

En una noche fría de marzo de 1997, la astrónoma chilena María Teresa Ruiz observaba los cielos con un telescopio de 3,6 m en el Observatorio La Silla. Buscaba las llamadas enanas blancas, esas estrellas muertas que se desprendieron de sus capas exteriores, que con el paso de miles de años se enfrían y luego desaparecen. Comprender qué sucede con los cadáveres de esas estrellas nos ayuda a entender qué pasará con nuestro Sol cuando se convierta en una enana blanca y se apague por completo.

Las estrellas nacen en nubes moleculares compuestas de gas y polvo interestelar. En las regiones más frías y oscuras de la nube se forman grumos, los que son de mayor densidad atraen, por gravedad, el material que los rodea. Poco a poco estos grumos crecen y se vuelven muy calientes en su centro hasta que cuando alcanzan cerca de 10 millones de grados de temperatura y se inician las reacciones nucleares, nace una estrella.

El material sobrante se distribuye en un disco de escombros que gira en torno a la nueva estrella donde, con frecuencia, se forman planetas. El resultado final es una estrella con planetas que giran en torno a ella, al igual a como lo hacen los planetas del Sistema Solar.

Desde pequeña María Teresa había aprendido a encontrar tesoros. Su papá le escondía los regalos de cumpleaños en distintos lugares de la casa o del patio. Ese juego de búsquedas la acompañaba esa noche, cuando de pronto descubrió el tesoro más importante de su vida científica.

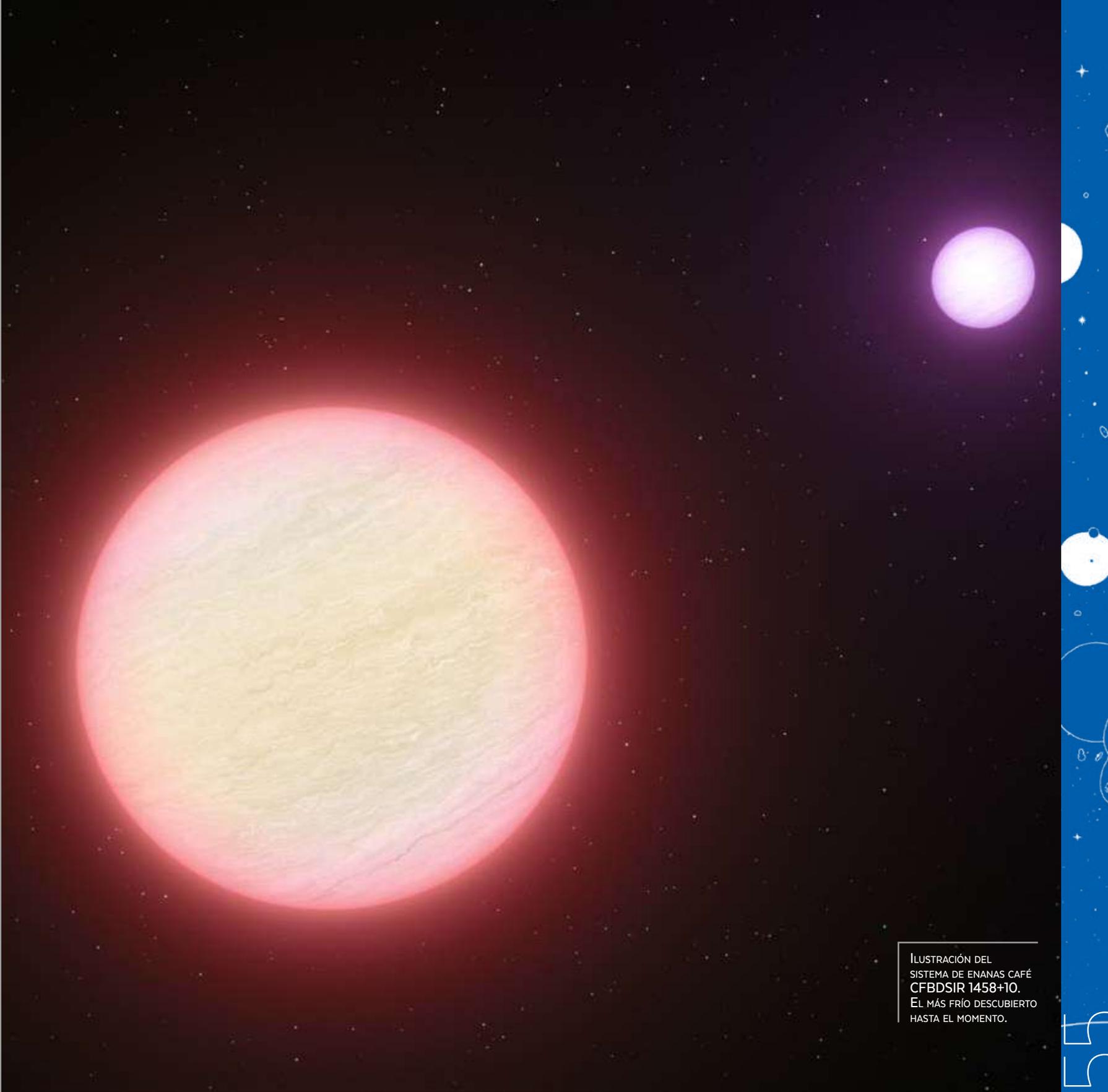


ILUSTRACIÓN DEL SISTEMA DE ENANAS CAFÉ CFBDSIR 1458+10. EL MÁS FRÍO DESCUBIERTO HASTA EL MOMENTO.

1

LA BÚSQUEDA QUE PARTIÓ EN LA MENTE DE UN INDIO

Los científicos no trabajan solos; forman una gran comunidad de colaboración y trabajo entre personas de todas las naciones del planeta. Una pregunta y una teoría que surge en India, puede ser profundizada en Europa o Estados Unidos y comprobada en Chile luego de muchos años. Eso sucedió con el descubrimiento de María Teresa Ruiz.

Una pregunta había rondado a los astrónomos de todo el mundo: “si Júpiter es el planeta más grande y la masa mínima para ser una estrella es 70 veces la de Júpiter, ¿existirán otros elementos de tamaño intermedio entre ambos?”

En 1963, el astrofísico indio Shiv Kumar había sido el primero en elaborar una respuesta. Utilizando fórmulas matemáticas y físicas, llegó a la conclusión de que existían objetos de masa intermedia entre el más grande de los planetas y la más pequeña de las estrellas. Según su modelo teórico, debían existir objetos con una masa muy inferior a los astros que se conocían hasta entonces, pero como la masa determina que se produzca la fusión que hace que las estrellas brillen, esos supuestos objetos intermedios carecerían de luz propia, por lo que les llamó “enanas negras”.

1963

OCURRENCIA

TEORÍA: DEBEN EXISTIR LAS “ENANAS NEGRAS”

SHIV KUMAR

1975

REBAUTIZO

NOMBRADAS “ENANAS CAFÉ”

JILL TARTER

Doce años más tarde, en 1975, en Estados Unidos, Jill Tarter, la científica que dirigió el SETI, el centro de búsqueda de vida inteligente extraterrestre, las rebautizó como enanas café, suponiendo que ese debería ser su verdadero color. Pero todo esto seguía siendo deducción teórica: nunca nadie las había visto.



1997

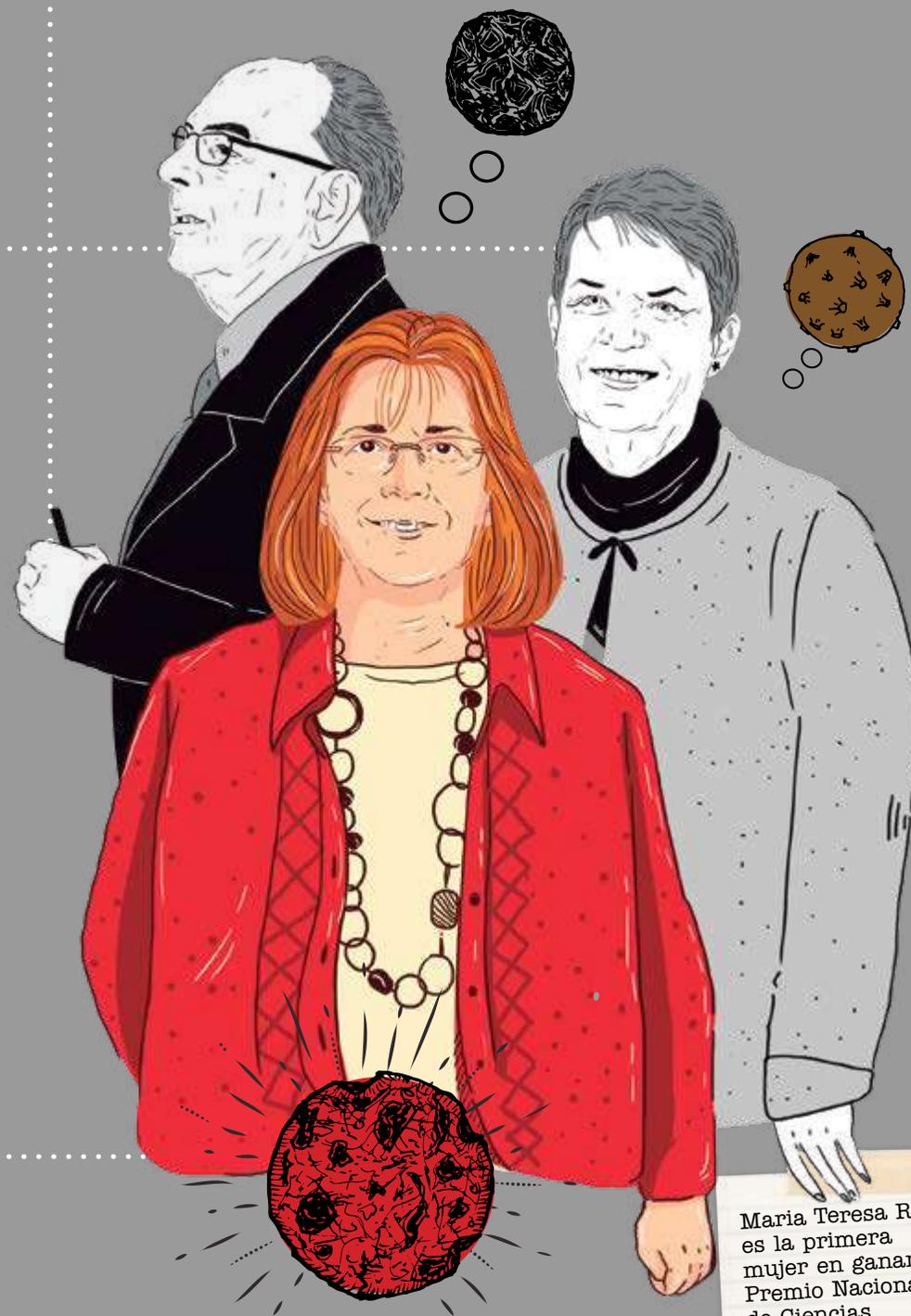
DESCUBRIMIENTO

PRIMERA OBSERVACIÓN

MARÍA TERESA RUIZ

En los centros astronómicos más avanzados del mundo, varios científicos buscaban en los cielos para verificar si la teoría de Kumar era correcta y si efectivamente existía algo entre las estrellas más pequeñas y los planetas más grandes. Es decir, si de las nubes de polvo y gas podían nacer además de estrellas y planetas, otros cuerpos como las enanas café.

OCURRENCIA, REBAUTIZO Y DESCUBRIMIENTO DE LAS ENANAS CAFÉ



María Teresa Ruiz es la primera mujer en ganar el Premio Nacional de Ciencias Exactas, en 1997.

2

SERENDIPIA:
EL AZAR Y EL
DESCUBRIMIENTO
CIENTÍFICO

MARÍA TERESA RUIZ SABÍA DE LA EXISTENCIA TEÓRICA DE ESOS OBJETOS QUE ERAN UNA ESPECIE DE PLANETA GIGANTE PARDO, SIN FUENTE DE ENERGÍA PROPIA, QUE A DIFERENCIA DE LAS ESTRELLAS CONTIENEN LITIO EN SU INTERIOR. EN LAS ESTRELLAS CONVENCIONALES LAS REACCIONES NUCLEARES GENERAN ALTAS TEMPERATURAS QUE DESTRUYEN EL LITIO. PERO RUIZ NUNCA SE HABÍA DETENIDO A BUSCARLOS, SU OCUPACIÓN PRINCIPAL ERA ESTUDIAR LOS CADÁVERES DE LAS ESTRELLAS.

Catorce años después de la construcción del modelo teórico de un astrofísico en India, en Chile, una astrónoma comprobaba y verificaba en la práctica lo que científicos de todo el mundo habían buscado por décadas. Al día siguiente, María Teresa Ruiz se llenó de correos electrónicos de distintos colegas del planeta que le escribían para felicitarla y celebrar el descubrimiento como si se tratara del nacimiento de un hijo. En honor a los pueblos originarios, Ruiz bautizó su hallazgo como Kelu-1, que significa rojo en mapudungun.

La observación, la imaginación y la intuición son indispensables en el desarrollo de la ciencia, pero validar un descubrimiento requiere seguir un largo camino de confirmación, escritura y publicación. En diciembre de ese año, el descubrimiento de

Kelu-1 fue publicado en la revista *The Astrophysical Journal*. Algunos años después se descubrió que Kelu no era uno, sino un sistema de dos súper planetas girando uno alrededor del otro; que tiene 50 veces la masa de Júpiter y que se encuentra a unos 50 años luz de la Tierra, lo que para distancias astronómicas, significa que está cerca.

Desde entonces, en los observatorios del mundo se han identificado miles de enanas café y María Teresa se ha reenfocado en identificarlas a ellas y sus sistemas en el observatorio ALMA en la región de Antofagasta. Este centro astronómico, inaugurado en 2013, es el más grande del mundo y cuenta con 66 radiotelescopios que aportan información cada vez más precisa sobre las estrellas y el Universo. Mediante esta tecnología de punta, Ruiz está estudiando los procesos de formación de enanas café para saber si éste es similar a las formaciones de las estrellas.

Observar el nacimiento de las estrellas y planetas, determinar su masa, edad y de qué están hechos; entender qué hace que de una nube de polvo y gas se formen estrellas, planetas o una mezcla de ambos, nos ayuda a comprender la evolución del Universo y el futuro de nuestro planeta.

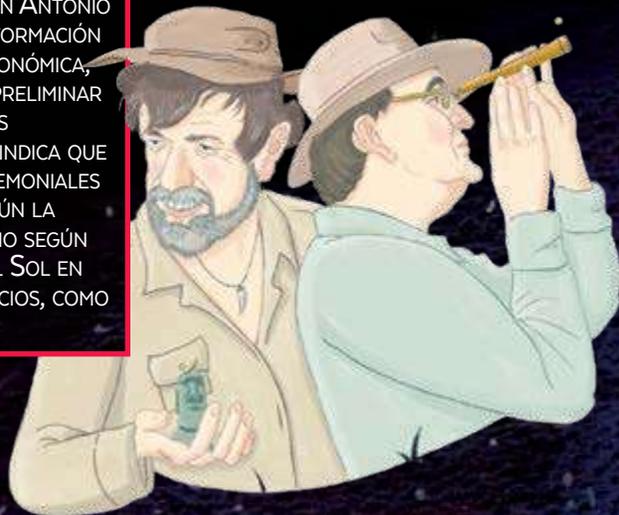
Hoy, aunque Ruiz sigue observando el origen de los astros, su principal desafío, compartido con muchos astrónomos del mundo, es descifrar si hay vida en otros planetas o superplanetas. Si algún día surgiera la evidencia de que no estamos solos, ese día cambiaría la concepción de la vida y de la Humanidad. ★

LA CRUZ MARCA LA POSICIÓN DE LA ENANA CAFÉ ISO-OPH 102 EN LA REGIÓN DE FORMACIÓN DE ESTRELLAS RHO OPHIUCHI.



EN 2005 SE DESCUBRIÓ QUE KELU NO ERA UNO, SINO UN SISTEMA DE DOS SÚPER PLANETAS GIRANDO UNO ALREDEDOR DEL OTRO, COMO SE PUEDE NOTAR EN ESTA FOTO.

EN EL AÑO 2008, EL ARQUEÓLOGO CHILENO EDMUNDO EDWARDS Y EL ASTRÓNOMO ESPAÑOL JUAN ANTONIO BELMONTE, SIGUIENDO INFORMACIÓN ETNOGRÁFICA Y ETNOASTRONÓMICA, PUBLICARON UN ESTUDIO PRELIMINAR DE TREINTA SITIOS RITUALES PASCUENSES O AHÚS, QUE INDICA QUE LAS CONSTRUCCIONES CEREMONIALES ESTARÍAN ORIENTADAS SEGÚN LA LUNA Y LAS ESTRELLAS Y NO SEGÚN LA SALIDA Y LA PUESTA DEL SOL EN LOS EQUINOCCIOS Y SOLSTICIOS, COMO SE SUPONÍA.



LOS MOÁIS & LAS ESTRELLAS

A diferencia de otras civilizaciones que hicieron del Sol su astro más importante, para el pueblo polinésico rapanui, los grandes actores del firmamento eran las estrellas y constelaciones que los guiaban en la navegación entre las islas del Pacífico y regían las actividades de las distintas épocas del año.

La constelación más importante para los rapanui era Matariki, “pequeños ojos”, el cúmulo galáctico que los griegos conocían como las Pléyades. Su aparición marcaba el inicio de un nuevo año, la época llamada “Hora Nui”, asociada a la abundancia y la paz cuando se abría la temporada de pesca. Al ponerse por última vez en el horizonte se terminaba la época de prosperidad y la guerra volvía a estar permitida entre las distintas tribus.

El cinturón de Orión era otro grupo de estrellas muy importante. Los rapanui lo nombraban Tautoru, que significa “los tres bellos”, y su aparición coincidente con la de Matariki, también marcaba el inicio del año. ★

Cuando contemplo, niña tu pupila,
 el cielo veo de las horas bellas:
 la misma azul profundidad tranquila,
 el mismo suave luminar de estrellas.
 Pero, ¡ay!, el cielo más azul esconde
 el turbión que con furia se desata,
 y allí también al vendaval responde
 el rayo vibrador, que incendia y mata.

**Extracto de
 PAZ DEL ALMA
 Egidio Poblete**

EN OCTUBRE DE 1842, CUANDO EL LLAMADO 'PADRE DE LA PATRIA', BERNARDO O'HIGGINS YACÍA MORIBUNDO EXILIADO EN LIMA, REDACTÓ UNA CARTA PARA EL PRESIDENTE BULNES RECORDÁNDOLE QUE LE HABÍA CEDIDO AL EJÉRCITO TODOS SUS ANIMALES Y UNA SUMA RELEVANTE DE DINERO, TRAS LO CUAL SOLICITABA UNA COMPENSACIÓN; PARTE DE LA MISMA LA DESTINÓ A LA INSTALACIÓN DE UN OBSERVATORIO ASTRONÓMICO EN EL CERRO SANTA LUCÍA.

MURIÓ SIN VER MATERIALIZADO SU DESEO Y SIN IMAGINAR QUE EN EL FUTURO PRÓXIMO UNA EXPEDICIÓN EXTRANJERA INSTALARÍA ALLÍ SUS TELESCOPIOS Y QUE CON LOS AÑOS, CHILE SE TRANSFORMARÍA EN EL PRINCIPAL LUGAR DEL MUNDO PARA LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA.

OBSERVATORIO CERRO
 SANTA LUCÍA, SIGLO XIX.

OBSERVATORIOS DE CHILE

LAS PRIMERAS
 EXPLORACIONES Y
 LA VISIÓN DE
 ANDRÉS BELLO

1

P. 64

EL INICIO DE LA
 COLABORACIÓN
 INTERNACIONAL

2

P. 68

LOS GIGANTES DE
 LA COLABORACIÓN
 MUNDIAL

3

P. 78

CADA VEZ MÁS
 LEJOS EN EL TIEMPO
 Y EL ESPACIO

4

P. 86

1

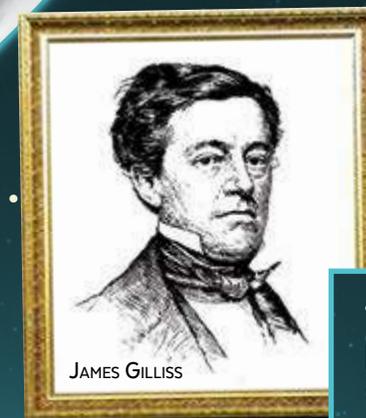
LAS PRIMERAS EXPLORACIONES Y LA VISIÓN DE ANDRÉS BELLO

En 1849, el astrónomo norteamericano James Gilliss llegó a Santiago a cargo de una expedición naval astronómica de los Estados Unidos con la misión de precisar las escalas de distancia del Sistema Solar, por medio de triangulaciones que requerían observaciones simultáneas de Venus y Marte desde ambos hemisferios. Para cumplir estos ambiciosos objetivos, los puntos elegidos fueron las ciudades de Santiago y Washington, que estaban suficientemente apartadas en latitud pero ambas se ubicaban casi sobre el mismo meridiano.

Gilliss llegó a Chile con telescopios y abundante material para la observación astronómica, entre los que destacaba un avanzado refractor de 16,5 cm de apertura y 259 cm de distancia focal. El gobierno de la época autorizó la instalación del equipamiento en dos habitaciones ubicadas en el cerro Santa Lucía.

LA MISIÓN DESPERTÓ LA CURIOSIDAD DEL RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, DON ANDRÉS BELLO, QUIEN CONSIDERÓ QUE EL TRABAJO DE GILLISS OFRECÍA UNA EXCELENTE OPORTUNIDAD PARA FORMAR GEÓGRAFOS Y ASTRÓNOMOS CHILENOS Y FUNDAR EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL.

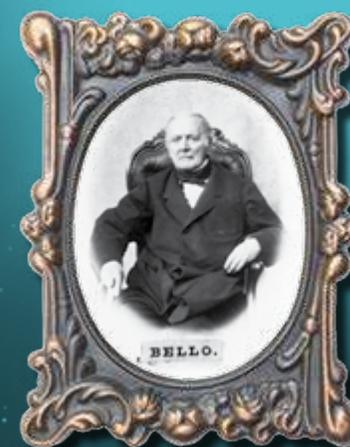
1849



JAMES GILLISS

“ESTA DETERMINACIÓN DE PARTE DEL GOBIERNO CHILENO SERÁ MIRADA POR LOS HOMBRES DE CIENCIA DEL HEMISFERIO NORTE CON EL MAYOR INTERÉS. ES OTRA PRUEBA DE QUE CHILE MANIFIESTA CONTINUAR SIENDO LO QUE SIEMPRE HA SIDO, LA NACIÓN MÁS PROTECTORA DE LAS CIENCIAS Y ARTES ENTRE LAS REPÚBLICAS SUDAMERICANAS”.

James Gilliss a Ignacio Domeyko a propósito del interés de Chile por crear un Observatorio Astronómico Nacional, 1851.



ANDRÉS BELLO.

EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL

En 1852, con un decreto del presidente Manuel Montt, se inauguró en el cerro Santa Lucía el Observatorio Astronómico Nacional, que al poco tiempo se transformaría en el más fructífero de América del Sur.

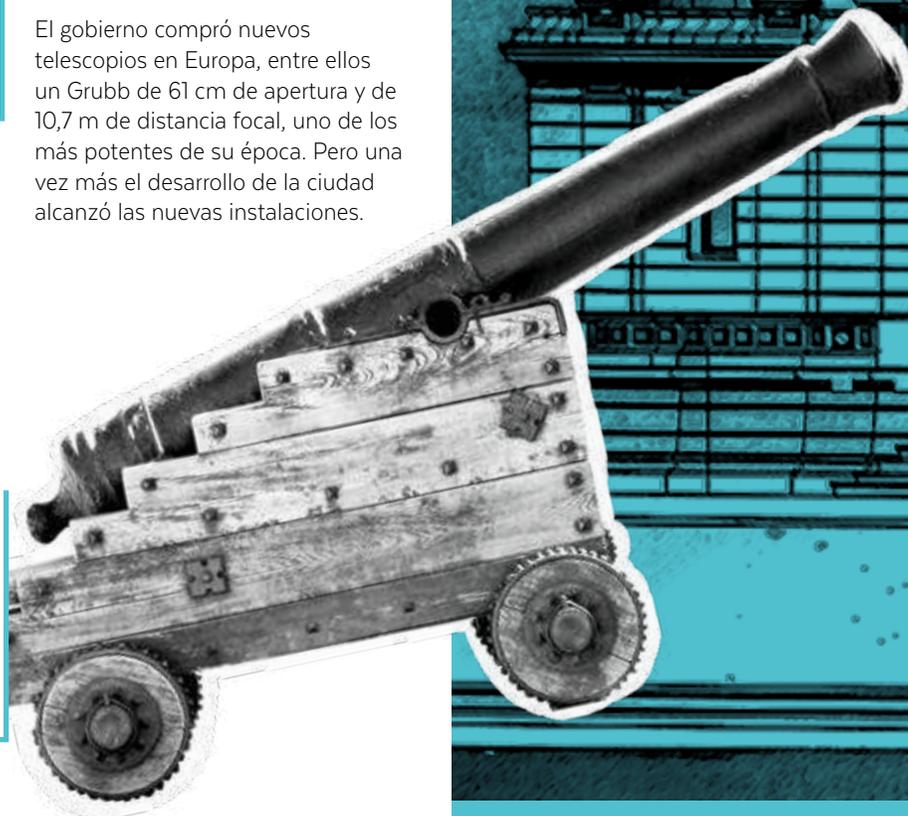
DESPUÉS LLEGARON LOS PROBLEMAS. EL PEÑÓN DONDE ESTABA EL OBSERVATORIO TENÍA UNA CIERTA OSCILACIÓN Y NO ERA POSIBLE AMPLIAR LAS INSTALACIONES, PERO EL MAYOR INCONVENIENTE ERA LA URBANIZACIÓN. LAS AVENIDAS QUE RODEABAN EL CERRO SE LLENARON DE FAROLES, GENERANDO LA TEMIDA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA, Y LAS CARRETAS Y PEATONES LEVANTABAN POLVO POR DOQUIER.

Así, en 1856, el observatorio tuvo una nueva casa, la Quinta Normal de Agricultura. En este espacio público y bajo la dirección de chilenos, franceses y alemanes, el observatorio alcanzó jerarquía científica al identificar miles de estrellas, cometas y galaxias; realizar mediciones muy precisas de Alfa Centauro; y al precisar la longitud geográfica de varias ciudades.

EL HALLAZGO MÁS RECORDADO POR LOS SANTIAGUINOS QUIZÁS SEA LA OBSERVACIÓN MERIDIANA DE ESTRELLAS QUE PERMITIERON MEDIR LA HORA EXACTA EN LA CIUDAD DE SANTIAGO, LA QUE LUEGO SONÓ CADA MEDIODÍA CON EL "CAÑONAZO" DEL CERRO SANTA LUCÍA.

Pero la ciudad seguía avanzando y pronto la Quinta Normal también se rodeó de luces que dificultaban la observación nocturna de los cielos. En 1906, Pedro Montt llegó a la presidencia y dio un nuevo impulso al observatorio contratando como director al profesor de astronomía de la Universidad de Berlín, Federico Ristempart. La primera tarea fue trasladar el observatorio a un terreno de 11 hectáreas en lo que hoy es la comuna de Lo Espejo, entonces un poblado y estación del ferrocarril al sur de Santiago.

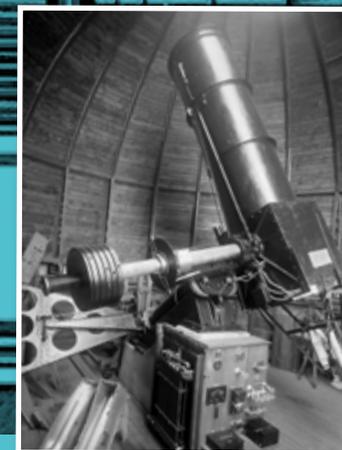
El gobierno compró nuevos telescopios en Europa, entre ellos un Grubb de 61 cm de apertura y de 10,7 m de distancia focal, uno de los más potentes de su época. Pero una vez más el desarrollo de la ciudad alcanzó las nuevas instalaciones.



1852

1903

DIBUJO DEL OBSERVATORIO LO ESPEJO.



TELESCOPIO MANUEL FOSTER EN EL CERRO SAN CRISTÓBAL, INSTALADO EN 1903.

2

EL INICIO DE LA COLABORACIÓN INTERNACIONAL

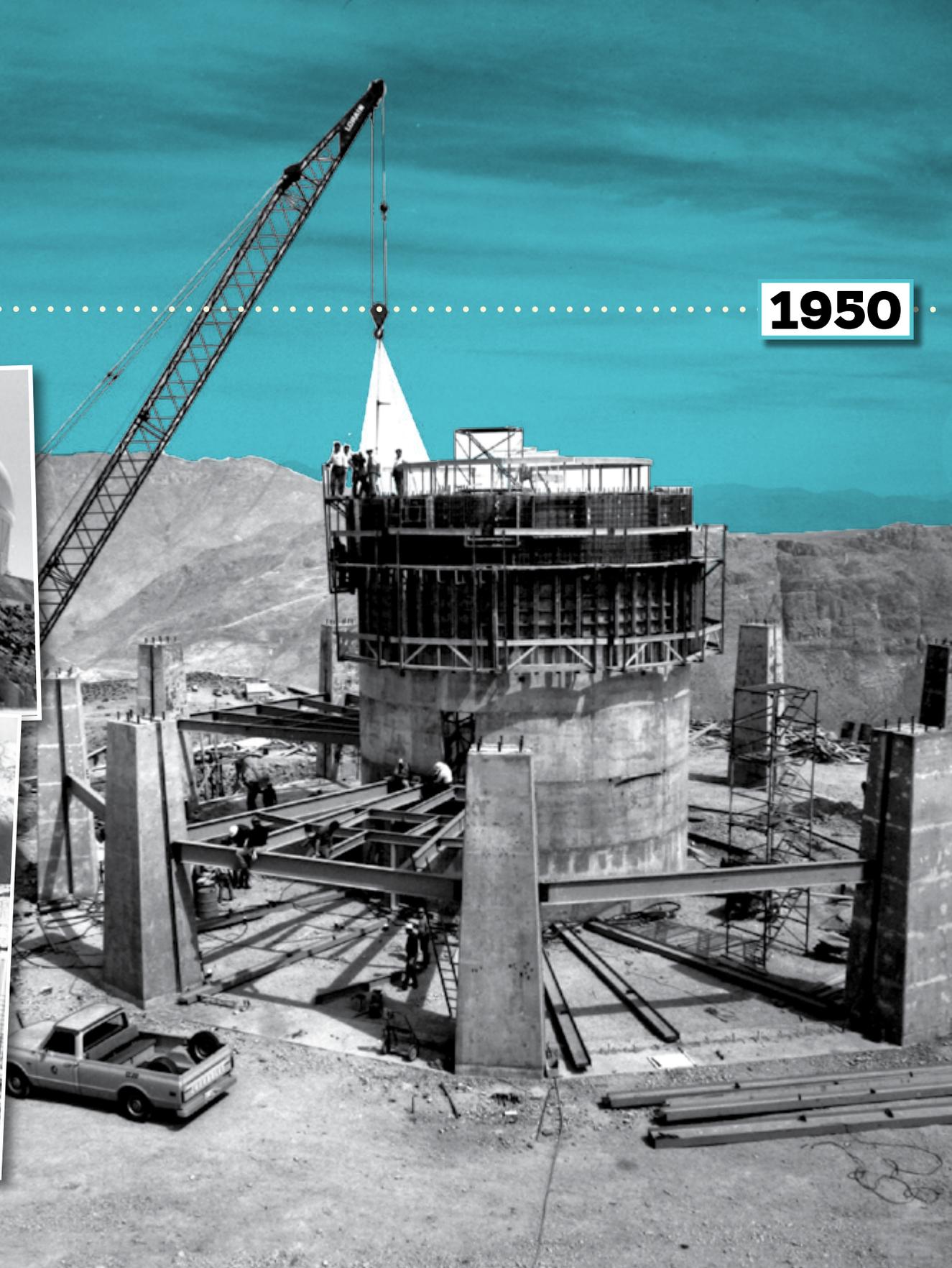
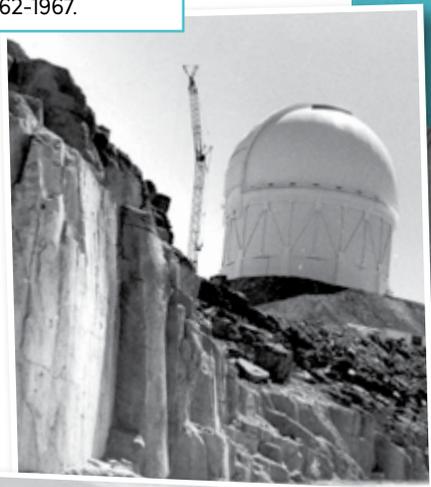
En 1950, la llegada de Federico Rutllant, astrónomo chileno y profesor de la Universidad de Chile, como director del observatorio (que desde 1927 dependía de esa institución) marcó un renacer no solo del observatorio sino de la astronomía nacional.

Rutllant permitió abrir un vínculo de colaboración fructífera entre la astronomía chilena y los principales centros de investigación del mundo.

La primera medida de Rutllant fue trasladar el observatorio desde Lo Espejo a un lugar con óptimas condiciones de observación, fuera de la ciudad. El lugar elegido fue el cerro Calán, a 860 m sobre el nivel del mar, alejado del polvo urbano y libre de la contaminación lumínica. Las obras se iniciaron en 1956 y el traslado definitivo ocurrió en 1962; desde entonces los estudiantes de la carrera de Astronomía de la Universidad de Chile pueden hacer sus registros desde allí.

La activa política de colaboración internacional impulsada por Rutllant logró establecer convenios con La Carnegie Institution y la Universidad de Florida para impulsar la radioastronomía en Chile, una nueva técnica de exploración del espacio que surgió con mucha fuerza en la década de los cincuenta. Producto de esa colaboración se instaló en Maipú un radiotelescopio de 1.200 m de longitud compuesto por 16 antenas Yagi.

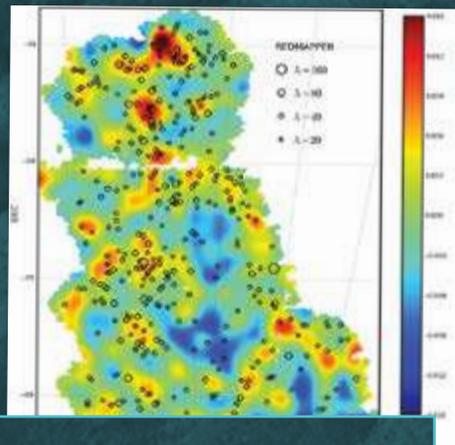
CONSTRUCCIÓN TOLOLO,
1962-1967.



1950

A comienzos de los sesenta organizó misiones conjuntas entre científicos de Estados Unidos y de Chile para recorrer el norte y analizar las condiciones de las cumbres chilenas, para instalar allí proyectos importantes de observación astronómica. La exploración los llevó al Tololo, al sur de Vicuña, un cerro de 2.200 m de altura, de buen clima, atmósfera muy transparente y libre de luz artificial.

LA COLABORACIÓN ENTRE LA UNIVERSIDAD DE CHILE Y UN CONSORCIO DE UNIVERSIDADES DE ESTADOS UNIDOS DEDICADAS A LA INVESTIGACIÓN EN ASTRONOMÍA, AURA (ASSOCIATION OF UNIVERSITIES FOR RESEARCH IN ASTRONOMY), SE TRANSFORMÓ EN EL OBSERVATORIO INTERAMERICANO CERRO TOLOLO (CTIO), CUYOS TELESCOPIOS DE LUZ VISIBLE HAN NUTRIDO EL CONOCIMIENTO MUNDIAL, INCLUYENDO EL ESTUDIO DE LAS SUPERNOVAS QUE CONCLUYÓ LA EXPANSIÓN ACELERADA DEL UNIVERSO Y QUE ALIMENTÓ LAS INVESTIGACIONES QUE CONDUJERON AL PREMIO NOBEL DE FÍSICA DE 2011.



ESTA ES LA PRIMERA IMAGEN DE LA CARTA DE LA ENERGÍA OSCURA QUE MUESTRA EN DETALLE LA DISTRIBUCIÓN DE ESA ENERGÍA EN UNA IMPORTANTE PORCIÓN DEL CIELO, PERO REPRESENTA SOLO EL 3% DE LO QUE EL PROYECTO DARK ENERGY SURVEY CUBRIRÁ ENTRE EL 2013 Y EL 2018. LOS PUNTOS GRISES INDICAN CÚMULOS DE GALAXIAS, LAS ZONAS EN ROJO Y AMARILLO INDICARÍAN ZONAS DE GRAN ACUMULACIÓN DE MATERIA OSCURA, Y LOS TONOS AZULADOS ZONAS DE MENOR DENSIDAD.

MUESTRA LEVANTADA DESDE EL OBSERVATORIO TOLOLO, 2015.

1962

EN EL TELESCOPIO BLANCO, DE 4 M, DEL OBSERVATORIO TOLOLO, RECIENTEMENTE SE MONTÓ UNA CÁMARA DIGITAL DE 570 MEGAPIXELES, EXTREMADAMENTE SENSIBLE, QUE REALIZA MAPAS DE LAS GALAXIAS A UNA VELOCIDAD VEINTE VECES MAYOR QUE LAS CÁMARAS ANTERIORES.

ESTO PERMITE MEDIR LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO CON UNA PRECISIÓN DEL 1% Y CONOCER MEJOR LA NATURALEZA DE LA ENERGÍA OSCURA QUE ACELERA LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO.”

OBSERVATORIO
INTERAMERICANO CERRO
TOLOLO, CHILE, 2011.

En 1962, Rutllant estableció un convenio de colaboración astrométrica entre la Universidad de Chile y la Academia de Ciencias de la Unión Soviética, para mejorar las mediciones de las posiciones de las estrellas en el Hemisferio Sur, lo que permitió descubrir importantes errores en el sistema de referencia de la astronomía de la época.

En 1969, como resultado de un convenio con un grupo de catorce países europeos compuesto al principio por Alemania, Bélgica, Francia, Holanda y Suecia, conocido como ESO (European Southern Observatory), se inaugura cerca de La Serena el Observatorio La Silla, el primero de varios que este grupo ha instalado en Chile.

En 1989, en el mismo cerro La Silla se levantó el New Technology Telescope de 3.58 m, el primer telescopio del mundo en tener un espejo controlado por computador. El otro gran telescopio de La Silla, el de 3.6 m, es parte del sistema HARPS especializado en la detección de planetas extrasolares y astrosismología a través de la observación de las variaciones de la velocidad radial de las estrellas.

TELESCOPIO DE NUEVA
TECNOLOGÍA (NTT)
EN OBSERVATORIO
LA SILLA.

1969

EN EL AÑO 2007, DESDE EL OBSERVATORIO LA SILLA Y UTILIZANDO EL SISTEMA CAZADOR DE PLANETAS HARPS, SE DESCUBRIÓ EL GLIESE 581C, UN PLANETA QUE PODRÍA TENER UNA TEMPERATURA SIMILAR A LA DE LA TIERRA, ES DECIR, ENTRE 0° Y 40°, LO QUE HARÍA POSIBLE LA EXISTENCIA DE AGUA LÍQUIDA. EL NUEVO EXOPLANETA GIRA ALREDEDOR DE UNA ESTRELLA MUCHO MÁS FRÍA QUE EL SOL, POR ESO A PESAR DE ESTAR 14 VECES MÁS CERCA DE ELLA QUE LA TIERRA DEL SOL, LA TEMPERA ES SIMILAR A LA DE NUESTRO MUNDO.

El mismo año 1969, la Universidad de Chile y la Carnegie Institution de Washington firmaron un convenio para establecer un observatorio destinado a explorar los cielos australes, en las Nubes de Magallanes y el centro de la Vía Láctea. El lugar elegido fue el cerro Las Campanas, donde al comienzo funcionaron dos telescopios reflectores, pero que en 1986 se transformó en el principal observatorio de la Carnegie, ya que los famosos telescopios de Mount Wilson no podían operar debido a la contaminación lumínica de la ciudad de Los Angeles, en California. Desde entonces, Carnegie ha seguido fortaleciendo la capacidad de observación en Las Campanas, donde hoy destacan los telescopios Baade y Clay, de 6,5 m de diámetro, ubicados a 60 m de distancia y que en conjunto constituyen el llamado "Proyecto Magallanes", que permite una amplia visión del Universo.

DURANTE ESOS AÑOS, TAN IMPORTANTE COMO LA ENORME INSTALACIÓN DE CAPACIDADES TECNOLÓGICAS PARA OBSERVAR EL ESPACIO, FUE LA FORMACIÓN DE ASTRÓNOMOS QUE REALIZARON DOCTORADOS EN EL EXTRANJERO. LOS CONVENIOS FIRMADOS CON LAS UNIVERSIDADES EXTRANJERAS GARANTIZABAN QUE EL 10% DEL TIEMPO DE OBSERVACIÓN FUERA CUBIERTO POR ASTRÓNOMOS CHILENOS.

Con todo esto se cumplió otro antiguo sueño, aquel de Andrés Bello, que un siglo antes había visto la posibilidad de formar ingenieros geógrafos y astrónomos chilenos.

En 1971, una delegación de astrofísicos del Observatorio de Crimea, Ucrania, identificó el cerro La Peineta en Atacama, como el lugar para desarrollar un observatorio más grande que El Tololo y La Silla. Este proyecto se suspendió en 1973.

TELESCOPIO
BAADE UBICADO EN
EL OBSERVATORIO
LAS CAMPANAS.



1976

LOS TELESCOPIOS MAGALLANES UBICADOS EN EL OBSERVATORIO LAS CAMPANAS, PERMITIERON ENCONTRAR LA PRIMERA EVIDENCIA DE NUBES DE AGUA FUERA DE NUESTRO SISTEMA SOLAR, RODEANDO A WISE J0855-0714, LA ENANA CAFÉ MÁS FRÍA DESCUBIERTA HASTA AHORA.

TELESCOPIOS DEL
OBSERVATORIO LAS
CAMPANAS, CHILE.

CHILE: OBSERVATORIOS EN EL TIEMPO

HISTORIA DEL
OBSERVATORIO
ASTRONÓMICO
NACIONAL



1852

OBSERVATORIO
CERRO SANTA LUCÍA

15 cm

ALtura
(MSNM)

629

UBICACIÓN

Cerro Santa
Lucía, Santiago



1856

OBSERVATORIO
QUINTA NORMAL

15 cm

522

Quinta Normal,
Santiago



1903

OBSERVATORIO
MANUEL FOSTER

1 m

880

Cerro San
Cristóbal



1906

OBSERVATORIO
LO ESPEJO

60 cm

545

Lo Espejo,
Santiago



1959

OBSERVATORIO
MAIPÚ

1.200 m

488

Maipú, Santiago



1960

ESTACIÓN ASTRONÓMICA
CERRO EL ROBLE

1 m

2.222

Cerro El Roble,
Santiago

**primer observatorio internacional*



1962

OBSERVATORIO
CERRO CALÁN

60 cm

860

Las Condes,
Santiago



1962

OBSERVATORIO
CERRO TOLOLO

4 m

2.200

Cerro Tololo,
Coquimbo



1969

OBSERVATORIO
LA SILLA

3,6 m y 10 m

2.400

La Higuera,
Coquimbo



1976

OBSERVATORIO
LAS CAMPANAS

6,5 m

2.510

Cerro Las Campanas,
Coquimbo



1999

OBSERVATORIO
PARANAL

8,2 m

2.456

Cerro Paranal,
Antofagasta



2002

OBSERVATORIO
GEMINI

8,1 m

2.456

Cerro Pachón,
Antofagasta



2013

OBSERVATORIO
ALMA

16 km
(todas las antenas)

5.000

Llano de Chajnantor,
Antofagasta



2020

LSST (LARGE SYNOPTIC
SURVEY TELESCOPE)

8,4 m

2.456

Cerro Pachón,
Antofagasta



2020

TELESCOPIO GIGANTE
DE MAGALLANES
(GMT)

24,5 m

2.510

Cerro Las Campanas,
Coquimbo



2022

TELESCOPIO EUROPEO
EXTREMADAMENTE GRANDE
(E-ELT)

39 m

3.000

Cerro Armazones,
Antofagasta

ATARDECER EN EL
OBSERVATORIO
DE PARANAL.

3 LOS GIGANTES DE LA COLABORACIÓN MUNDIAL

Luego de una prolongada interrupción en el desarrollo de observatorios y grandes proyectos de astronomía, en 1988 el Estado chileno donó a ESO, la misma organización europea del observatorio La Silla, 72.500 hectáreas en cerro Paranal para que instalara un nuevo foco astronómico mundial.

Las iniciativas de colaboración científica internacional continúan y harán que al año 2020, un 70% del área recolectora de los telescopios de gran tamaño del mundo converja en Chile.

EL SOFISTICADO
DESARROLLO
TECNOLÓGICO DE
ESTOS PROYECTOS
PERMITE REALIZAR
OBSERVACIONES
DEL UNIVERSO QUE
GILLISS, BELLO Y
PROBABLEMENTE EL
MISMO RUTLLANT
NUNCA IMAGINARON.

PARANAL

El observatorio de luz visible e infrarroja más grande del mundo está ubicado en el cerro Paranal, a 2.600 msnm en la cordillera de la Costa y a 160 km de Antofagasta. El VLT (Very Large Telescope) está compuesto por cuatro telescopios gigantes de 8.2 m que pueden operar juntos y por separado y cuatro auxiliares de 1.8 m.

En 1998, el telescopio Antú inauguró la toma de registros desde Paranal con imágenes de la estrella Eta Carinae. Esto fue la culminación de un camino que superó enormes desafíos técnicos y de construcción, como la remoción de la cima de un cerro con dinamita con el objeto de aplanar la superficie e instalar parte de la sofisticada tecnología, o el traslado desde Alemania, de cada uno de los espejos principales que pesan 23 toneladas y miden solo 18 cm de ancho.

Operando en conjunto, los cuatro telescopios pueden distinguir a una persona caminando sobre la Luna y cada uno por separado tiene una sensibilidad lumínica tan alta que permite observar objetos cuya luz es 4 mil millones de veces más tenue de la que el ojo humano puede detectar. A esta precisión, se suma la flexibilidad de su sistema óptico que permite corregir las más leves distorsiones de la atmósfera.

AL APUNTAR UNO DE ESTOS TELESCOPIOS DE 450 TONELADAS HACIA EL CIELO, ES POSIBLE OBSERVAR LAS ESTRELLAS GIRANDO ALREDEDOR DE UN AGUJERO NEGRO EN EL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA O MOLÉCULAS DE MONÓXIDO DE CARBONO EN UNA GALAXIA UBICADA A 11 MIL MILLONES DE AÑOS LUZ.



1999

UBICACIÓN:
CERRO PARANAL, REGIÓN
DE ANTOFAGASTA

ALTURA: 2.600 MSNM

TELESCOPIOS:
VERY LARGE TELESCOPE (VLT),
VERY LARGE TELESCOPE
INTERFEROMETER (VLTI)

LOS CUATRO TELESCOPIOS MAYORES QUE COMPONEN EL GRAN TELESCOPIO DEL OBSERVATORIO PARANAL TIENEN NOMBRES TOMADOS DEL MAPUDUNGUN: ANTÜ (SOL), KÜYEN (LUNA), MELIPAL (CRUZ DEL SUR) Y YEPUN (VENUS).

EN EL AÑO 2008, EL CERRO PARANAL SE UTILIZÓ COMO UNA DE LAS LOCACIONES PARA EL RODAJE DE LA PELÍCULA DE JAMES BOND, *QUANTUM OF SOLACE*.

DESDE EL VLT DE PARANAL SE MIDIÓ LA EDAD DE LA ESTRELLA MÁS ANTIGUA DE NUESTRA GALAXIA. TIENE 13.200 MILLONES DE AÑOS Y NACIÓ EN LA ETAPA TEMPRANA DE LA FORMACIÓN DEL UNIVERSO.

GEMINI

El Observatorio Gemini comenzó a funcionar en el año 2002, como resultado de la colaboración científica iniciada 10 años antes por siete países y es actualmente administrado por AURA, el mismo consorcio con que se inició la colaboración en el cerro Tololo.

Está ubicado en el cerro Pachón, a 2.700 m de altitud, en la región de Coquimbo. Cuenta con un telescopio gigante de 8,1 m y como su nombre lo sugiere, tiene un gemelo exactamente igual, en el Hemisferio Norte, situado en el volcán inactivo Mauna Kea de Hawái. A través de estos dos enormes ojos tecnológicos, los astrónomos pueden ver lo que está pasando en casi todo el cielo del mundo.

En el caso de los Gemini, los espejos primario y secundario, se encuentran recubiertos de plata en lugar de aluminio, lo que aumenta la sensibilidad de los instrumentos para la observación del infrarrojo, es decir, a través del calor que emiten se pueden observar objetos que no forman parte del espectro de luz visible.

HASTA HACE POCO EL DESCUBRIMIENTO DE EXOPLANETAS SE HACÍA A TRAVÉS DE MÉTODOS INDIRECTOS, ESTO SIGNIFICABA QUE DETECTAR UN PLANETA PODÍA TOMAR HORAS, PERO CON EL GEMINI EN SOLO MINUTOS ES POSIBLE OBTENER IMÁGENES DE PLANETAS QUE EMITEN MUY Poca LUZ Y QUE ORBITAN CERCA DE ESTRELLAS BRILLANTES. TAMBIÉN SE PUEDEN OBSERVAR LAS NUBES DE POLVO GIRANDO ALREDEDOR DE UNA ESTRELLA JOVEN, LO QUE DA ORIGEN A NUEVOS SISTEMAS PLANETARIOS.

SU GEMELO, MAUNA KEA EN HAWÁI (1.400 M).



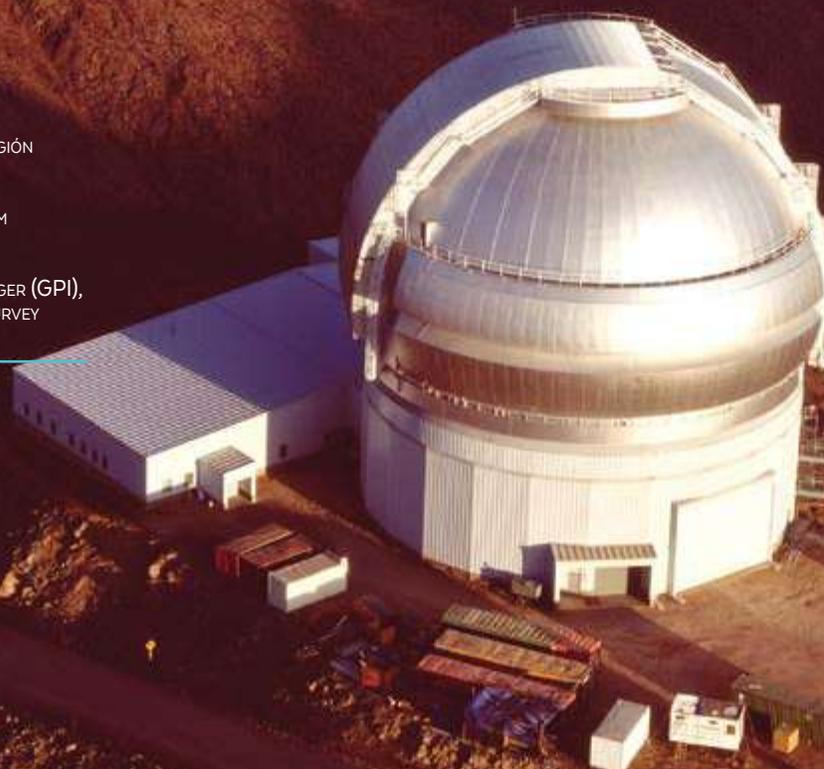
2002

EL AÑO 2015, DESDE EL GEMINI UBICADO EN CHILE, SE DESCUBRIÓ UN JOVEN SISTEMA PLANETARIO EN FORMACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MUY SIMILARES A LAS DEL SISTEMA SOLAR EN SUS INICIOS. LAS IMÁGENES REVELAN UN ANILLO BRILLANTE DE POLVO ALREDEDOR DE UNA ESTRELLA UBICADA A 360 AÑOS LUZ EN UNA REGIÓN SIMILAR A AQUELLA DONDE SE FORMÓ EL SOL.

UBICACIÓN:
CERRO PACHÓN, REGIÓN DE COQUIMBO

ALTURA: 2.700 MSNM

TELESCOPIOS:
GEMINI PLANET IMAGER (GPI),
LARGE SYNOPSIS SURVEY
TELESCOPE (LSST)



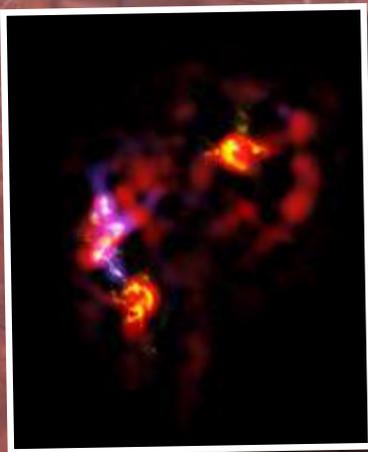
ALMA

A fines del siglo XX, en Estados Unidos, Europa y Asia, distintos grupos de científicos desarrollaban telescopios para observar ondas milimétricas y submilimétricas del espectro de luz invisible que pueden llegar desde las zonas más frías del espacio interestelar. Los astrónomos decidieron unir sus fuerzas para diseñar y construir el observatorio más grande del mundo. El lugar elegido fue el Llano de Chajnantor, a 5 mil metros de altura en el desierto de Atacama.

El proyecto consideró la construcción de 66 antenas (50 de ellas de 12 m de diámetro) desplazables entre 150 m y 16 km. Para lograr la máxima potencia y combinar las señales que emiten las distintas antenas, se diseñó uno de los sistemas computacionales más poderosos del mundo, que cuenta con 134 millones de procesadores y es capaz de efectuar 17 mil billones de operaciones por segundo. El “supercomputador” de ALMA procesa las imágenes de cada antena y las integra como si se tratara de una imagen única producida por un gigantesco telescopio de 16 km.

DESDE LOS PRIMEROS REGISTROS EN EL AÑO 2013, EL MUNDO DE LA ASTRONOMÍA NO HA DEJADO DE SORPRENDERSE CON LAS IMÁGENES DE ALMA. ESTAMOS OBSERVANDO CON UN NIVEL DE DETALLE NUNCA ANTES VISTO LO QUE SUCEDÍA EN LAS ETAPAS TEMPRANAS DEL UNIVERSO, EL NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE ESTRELLAS Y GALAXIAS, LA FORMACIÓN DE LOS SISTEMAS PLANETARIOS ALREDEDOR DE ASTROS DISTANTES Y HASTA LA DISTRIBUCIÓN DE MOLÉCULAS ESENCIALES PARA LA VIDA QUE FLOTAN ALREDEDOR DE LAS ESTRELLAS MÁS JÓVENES.

LAS GALAXIAS ANTENA, LA PRIMERA IMAGEN TOMADA DESDE ALMA.



UBICACIÓN:
LLANO DE CHAJNANTOR,
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ALTURA: 5.059 MSNM

TECNOLOGÍA:
66 ANTENAS DE
ALTA PRECISIÓN

IMPRESIÓN ARTÍSTICA
DE ALMA EN EL LLANO
DE CHAJNANTOR.

2013

DESDE ALMA SE HAN DETECTADO MOLÉCULAS DE AZÚCAR EN EL GAS QUE RODEA UNA ESTRELLA JOVEN Y MOLÉCULAS ORGÁNICAS COMPLEJAS EN UNA ZONA SIMILAR A LA REGIÓN DEL CINTURÓN DE KUIPER DE NUESTRO SISTEMA SOLAR. ESTO COMPROBARÍA QUE NUESTRO SISTEMA SOLAR NO ES EL ÚNICO EN TENER UNA QUÍMICA ORGÁNICA COMO LA QUE COMPONE LA VIDA EN NUESTRO PLANETA.

PARA CUBRIR LA POTENCIA INFORMÁTICA QUE REQUIERE EL PROCESAMIENTO DE DATOS DE LAS ANTENAS DE ALMA, HABRÍA SIDO NECESARIO INVERTIR MIL MILLONES DE DÓLARES EN COMPUTADORES PERSONALES. EL DESARROLLO DE UN SISTEMA INFORMÁTICO PROPIO COSTÓ APENAS 11 MILLONES DE DÓLARES.

4 CADA VEZ MÁS LEJOS EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO

La construcción de estos colosales observatorios implica desafíos de colaboración política y económica entre varias naciones y auténticas proezas de las distintas ramas de la ingeniería. Esta cooperación unida a tecnologías cada vez más sofisticadas y poderosas permite que la humanidad sobrepase de forma continua los límites de su capacidad de observación del Universo.

A fines de la década del 2020, cuando recién empieza la era de ALMA y Paranal, se inaugurarán tres nuevos megaproyectos que prometen avances espectaculares para la ciencia.

REPRESENTACIÓN
ARTÍSTICA DEL
FUTURO TELESCOPIO
E-ELT.

GIGANTE MAGALLANES

A comienzos de la década del 2020, entrará en funcionamiento un portentoso explorador de los cielos: el Telescopio Gigante Magallanes, GMT (Giant Magellan Telescope), impulsado por un Consorcio Internacional (GMTO) de once universidades e instituciones científicas del mundo. El lugar elegido para su emplazamiento es el cerro Las Campanas, desde comienzos de la década de los setenta, un referente mundial de la astronomía.

El espejo primario del Telescopio Gigante medirá 24,5 m de diámetro y estará compuesto por siete espejos que en su conjunto pesan aproximadamente 120 toneladas. La óptica adaptativa, uno de los aspectos más desafiantes de la ingeniería del GMT, implica que cientos de correctores estarán moviendo continuamente los espejos flexibles secundarios para reducir las distorsiones atmosféricas y transformar el poético titilar de las estrellas en puntos nítidos apropiados para la observación científica.

2020

ILUSTRACIÓN
TELESCOPIO GMT.

UBICACIÓN:
CERRO LAS CAMPANAS,
REGIÓN DE ATACAMA

ALTURA: 2.500 MSNM

CON EL TELESCOPIO GIGANTE MAGALLANES LOS ASTRÓNOMOS PODRÁN OBSERVAR LA LUZ EMITIDA POR LAS GALAXIAS ENTRE 12.000 Y 13.200 MILLONES DE AÑOS ATRÁS, CUANDO NUESTRO UNIVERSO TENÍA SOLO 500 MILLONES DE AÑOS.

LSST

En la cumbre del cerro Pachón, a 2.680 msnm, comenzó el año 2015 la construcción del Gran Telescopio para Rastreo Sinóptico, LSST (Large Synoptic Survey Telescope) que se dedicará a la investigación de las propiedades de la materia oscura y de la energía oscura, la formación y estructura de la Vía Láctea, los asteroides y las zonas remotas del Sistema Solar.

Equipado con la cámara digital más poderosa del mundo, capaz de ejecutar tomas de 3.200 megapíxeles, el LSST mapeará el cielo varias veces por semana permitiendo observar el movimiento de objetos y eventos transitorios y de corta duración como explosiones de supernovas o la órbita de los asteroides que podrían significar un peligro para la Tierra.

Cada noche, durante 10 años, el LSST tomará más de 800 imágenes panorámicas, permitiendo la realización de mapas de la Vía Láctea, de nuestro Sistema Solar y de galaxias remotas con un nivel de detalle nunca antes visto. Todavía es una incógnita saber qué misterios nos permitirá develar ese enorme volumen de información, miles de veces mayor que cualquiera que se haya reunido con anterioridad.

255

222

2020

UBICACIÓN:
CERRO PACHÓN, REGIÓN
DE COQUIMBO

ALTURA: 2.682 MSNM

ILUSTRACIÓN DEL CIELO
ESTRELLADO SOBRE EL
FUTURO LSST.

E-ELT

Sobre el cerro Armazones cerca de Paranal, a 3 mil metros de altitud, ESO está construyendo El Telescopio Europeo Extremadamente Grande, E-ELT (European Extremely Large Telescope) y espera que funcione a comienzos de la próxima década. Con su espejo principal de 39 m de diámetro compuesto por 798 espejos hexagonales de 1,4 m de diámetro que se suman como si fueran uno solo, el E-ELT será el telescopio óptico e infrarrojo más grande del mundo, con una sensibilidad 15 veces mayor que la del más potente de los actuales y 16 veces mayor que la del Telescopio Espacial Hubble ubicado fuera de la atmósfera.

PARA ACONDICIONAR LA CIMA DEL CERRO ARMAZONES, SE DEBEN REMOVER 220 MIL METROS CÚBICOS DE TIERRA. ESTA CIMA RECIBIRÁ LA ESTRUCTURA DE 150 M POR 300 M DE BASE Y 80 M DE ALTURA QUE SOPORTARÁ EL TELESCOPIO EUROPEO EXTREMADAMENTE GRANDE, DE 39 M DE DIÁMETRO.

Estos observatorios y otros que todavía no imaginamos se sumarán a los que ya operan en los privilegiados cielos de la geografía de Chile. De forma acelerada estamos afinando nuestra capacidad de observar el Universo.

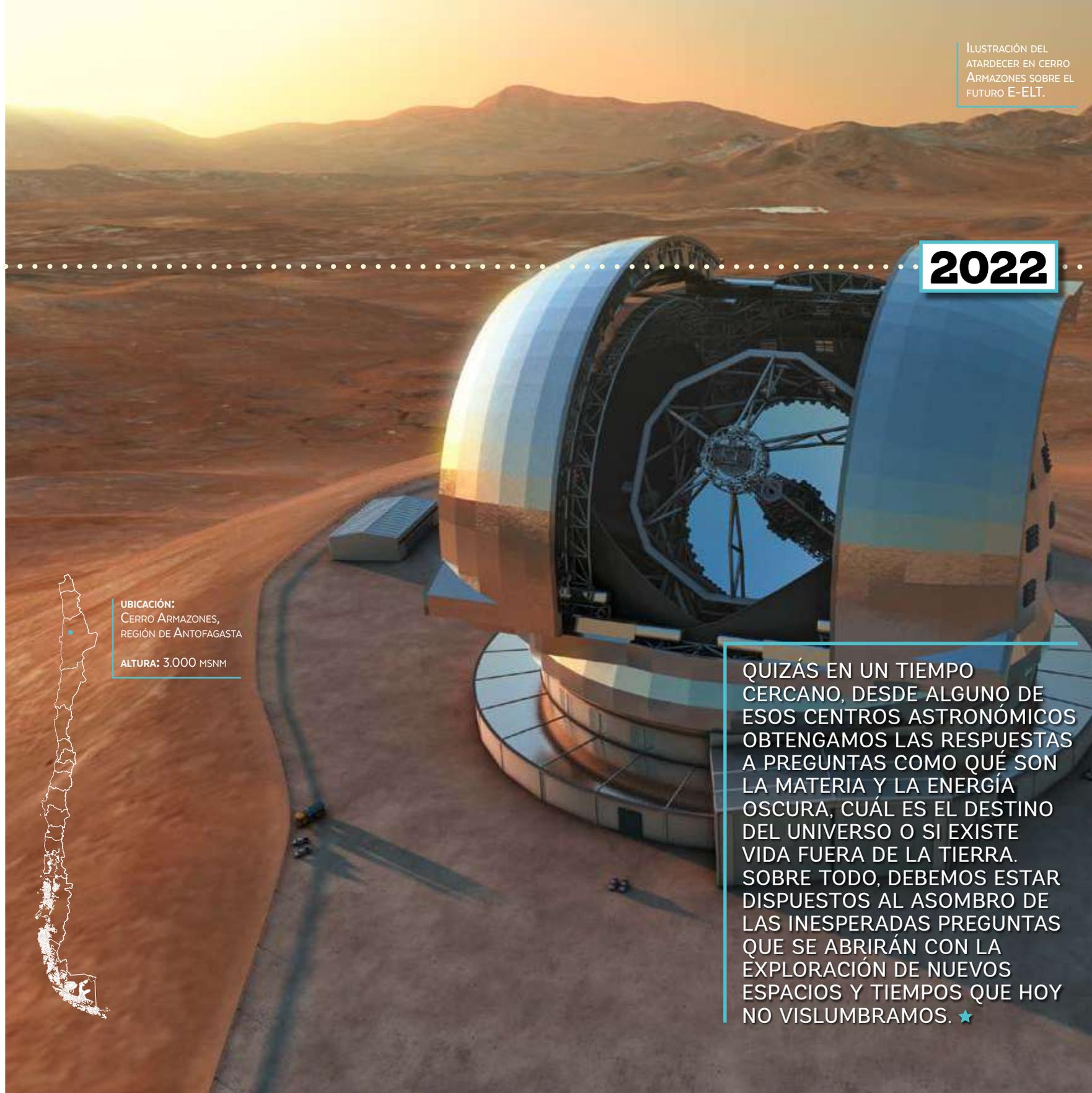


ILUSTRACIÓN DEL ATARDECER EN CERRO ARMAZONES SOBRE EL FUTURO E-ELT.

2022

UBICACIÓN:
CERRO ARMAZONES,
REGIÓN DE ANTOFAGASTA

ALTURA: 3.000 MSNM

QUIZÁS EN UN TIEMPO CERCANO, DESDE ALGUNO DE ESOS CENTROS ASTRONÓMICOS OBTENGAMOS LAS RESPUESTAS A PREGUNTAS COMO QUÉ SON LA MATERIA Y LA ENERGÍA OSCURA, CUÁL ES EL DESTINO DEL UNIVERSO O SI EXISTE VIDA FUERA DE LA TIERRA. SOBRE TODO, DEBEMOS ESTAR DISPUESTOS AL ASOMBRO DE LAS INESPERADAS PREGUNTAS QUE SE ABRIRÁN CON LA EXPLORACIÓN DE NUEVOS ESPACIOS Y TIEMPOS QUE HOY NO VISLUMBRAMOS. ★



UN LICEO CHILENO HIZO HISTORIA AL PARTICIPAR EN UN PROYECTO JUNTO A LA NASA SOBRE LA COLONIZACIÓN DEL ESPACIO.

CHINITAS AL ESPACIO

Los astros son ronda de niños,
jugando la tierra a espiar..
Los trigos son talles de niñas
jugando a ondular... a ondular..

Los ríos son rondas de niños
jugando a encontrarse en el mar..
Las olas son rondas de niñas,
jugando la Tierra a abrazar..

Extracto de
TODO ES RONDA
Gabriela Mistral

A mediados de la década de los noventa, la profesora del Liceo N°1 de niñas, Ivonne Martínez, asistió a una conferencia del reconocido astronauta y físico costarricense Franklin Chang-Díaz. Entusiasmada, se acercó a preguntarle si un grupo de investigación de un colegio chileno podría presentar un proyecto a la NASA. El astronauta le contestó afirmativamente, añadiendo que si se trataba de una institución educacional tendría mayores probabilidades de ser aceptado. Ella soñó en grande: había que construir un proyecto a la altura de la NASA.

Fue así como un equipo de profesores y estudiantes del liceo definieron los alcances de la investigación: contribuir a la colonización del espacio. La innovación del proyecto llamó la atención de la NASA, pero debía ser rigurosa y cumplir todos los estándares científicos. Las estudiantes harían historia, pero eso aún no se sabía.

LAS PREGUNTAS

El objetivo central del proyecto era probar si las chinitas, de nombre científico Coccinellidae, funcionarían como controlador de plagas de pulgones en el espacio o fuera de la Tierra. Para ello, necesitaban responder muchas preguntas como ¿Qué necesitarían para sobrevivir si colonizaran otro planeta? ¿Cómo harían para alimentarse? ¿Partirían sembrando plantaciones para asegurar el alimento para los colonizadores del nuevo planeta? ¿Qué pasaría si una plaga destruyera todos los cultivos? ¿Cómo se podrían controlar las plagas sin llenar el nuevo planeta de contaminantes ni fumigaciones químicas? ¿Las especies depredadoras de la Tierra podrían también serlo en otro planeta?

LAS AMIGAS CHINITAS

Comenzaba la investigación práctica. Crearon los ambientes de estudio y

organizaron diferentes experimentos para observar el comportamiento y las interacciones entre las chinitas y los pulgones. Luego, familiarizadas con esta dinámica, presentaron el proyecto a una comisión de científicos; realizaron todas las pruebas solicitadas y todos concluyeron que tenía altas probabilidades de éxito. El experimento estaba a punto de embarcarse en el transbordador espacial de la NASA.

El 23 de julio de 1999 el transbordador Columbia despegó desde Cabo Cañaveral en Florida. En la nave espacial viajaban dos dispositivos, ambos con plantas y pulgones y solo uno con las chinitas a la espera de ser liberadas. El dispositivo con plantas y pulgones demostraría la capacidad de sobrevivencia de los pulgones en un ambiente sin gravedad. El otro dispositivo transportaba las chinitas en un compartimento especial que se abriría una vez que el transbordador estuviera en el espacio, para comprobar que las chinitas podían controlar una plaga de pulgones fuera de la Tierra. Desde los laboratorios de la NASA, las estudiantes monitoreaban el comportamiento de las chinitas y esperaban atentas el momento cúlmine de la investigación.

EL VUELO DE LAS CHINITAS

Cuando el transbordador Columbia llegó a la altura espacial, los pulgones estaban vivos y alimentándose de las plantas; se habían reproducido y multiplicado; la primera parte se había desarrollado de acuerdo a lo esperado.

Cuando liberaron a las chinitas, en pocos minutos acabaron con todos los pulgones que estaban en su dispositivo. El proyecto fue un éxito rotundo.

Al regreso todo el Liceo N°1 celebró el esfuerzo y dedicación de las pequeñas científicas, cuyo proyecto puede ser fundamental para alimentar a los futuros colonos del espacio. ★



LA PROFESORA Y LAS ALUMNAS CON EL ASTRONAUTA CHILENO KLAUS VON STORCH, QUIEN COLABORÓ ACTIVAMENTE EN EL PROYECTO CON LA NASA.



Al comienzo del Universo solo había energía. Durante el Big Bang, esa energía se transformó en *quarks* que se unieron formando protones y neutrones, la materia prima de los núcleos atómicos. Luego de la gigantesca explosión, los primeros átomos en aparecer fueron el helio y el hidrógeno.

En algunas zonas del Universo se produjeron lugares con mayor densidad y que darían lugar a la formación de estrellas y galaxias.

Las fusiones nucleares dentro de esas estrellas

produjeron nuevos átomos más pesados y complejos como el carbono, el oxígeno o el hierro.

Cuando esas estrellas murieron o explotaron como supernovas, expandieron su precioso contenido de átomos por todo el Universo, con el que se formaron nuevas estrellas y planetas como la Tierra.

El carbono, el hierro y el calcio que están en nuestra sangre y huesos y que hacen funcionar nuestro cerebro y músculos, son los mismos que se originaron en las explosiones nucleares al interior de las estrellas. ★

¿Qué hay en una estrella? Nosotros mismos. Todos los elementos de nuestro cuerpo y del planeta estuvieron en las entrañas de una estrella. Somos polvo de estrellas.

Estracto de
CANTO CÓSMICO
Ernesto Cardenal

Yo hablo en nombre de un astro
por nadie conocido
Hablo en una lengua mojada
en mares no nacidos
Con una voz llena de eclipses y distancias
Solemne como un combate
de estrellas o galeras lejanas
Una voz que se desfonda
en la noche de las rocas
Una voz que da la vista
a los ciegos atentos

**Estracto de
ALTAZOR O EL VIAJE EN PARACAÍDAS
(CANTO II)
Vicente Huidobro**

LO ESENCIAL De LOS ECLIPSES

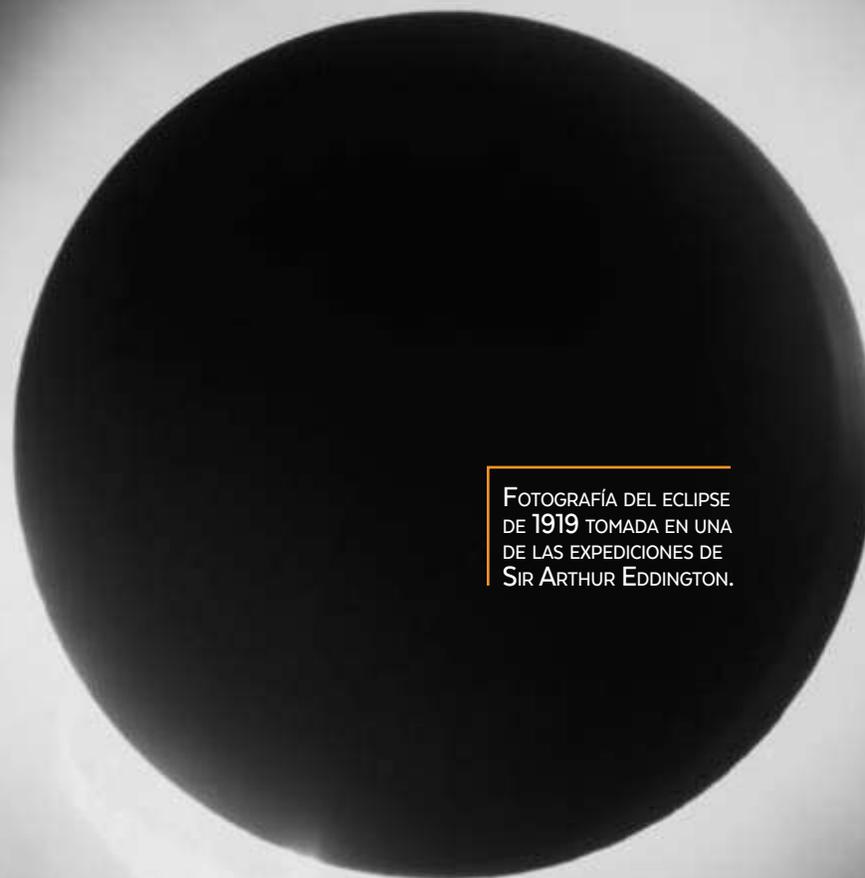
LOS HECHOS CELESTES EXTRAORDINARIOS COMO EL PASO DE UN COMETA O LA OCURRENCIA DE UN ECLIPSE, SOLÍAN CAUSAR TEMOR ENTRE LAS CULTURAS ANTIGUAS. DE ALLÍ SURGIERON DISTINTOS TIPOS DE LEYENDAS, SUPERSTICIONES Y MITOS QUE TAMBIÉN ESTÁN PRESENTES EN EL FOLCLOR CHILENO.



En Chile y el mundo muchos creían que los eclipses tenían diversas influencias nefastas, como que afectaban a las mujeres embarazadas y sus futuros bebés. Mientras sucedía el eclipse recomendaban no palpase la barriga porque la criatura podía nacer con una mancha en algún lugar del cuerpo. O no mirar al cielo durante cuatro minutos y medio porque el bebé nacería con cola de animal, o evitar comer frutas y verduras el día del eclipse si no se quería tener mala suerte de por vida. En general en todas las culturas antiguas y primitivas más actuales auguraban catástrofes, calamidades, malas cosechas y pérdidas en el ganado.

El astrónomo inglés Arthur Stanley Eddington, coordinó dos expediciones a Santo Tomé y Príncipe (pequeño país insular africano), y Sobral en Brasil, para realizar una serie de placas fotográficas que permitieran comprobar la teoría que Albert Einstein había formulado 4 años antes. Debido a las malas condiciones meteorológicas lograron realizar solo diez placas fotográficas de calidad aceptable para realizar las mediciones astronómicas.

De regreso en Londres, luego de comparar los resultados de ambas misiones, se anunció la sorprendente comprobación empírica de que la luz de las estrellas se curvaba cuando pasaba cerca del Sol, validando la predicción de la Teoría General de la Relatividad que afirmaba que los rayos de luz debían desviarse el doble del ángulo predicho por la teoría de Newton en presencia de un campo gravitacional.



FOTOGRAFÍA DEL ECLIPSE DE 1919 TOMADA EN UNA DE LAS EXPEDICIONES DE SIR ARTHUR EDDINGTON.

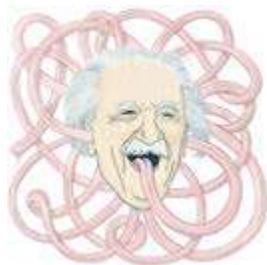
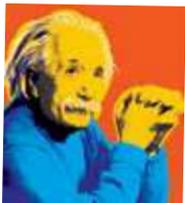
ESTE ES EL TELESCOPIO QUE USARON EN SOBRAL, BRASIL, PARA TOMAR LAS FOTOS QUE COMPROBARON LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD DE EINSTEIN.

UN TELESCOPIO ASTROGRÁFICO CON APERTURA DE 33 CM, DISEÑADO PARA FOTOGRAFIAR POSICIONES DE ESTRELLAS CON ALTA PRECISIÓN. EL ESPEJO QUE LE REFLEJABA LA IMAGEN SE MOVÍA EN SENTIDO CONTRARIO AL MOVIMIENTO DE LA TIERRA PARA MANTENER LA IMAGEN ENFOCADA.

LA PLACA FOTOGRÁFICA, A UN COSTADO, FUE LA QUE TOMÓ LA FOTOGRAFÍA DEL ECLIPSE PRESENTADO EN LA PÁGINA ANTERIOR.

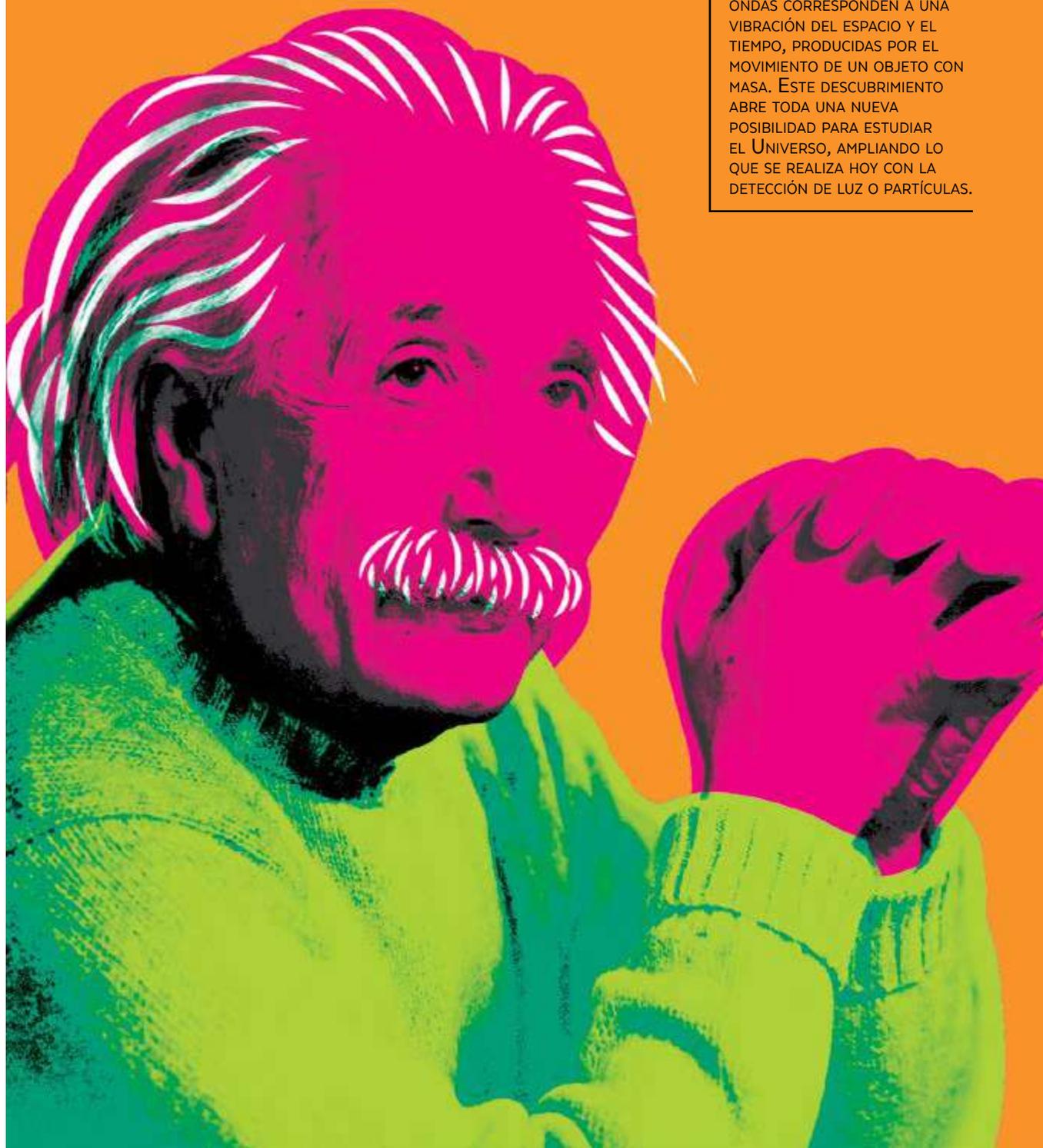
LOS ESPEJOS QUE ALIMENTAN LA IMAGEN A LA CÁMARA.





LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN ENLOQUECIERON CON EL ANUNCIO. EL *LONDON TIMES* TITULÓ “REVOLUCIÓN EN LA CIENCIA, NUEVA TEORÍA DEL UNIVERSO, CAEN LAS IDEAS DE NEWTON” Y EL *NEW YORK TIMES* “LA LUZ TORCIDA EN EL UNIVERSO. HOMBRES DE CIENCIA EXPECTANTES CON RESULTADOS DE OBSERVACIONES DEL ECLIPSE”. DE ESA MANERA, SE INAUGURÓ UNA RELACIÓN DE ENCANTAMIENTO DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN POR EINSTEIN, QUIEN SE TRANSFORMÓ EN UN ÍCONO POPULAR Y CASI SINÓNIMO DE LA CIENCIA DEL SIGLO XX. ★

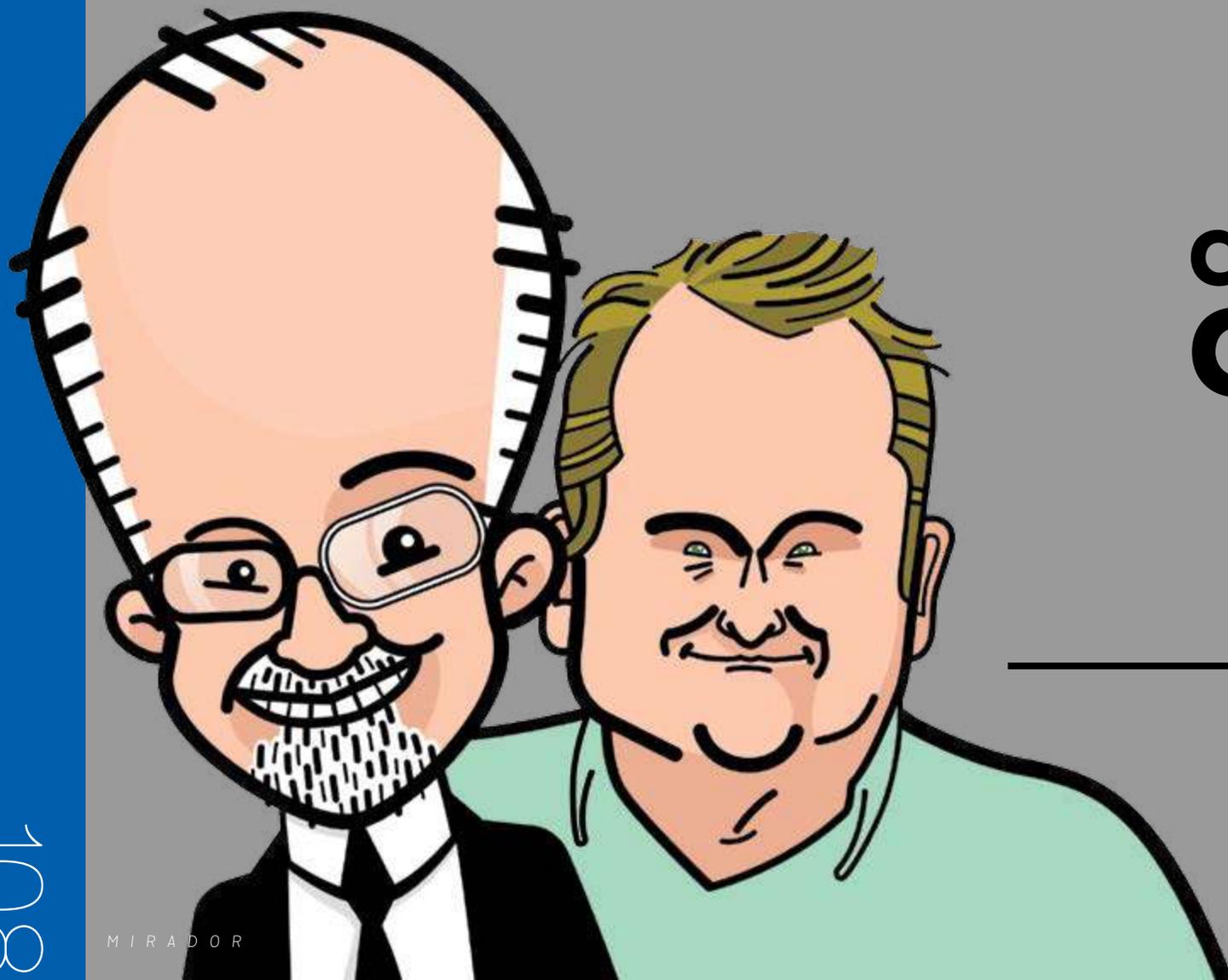
100 AÑOS DE ESPERA
 A UN SIGLO DE SER PREDICHAS POR EINSTEIN, LAS ONDAS GRAVITACIONES FUERON POR FIN DETECTADAS. ESTAS ONDAS CORRESPONDEN A UNA VIBRACIÓN DEL ESPACIO Y EL TIEMPO, PRODUCIDAS POR EL MOVIMIENTO DE UN OBJETO CON MASA. ESTE DESCUBRIMIENTO ABRE TODA UNA NUEVA POSIBILIDAD PARA ESTUDIAR EL UNIVERSO, AMPLIANDO LO QUE SE REALIZA HOY CON LA DETECCIÓN DE LUZ O PARTÍCULAS.



Pero no importa que los días felices
 sean breves
 como el viaje de la estrella
 desprendida del cielo,
 Pues siempre podremos reunir sus recuerdos,
 así como el niño castigado en el patio
 encuentra guijarros
 para formar brillantes ejércitos.
 Pues siempre podremos estar en un día que
 no es ayer ni mañana,
 mirando el cielo nacido tras la lluvia
 y escuchando a lo lejos
 un leve deslizarse de remos en el agua.

Extracto de
BAJO EL CIELO NACIDO TRAS LA LLUVIA
 Jorge Teillier

COLABORACIÓN CIENTÍFICA



COLABORACIÓN

EL PREMIO NOBEL

1

2

P. 110

P. 112

1

COLABORACIÓN

Durante años, los chilenos José Maza y Mario Hamuy, premios nacionales de Ciencias Exactas en 1999 y 2015, respectivamente, han escudriñado el cielo desde los distintos observatorios de Chile en busca de las supernovas, esas estrellas masivas que al morir producen una explosión gigantesca que dura solo algunas semanas pero cuyo brillo es miles de millones de veces superior al que tuvieron durante toda su vida.

Entre finales de los ochenta y comienzos de los noventa, Maza y Hamuy trabajaron juntos en un proyecto vinculado con las supernovas. Instalado en cerro Tololo, Mario Hamuy realizaba placas fotográficas de aquellos pedazos del cielo donde sospechaba que se pudiera estar produciendo la muerte fulgurante de una estrella y las enviaba a cerro Calán. Allí, José Maza y su equipo, analizaban con prisa y detalle las imágenes; si se confirmaba la presencia de una supernova enviaban un fax a Hamuy avisando del hallazgo. En cerro Tololo, Hamuy volvía a estudiarla y registrarla, esta vez utilizando un telescopio equipado con tecnología CCD, mucho más sensible a la luz y que al tener formato digital puede guardarse en un computador y ampliarse. Con esa metodología, el equipo Calán-Tololo logró identificar 50 supernovas en 3 años.

EL PROPÓSITO DE MAZA Y HAMUY NO ERA SOLO CONTAR SUPERNOVAS. LA INVESTIGACIÓN ASTRONÓMICA CALÁN-TOLOLO DESARROLLADA ENTRE 1989 Y 1996 BUSCABA ESTABLECER UN PATRÓN LUMÍNICO QUE PERMITIERA MEDIR CON PRECISIÓN LA DISTANCIA ENTRE LAS GALAXIAS. ESTO ERA FUNDAMENTAL PARA RESPONDER UNA DE LAS GRANDES PREGUNTAS DE LA ASTRONOMÍA DEL SIGLO XX: ¿A QUÉ VELOCIDAD SE EXPANDE EL UNIVERSO?

La observación y análisis de las supernovas mostraron que no eran tan homogéneas como se pensaba y que sus intensidades variaban de manera significativa entre unas y otras. La sola observación de las supernovas no permitía establecer un patrón, pues subsistía una de las grandes dudas de la astronomía.

Cuando se ve algo muy brillante en el cielo, ¿es porque su luz es muy intensa o se ve así porque está más cerca? Maza y Hamuy, luego de observar el fin de varias supernovas idearon una fórmula matemática para medir las distancias estableciendo una correlación entre el brillo final y el tiempo que demoraba en extinguirse.

LA SUPERNOVA 1006 VISTA EN ONDAS DE RADIO (ROJO), RAYOS X (AZUL) Y LUZ VISIBLE (AMARILLO). TOMADA POR EL TELESCOPIO CURTIS SCHMIDT, EL MISMO UTILIZADO POR MAZA Y HAMUY.



2

EL PREMIO NOBEL

En 1998, los físicos Adam G. Riess, Saul Perlmutter y Brian Schmidt, quienes lideraban el Supernova Cosmology Project de la Universidad de Harvard se apoyaron en la ecuación matemática de Hamuy y Maza y los datos de varias de las supernovas que habían descubierto en los cielos del Tololo, lo que les permitió concluir que la distancia entre ellas demostraba la expansión acelerada del Universo.

Cerca de una década más tarde, el grupo de investigadores de Harvard obtendría en 2011 el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre la expansión acelerada del Universo a través de observaciones de supernovas distantes. En la justificación del Premio, la Real Academia de Ciencias de Suecia reconoce los trabajos de Maza y Hamuy como un aporte en el camino que inaugura una nueva etapa para la astronomía y abre un nuevo espacio para el conocimiento y la comprensión de nuestro Universo.

1996

DESCUBRIMIENTO DE LA FÓRMULA

QUE MIDE LA DISTANCIA ENTRE GALAXIAS

JOSÉ MAZA Y MARIO HAMUY

1998

APLICACIÓN DE LA FÓRMULA

PARA COMPROBAR SU TEORÍA

ADAM RIESS

2011

PREMIO NOBEL
ADAM RIESS,
BRIAN SCHMIDT Y
SAUL PERLMUTTER

CRONOLOGÍA DE UN DESCUBRIMIENTO



“Estimados José, Mario, (...)”

Quisiera hacer un reconocimiento formal a la contribución seminal que ustedes hicieron al descubrimiento de la aceleración de la expansión del Universo, hallazgo por el que Adam, yo y Saul recibimos el Premio Nobel de Física 2011. Vuestro trabajo en el proyecto Calán-Tololo no solo sirvió como una base fundamental para el uso de las supernovas Tipo Ia como indicadores de distancia, sino que también sus datos fueron usados por ambos equipos (el High-Z Team y el Supernova Cosmology Project) como ancla en la parte de los corrimientos al rojo pequeños del diagrama de Hubble. Nuestras mediciones no habrían sido posibles sin las muestras de supernovas obtenidas por el Proyecto Calán-Tololo, es más, no habríamos siquiera creado el High-Z Team, de no haber sido por vuestro trabajo que demostró la utilidad de las supernovas Tipo Ia.

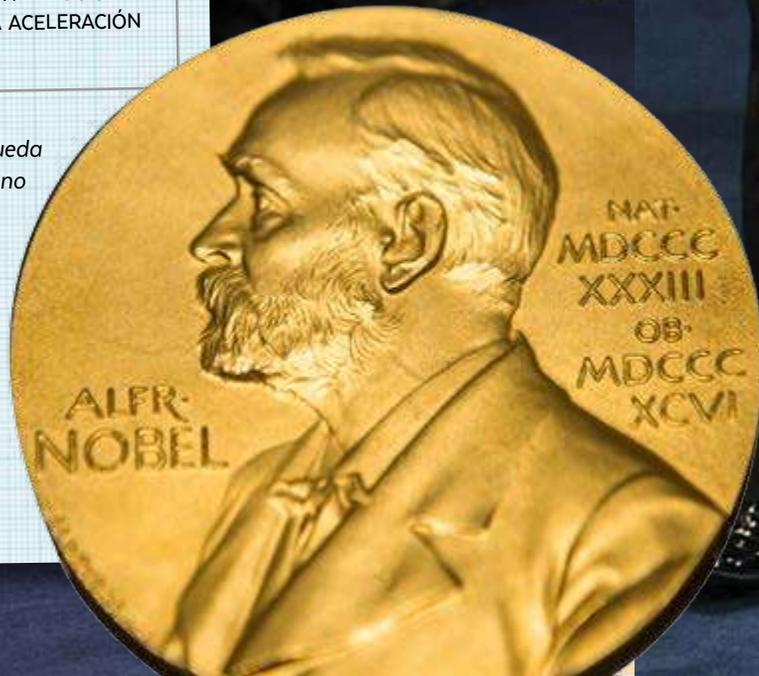
También quisiera hacer un reconocimiento al trabajo que José y Mario realizaron durante los primeros años del High-Z Team. Esos fueron momentos en que el High-Z Team estaba colgando de un hilo, y sus esfuerzos –en esos instantes– fueron esenciales para el éxito final del grupo.

EN UN MUNDO PERFECTO, TODOS NOSOTROS HABRÍAMOS COMPARTIDO EL PREMIO DE UNA MANERA IGUALITARIA, PERO EN NUESTRO MUNDO IMPERFECTO, YO HARÉ TODO LO QUE SEA NECESARIO PARA QUE DURANTE LOS AÑOS VENIDERS EL MUNDO COMPRENDA SU CONTRIBUCIÓN FUNDAMENTAL AL DESCUBRIMIENTO DE LA ACELERACIÓN DE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO.

Si hubiese acciones específicas que yo pueda hacer para ayudarles en Chile, por favor no duden en indicármelo. Estoy dispuesto, a pesar de los inconvenientes acaecidos, a ayudar para que todos saquemos lo mejor de todo esto.

Sinceramente agradecido,

**Brian P. Schmidt
Premio Nobel de Física 2011 ★**



ADAM G. RIESS,
BRIAN SCHMIDT Y
SAUL PERLMUTTER,
GANADORES DEL PREMIO
NOBEL DE FÍSICA 2011.





¿TENDRÁ UN

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

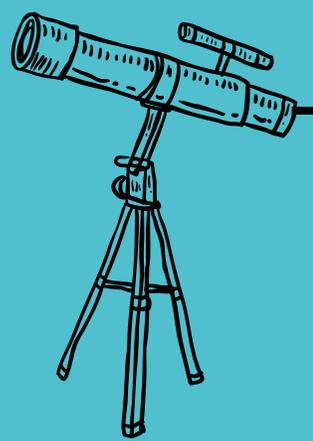
LA CIENCIA ES DINÁMICA Y ESTÁ EN PERMANENTE CONSTRUCCIÓN, LAS VERDADES CIENTÍFICAS VAN CAMBIANDO EN LA MEDIDA QUE APARECEN NUEVAS POSIBILIDADES DE OBSERVACIÓN Y VERIFICACIÓN O SURGEN NUEVAS TEORÍAS O MODELOS QUE REFUTAN LAS CREENCIAS QUE SE HABÍAN CONSTRUIDO HASTA ESE MOMENTO. CADA ÉPOCA TIENE PREGUNTAS PROPIAS, LOS CIENTÍFICOS INTENTAN RESPONDERLAS Y CREAR NUEVOS ESPACIOS DE CONOCIMIENTO, PERO SIEMPRE CONSTRUYEN SUS TEORÍAS SOBRE LOS APORTES DE QUIENES LES PRECEDIERON. EL ESTUDIO DEL COSMOS ILUSTR CLARAMENTE ESA EVOLUCIÓN DE LAS TEORÍAS AFIRMÁNDOSE EN LA OBSERVACIÓN, COMPROBACIÓN Y LA REFUTACIÓN DE LAS ANTERIORES.



¿TENDRÁ UN ORIGEN el UNiVERSO?

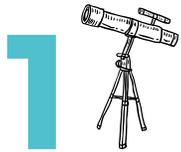
Seguramente, arden grandes mares rojos, y un sol de piedra, negro, por ejemplo, hincha la soledad astronómica con su enorme fruto duro, tal vez la tierra es un gran cristal triangular, otra vida y otro tiempo gravitan; crecen, demuestran su presencia, atornillados a la arquitectura que canta su orden inaudito.

Extracto de ECUACIÓN: CANTO DE LA FÓRMULA ESTÉTICA
Pablo de Rokha



LA SORPRESA DE QUE EL UNIVERSO SE MUEVE	LOS CONFLICTIVOS INICIOS DEL BIG BANG	LA HISTORIA ES CADA VEZ MÁS CLARA...	¿TENDRÁ TODO UN FINAL?	¿QUÉ VENDRÁ?
1	2	3	4	5
P. 118	P. 122	P. 126	P. 128	P. 130

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5



LA SORPRESA DE QUE EL UNIVERSO SE MUEVE

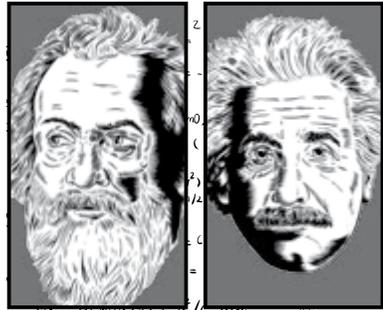
Para nosotros, que estamos a comienzos del siglo XXI, ya es parte de la cultura popular el que el Universo está en movimiento de constante expansión. Pero antes de que Edwin Hubble lo observara armado de su telescopio, los científicos pensaban que el Universo era infinito, inmutable y eterno.

ESA CONCEPCIÓN SE LLAMABA TEORÍA DEL UNIVERSO ESTÁTICO Y SE FUNDAMENTABA EN LA INMOVILIDAD DE LAS ESTRELLAS, QUE CADA NOCHE PARECÍAN PERMANECER EN UN MISMO LUGAR.

El universo Estático era problemático tanto para la teoría de Newton como para la de Einstein. De hecho, ya en 1823, Heinrich Olbers había formulado una paradoja basada en la concepción estática del Universo. Si el cosmos es infinito, eterno y estático no importa hacia donde miremos, siempre habrá una estrella. Entonces ¿por qué es oscuro el cielo nocturno? Notablemente, fue Edgar Allan Poe el primero en anticipar el Big Bang para resolver este misterio. En su texto "Eureka" nos dice que la distancia a las estrellas más lejanas es tan grande que su luz aún no han tenido tiempo de alcanzarnos. Esto solo es posible, claro, si el Universo no es eterno, de lo contrario la luz habría tenido mucho tiempo. Aquí Edgar Allan Poe

nos dice que para que cielo pueda ser oscuro de noche, el Universo no puede ser inmutable y debe haber tenido un comienzo.

Para transformar estas ideas vagas en ciencia, fueron necesarias las cuidadosas observaciones del cosmos que el siglo XX permitió, además del desarrollo de teorías muy precisas en la descripción de la naturaleza tales como la Relatividad General, las teorías del núcleo atómico y de la física que enciende las estrellas. Observación y pensamiento, que desde tiempo de Galileo, obran de la mano en la comprensión de nuestro hogar cósmico.



$$\sum m_i v_i = \sum m_i v_f \quad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$\nabla p = \rho \frac{dv}{dt} + (v \cdot \nabla) v \quad m = m_0 / \sqrt{1-u^2/c^2} \quad pV = \frac{n}{N_A} RT$$

$$= m_0 / [(1-v^2/c^2)]^{1/2}; m_0 E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad p = n \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V} \rho$$

$$r = \frac{2G}{c^2} \rho r \quad \omega = 2\pi f \quad \eta \rightarrow \eta^* = \frac{v}{c} \left(\frac{m_0}{m} - 1 \right) + \dots \quad PV = nRT$$

$$du \quad u^2 dm = c^2 dm \quad \Delta T_V = -\frac{1}{2c^2} \sum_{i=1}^N v_i^2 \Delta T_i \quad \text{---} \quad \text{---} \quad \text{---}$$

$$K = \int c m u du \quad E = mc^2 \quad m c^2 - m_0 c^2$$

$$D = \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} \quad u = \frac{v}{c} \quad (1-v^2/c^2)^{1/2} \approx 1 - 1/2 v^2/c^2$$

$$\frac{dE_0}{c^2} = x = x_0 (1 - [(v^2)/c^2])^{1/2} \quad m_0 du \quad u^2 dm = c^2 dm \quad P = \frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$K = \int F dx \quad \eta \rightarrow \eta^* \quad \frac{(c+v)c}{(c-v)c} = c \quad p = n \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V} \rho \quad pV = \frac{n}{N_A} RT$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad m_1 = m_0 / [(1-v^2/c^2)]^{1/2} \quad F = d(mu) / dt$$

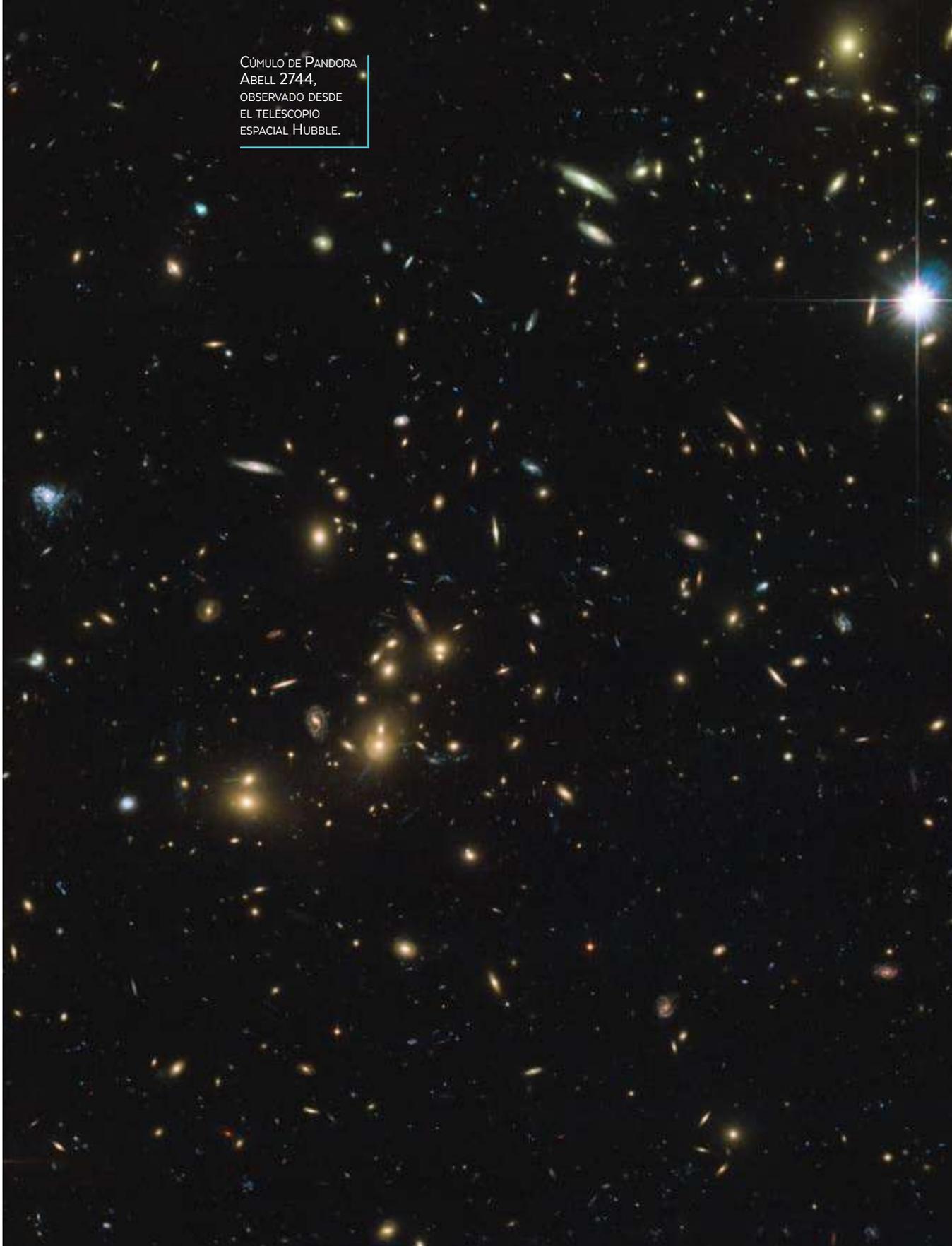
$$\frac{mv}{\sqrt{1-v^2/c^2}} = \frac{d(m_0 u / \sqrt{1-u^2/c^2})}{dt} \quad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$\sum m_i v_i = \sum m_i v_f \quad \Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$p = \rho \frac{dv}{dt} + (v \cdot \nabla) v \quad m = m_0 / \sqrt{1-u^2/c^2} \quad pV = \frac{n}{N_A} RT$$

$$m_0 / [(1-v^2/c^2)]^{1/2}; m_0 E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad p = n \frac{RT}{V} = \frac{RT}{V} \rho$$

CÚMULO DE PANDORA
ABELL 2744,
OBSERVADO DESDE
EL TELESCOPIO
ESPACIAL HUBBLE.



Hace 100 años, los cosmólogos modernos se habrían apoyado en las ecuaciones de la Teoría General de la Relatividad de Einstein para intentar explicar cómo era el Universo: al resolver la ecuación de Einstein habrían concluido que estaba en movimiento, ya sea expandiéndose o condensándose. Vestu Siphler, desde Estados Unidos y Carl Wilhelm, desde Estrasburgo, observando el corrimiento al rojo de ciertas nebulosas, es decir hacia el final del espectro, comprobaron que se alejaban de la Tierra.

Los cosmólogos, físicos y astrónomos, a través de la teoría y la observación habían logrado establecer una nueva verdad científica: el Universo estaba en expansión.

En los años veinte, el astrónomo Edwin Hubble observaba las nebulosas a través del telescopio más potente de esa época, ubicado en Monte Wilson en Los Angeles, California.

SE SUPONÍA QUE TODAS LAS NEBULOSAS ERAN PARTE DE NUESTRA GALAXIA, PERO HUBBLE DISTINGUIÓ QUE MUCHAS PERTENECÍAN A OTRAS GALAXIAS Y QUE LA VÍA LÁCTEA NO ERA MÁS QUE UNA ENTRE MILLONES DE GALAXIAS QUE SE ALEJABAN ENTRE SÍ Y QUE MIENTRAS MÁS LEJOS SE ENCONTRARAN, EL MOVIMIENTO ERA CADA VEZ MÁS RÁPIDO.

Con estas observaciones, en 1929, formuló su teoría sobre la expansión del Universo que hoy se conoce como Ley de Hubble.

Pero como sucede en los misteriosos caminos de la ciencia, apareció una carta extraviada que ponía en duda a Hubble como creador de dicha ley. Según consta en dicho documento, 2 años antes, en 1927, en Bélgica, monseñor Georges Lemaître, astrónomo y sacerdote, habría sido quien primero postuló la idea de la expansión. Y ese no fue su único descubrimiento.



EDWIN HUBBLE.

DOS ASTRONAUTAS REPARAN EL TELESCOPIO HUBBLE EN EL ESPACIO.



2 LOS
CONFLICTIVOS
INICIOS DEL
BIG BANG

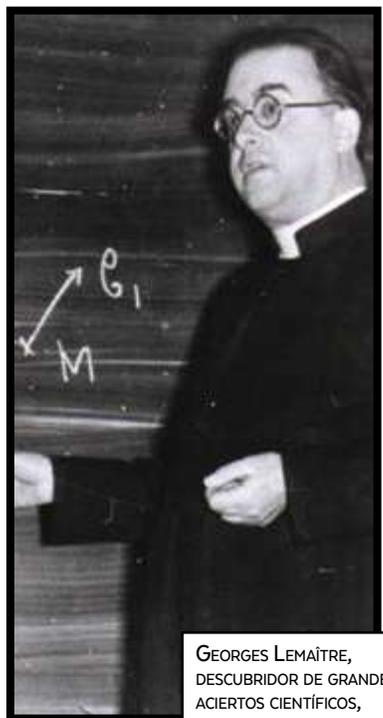
1 **2** **3** **4** **5**

GEORGES LEMAÎTRE, SE PLANTEÓ LA HIPÓTESIS INVERSA DE LA EXPANSIÓN: SI A MEDIDA QUE AVANZA EL TIEMPO, EL UNIVERSO SE EXPANDE, ESO SIGNIFICARÍA QUE SI UNO RETROCEDIERA EN EL TIEMPO EL UNIVERSO SE IRÍA HACIENDO CADA VEZ MÁS PEQUEÑO HASTA LLEGAR A UN ÁTOMO PRIMORDIAL QUE CONCENTRARÍA TODA LA MATERIA.

Lemaître supuso que en algún momento ese átomo primordial explotó, iniciando el proceso de expansión que nos llevó al Universo como lo conocemos. Esa explosión habría lanzado rastros que él llamó “rayos cósmicos” que transportarían por el espacio partículas cargadas de la desintegración de aquel átomo inicial.

Quizás como revancha de los viejos pleitos entre la Iglesia y la ciencia que terminaron con las condenas de Galileo Galilei y Giordano Bruno, muchos científicos rechazaron la teoría del átomo inicial de Lemaître, argumentando que atribuirle un origen al Universo era más propio de la religión que de la ciencia. En forma despectiva, en las convenciones científicas se referían a Lemaître como el hombre del “Big Bang”, o el de la gran explosión.

Pero lo que fue motivo de risa luego se transformó en una nueva verdad



GEORGES LEMAÎTRE, DESCUBRIDOR DE GRANDES ACIERTOS CIENTÍFICOS, ENTRE ELLOS LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO.

compartida. Tanto la Teoría del Big Bang como la idea de las huellas de radiación de la explosión inicial sumaron adherentes y validez universal.

El físico teórico y cosmólogo ruso George Gamow continuó la difusión de las teorías de Lemaître, aunque sostuvo que en el comienzo dominaba la radiación y no la materia.

GAMOW PREDIJO QUE ESE UNIVERSO INCANDESCENTE DEL INICIO TENÍA QUE HABER DEJADO UNA HUELLA DE MICROONDAS, APOSTANDO A QUE TENÍA QUE SER POSIBLE OBSERVAR UN FONDO DE RADIACIÓN CÓSMICA INVISIBLE A LOS OJOS HUMANOS.

REPRESENTACIÓN ARTÍSTICA DE CÓMO SE VERÍAN LAS GALAXIAS MIL MILLONES DE AÑOS DESPUÉS DEL BIG BANG.

INVISIBLE, PERO DETECTABLE

En 1964, por serendipia, dos astrofísicos pudieron percibir ese fondo de radiación.

ARNO PENZIAS Y ROBERT WILSON INSTALABAN UN RADIÓMETRO PARA EXPERIMENTOS DE ASTRONOMÍA Y COMUNICACIÓN SATELITAL CUANDO REGISTRARON UNA ANOMALÍA, UN RUIDO MOLESTO. POR MÁS QUE AFINARON SU INSTRUMENTO Y LO CAMBIARON DE LUGAR, EL RUIDO PERSISTÍA. SIN QUERERLO, EL MUNDO CIENTÍFICO OBSERVABA POR PRIMERA VEZ EL FONDO DE RADIACIÓN CÓSMICA DE MICROONDAS DEL QUE HABLABAN LEMAÎTRE Y GAMOW; UNA HUELLA CELESTE DEL UNIVERSO CUANDO APENAS TENÍA 380.000 AÑOS DE LOS 13.700 MILLONES DE AÑOS QUE HOY TIENE.

Arno Penzias y Robert Wilson, siguieron sus investigaciones hasta que en 1978 ganaron el Premio Nobel de Física por ese descubrimiento; la primera comprobación empírica de la teoría física desarrollada por Lemaître medio siglo atrás.

El mundo científico sigue investigando si el Universo tuvo un principio. La teoría se ha seguido completando: el Universo se habría originado desde un tamaño prácticamente nulo, momento en el cual la densidad y temperatura eran enormes. Desde ese instante evolucionó, diluyéndose y enfriándose. Entonces se formaron nubes de hidrógeno y helio.

Apareció la primera generación de estrellas en cuyos núcleos se produjeron enormes reacciones que a partir de átomos livianos, mayoritariamente hidrógeno, formaron los elementos más livianos de la tabla periódica, tales como el carbono y el oxígeno. El estallido de las estrellas en forma de supernova sintetizaron los elementos más pesados, tales como el oro o el uranio, y repartieron estos nuevos átomos por el Universo. De este modo dieron origen a estrellas de segunda generación, en donde se depositaron en sus planetas, asteroides y cometas, dando origen a la vida.

1927**TEORÍA I**

PRIMERA TEORÍA DE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

GEORGES LEMAÎTRE

SACERDOTE Y ASTRÓNOMO

1929**TEORÍA II****EDWIN HUBBLE**

PROPONE LA "LEY DE HUBBLE"

1964**PROFUNDIZÓ**

LA TEORÍA DE LEMAÎTRE

GEORGE GAMOW

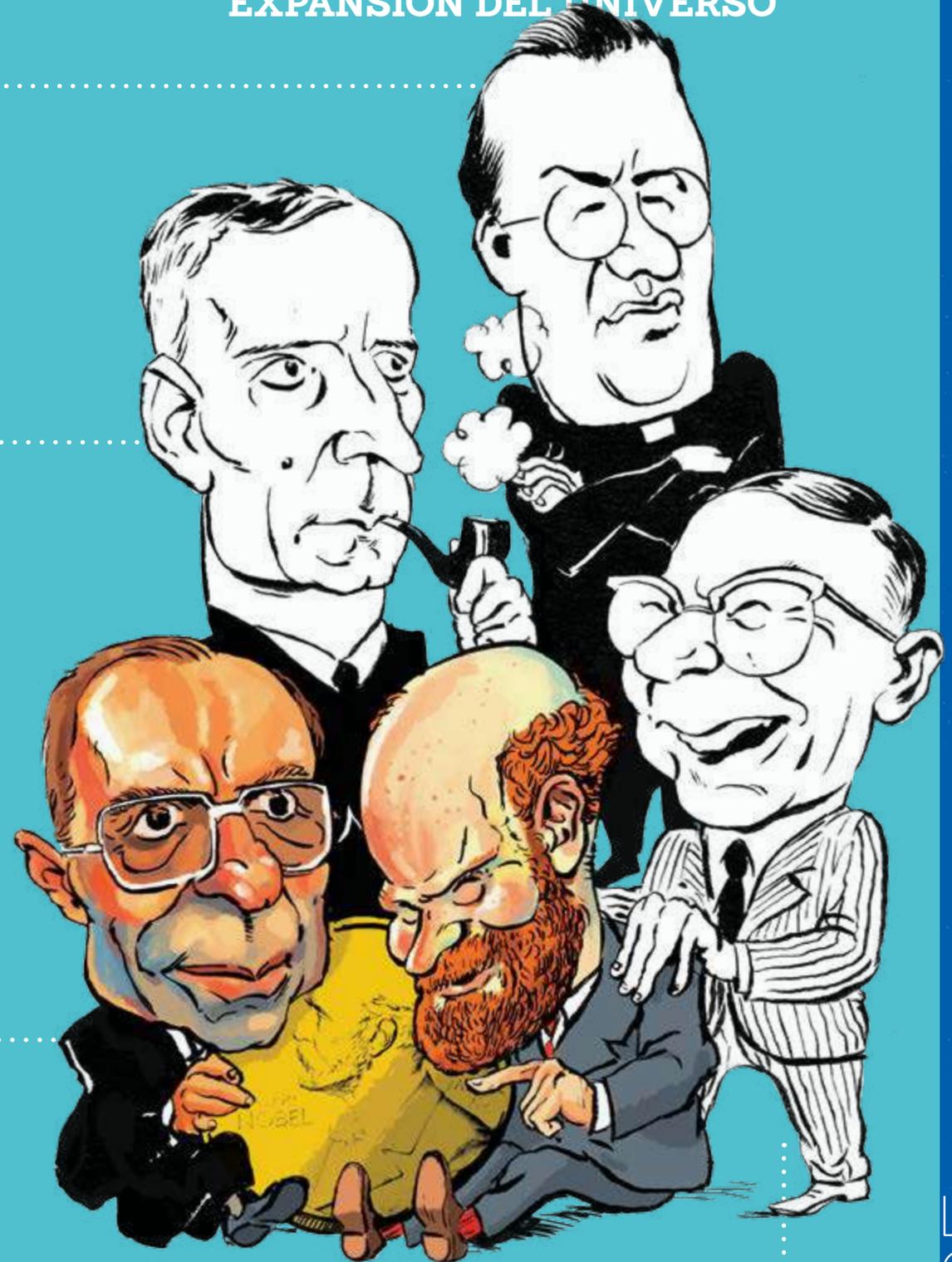
UCRANIANO, DESPUÉS NORTEAMERICANO

1978**PREMIO NOBEL**

LUEGO DE CONTINUAR ESTUDIANDO A GAMOW

ARNO PENZIAS & ROBERT WILSON

COMPROBANDO A LEMAÎTRE & HUBBLE

PENSANDO SOBRE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

3 

LA HISTORIA ES CADA VEZ MÁS CLARA, PERO FALTA EL PRÓLOGO

Si bien el Big Bang es una teoría que explica con extraordinaria precisión mucho de lo que observamos del cosmos a grandes escalas, también plantea varias preguntas que incluso hoy no podemos responder. Para los físicos es natural que así sea, ya que la expansión del Universo esconde un misterio profundo y fundamental: si viajamos hacia atrás en el tiempo, éste se vuelve cada vez más y más pequeño. Tan pequeño que si nos acercamos suficientemente a la gran explosión, su tamaño será aún inferior al de un átomo. En estas dimensiones tan pequeñas, el Universo requiere de un tratamiento particular: aquel dictado por las leyes de la mecánica cuántica, esa teoría que nos da cuenta de los fenómenos que ocurren en un mundo atómico y subatómico.

Sin embargo, los esfuerzos por encontrar una teoría cuántica que incorpore a la gravedad han sido vanos. Para entender el Universo muy temprano no podemos renunciar ni a la gravedad ni a la mecánica cuántica ya que era pesado y pequeño simultáneamente. Necesitamos una “gravedad cuántica”. Existen varias ideas en desarrollo que parecen prometedoras en cuanto a integrar estas dos teorías, como, por ejemplo, la teoría de supercuerdas, pero ninguna ha podido entregar aún una respuesta completa y satisfactoria.

Para poner a prueba las teorías que podrían unificar la gravedad y la física cuántica, necesitamos otras instancias en donde ambas teorías tengan que trabajar juntas. Además del Big Bang, los agujeros negros nos ofrecen precisamente esta instancia. Pero, ¿por qué agujeros negros? Los agujeros negros se forman al final de la vida de ciertas estrellas, cuando el combustible nuclear se agota y la gravedad induce su colapso. La enorme energía que libera el colapso hace que parte de la masa sea violentamente expulsada en una explosión llamada supernova. El resto seguirá su proceso de contracción, disminuyendo su volumen y aumentando su densidad en el proceso.

La disminución del volumen continuará, y eventualmente la masa llegará a ocupar tamaños más pequeños que un átomo. En completa analogía con el Big Bang, será necesario un tratamiento cuántico.

Fue Stephen Hawking el primero en develar las propiedades cuánticas de los agujeros negros. A principios de la década de 1970 descubrió que a pesar de que la gravedad de un agujero negro es tan intensa que ni la luz puede escapar de él, la física cuántica los obligaba a emitir luz. Es decir, los agujeros negros no serían tan negros como pensábamos. Este fenómeno es aún un misterio que los físicos intentan entender hoy armados de las ideas que van surgiendo sobre gravedad cuántica.

CADA AVANCE EN ESTA ÁREA NOS PERMITIRÁ ENTENDER UNO DE LOS MÁS IMPORTANTES ENIGMAS DE LA CIENCIA, COMO ES LA PRIMERA FRACCIÓN DE SEGUNDO EN LA HISTORIA DE NUESTRO UNIVERSO. ESA QUE HIZO POSIBLE Y DETERMINÓ TODO LO QUE SURGIÓ MÁS ADELANTE, HACIENDO POSIBLE QUE ÁTOMOS, ESTRELLAS Y GALAXIAS PUEBLÉN NUESTROS COSMOS.

PROFESOR
STEPHEN HAWKING.



4

¿TENDRÁ TODO UN FINAL?

LLAMA LA ATENCIÓN QUE LA CIENCIA DEDIQUE TANTO TIEMPO A COMPRENDER EL ORIGEN DEL UNIVERSO Y MUCHO MENOS AL FUTURO, INCLUSO A SU POSIBLE FIN.

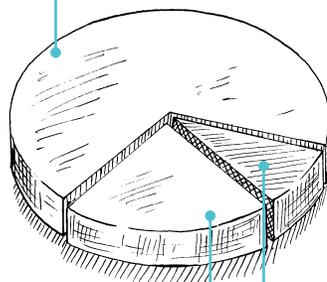
Pero esa tendencia está cambiando. Las investigaciones de José Maza, Mario Hamuy y el grupo de investigadores de Harvard laureado con el Premio Nobel de Física en 2011 permitieron comprobar la expansión acelerada y la existencia de la energía oscura. Esto abrió un nuevo territorio de preguntas e investigaciones para la astronomía y la astrofísica.

Hoy los científicos piensan que cuando el Universo era más joven, la fuerza de gravedad dominaba sin contrapeso y contenía la velocidad de la expansión. A partir de los 7 mil millones de años, parece haber comenzado el dominio de una fuerza que aleja a los objetos entre sí, haciendo que el Universo se expanda cada vez más rápido.

Esta nueva fuerza reinante se llama energía oscura. Su nombre no tiene que ver con la saga de la Guerra de las Galaxias, con una fuerza malévola ni con el fin del mundo, sino simplemente con no saber cómo nombrar aquello que no vemos. Nombres más apropiados podrían ser fuerza de repulsión, energía del vacío o incluso, energía blanca o de la expansión.

Hay astrónomos que piensan que si la energía oscura sigue su acción,

ENERGÍA OSCURA = 74% DEL UNIVERSO. Es la mayor parte de la energía del Universo y la responsable de su expansión acelerada.



MATERIA OSCURA = 21% DEL UNIVERSO. Muy abundante en las periferias de las galaxias. No se sabe qué es la materia oscura pero sí se observa su presencia por cómo afecta el movimiento de otros cuerpos celestes a gran escala.

MATERIA CONOCIDA = 5% DEL UNIVERSO Aquella de los átomos, las estrellas, las rocas, las plantas y los seres humanos.

expandiendo el Universo, el futuro se anuncia solitario y oscuro. Las galaxias que hoy vemos desde la Tierra se alejarán de la Vía Láctea hasta desaparecer en el horizonte. La mayoría de las estrellas ya se formaron y se calcula que solo queda un 5% por nacer. Poco a poco la luz de las estrellas se irá extinguiendo. Poco a poco, nuestra galaxia y el Universo se apagarán.

Y hay quienes especulan que si la energía oscura alcanzara tanta fuerza incluso podría llegar a desintegrar los núcleos atómicos, con lo que se formaría un universo de partículas sin estructuras.

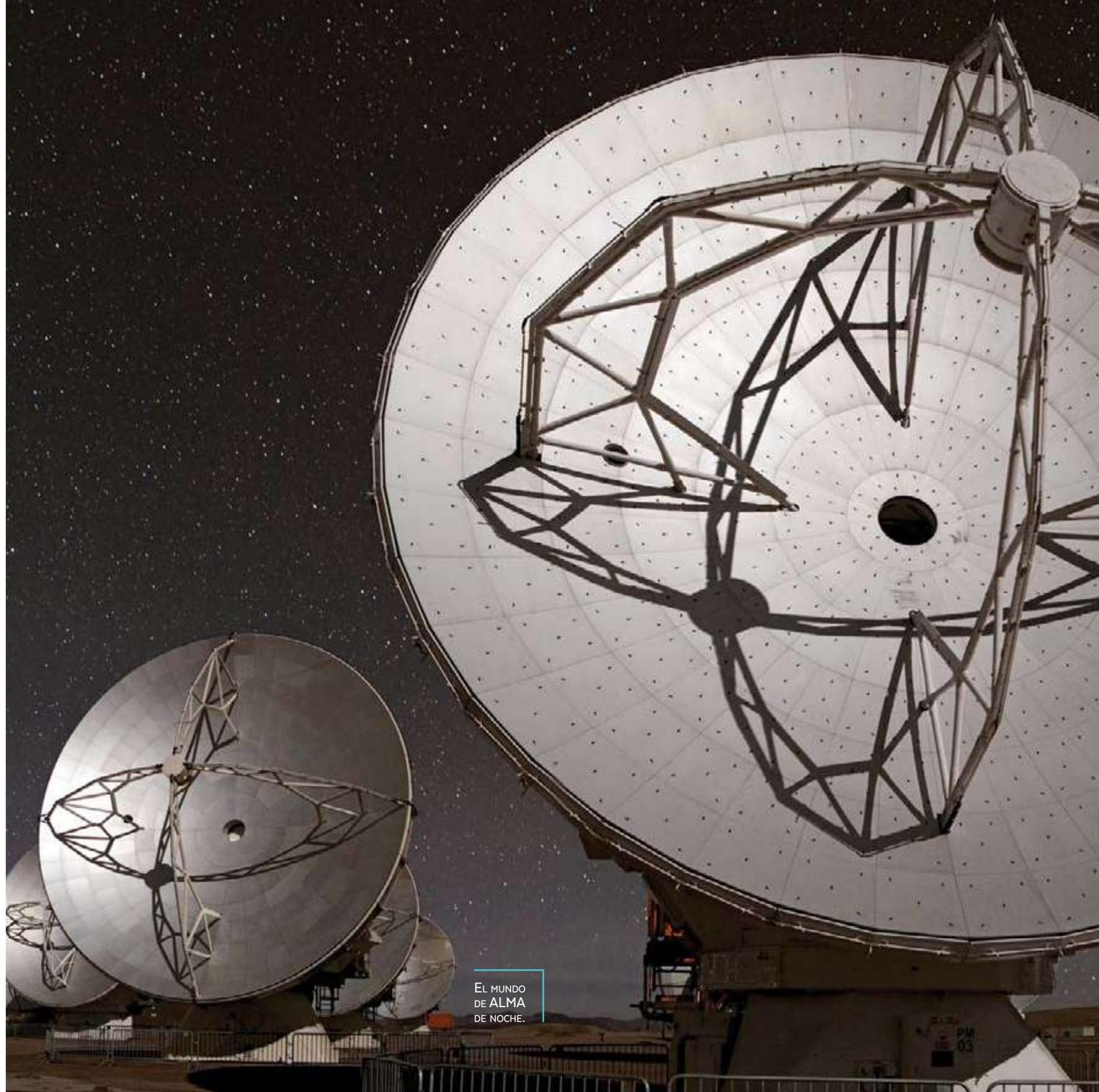
ESTA IMPRESIÓN ARTÍSTICA MUESTRA LA VÍA LÁCTEA. EL HALO AZUL DE MATERIA QUE RODEA LA GALAXIA INDICA LA DISTRIBUCIÓN ESPERADA DE LA MISTERIOSA MATERIA OSCURA, QUE EXPLICARÍA LAS PROPIEDADES DE ROTACIÓN DE LA GALAXIA Y CONSTITUYE UN INGREDIENTE ESENCIAL DE LAS ACTUALES TEORÍAS DE FORMACIÓN Y EVOLUCIÓN DE LAS GALAXIAS.

5 

¿QUÉ VENDRÁ?

La cosmología es una ciencia joven, cuyo origen estaría vinculado a la Teoría General de la Relatividad de Einstein y que ha reunido a astrofísicos teóricos y astrónomos empíricos en la búsqueda de respuestas a nuestras preguntas esenciales. En solo 100 años, apoyándose en la potencia de la astrofísica y en los increíbles desarrollos tecnológicos, la Humanidad ha logrado observar el cielo hasta límites inimaginables hace 500 años, cuando Copérnico postuló su teoría heliocéntrica del Universo.

Hoy, CONOCEMOS Y TENEMOS TEORÍAS, EVIDENCIAS Y MODELOS CADA VEZ MÁS PRECISOS SOBRE LAS DIMENSIONES, EL MOVIMIENTO Y LA EDAD DEL UNIVERSO... HASTA QUE ALGÚN NUEVO TEÓRICO CON UN COMPUTADOR O QUIZÁS UN ASTRÓNOMO DESDE LOS CIELOS DEL NORTE DE CHILE, DESCUBRA UNA NUEVA VERDAD QUE REINTERPRETE NUESTRO CONOCIMIENTO ACTUAL Y NOS HAGA AVANZAR OTRO PASO EN LA AVENTURA DEL SABER. ★



EL MUNDO
DE ALMA
DE NOCHE.

ANEXOS

EL
CIE
1. LO

ÍNDICE FOTOGRAFICO



- 10-11** Una larga serie de exposición en la noche capturó estas impresionantes estrellas sobre el Observatorio de Paranal. (ESO/B. Tafreshi twanight.org)
- 12-13** Alcanzar el cielo desde Chile. Ilustración de la evolución del Chilesaurio hasta nuestra época, como siempre hemos mirado hacia el cielo. (Marcelo Pérez Dalannays)
- 14-15** El centro del complejo nebuloso asociado N44 en la Gran Nube de Magallanes con más detalle. (ESO)
- 16** Plutón. Imagen tomada desde la sonda espacial New Horizons cuando pasó a 450.000 km de distancia del planeta. (NASA/JHUAPL/SwRI)
- 17** Atardecer en Marte. Primera imagen a color captada por el robot Curiosity desde el Cráter Gale. (NASA/JPL-Caltech/MSSS/Texas A&M Univ)
- 18-19** Superficie del cometa Churyumov-Gerasimenko. Imágenes captadas por la sonda Philae de la misión Rosetta. (ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SS)
- 21** Modelo Geocéntrico de Ptolomeo. (Print Collector/Getty Images)
- 23** Modelo Heliocéntrico Copernico. (Agostini Picture Library/Getty Images)
- 24** Ilustración de Giordano Bruno en llamas. (Felipe Muhr)
- 25** El Cráter Giordano Bruno de 22 km de diámetro se formó en la Luna en un tiempo desconocido. (NASA/GSFC/Arizona State University)
- 26** Réplica de uno de los primeros telescopios hechos por Galileo Galilei (1564-1642) después de la invención del telescopio en 1608. (Science & Society Picture Library/Getty Images)
- 27** Ilustración de Galileo Galilei (1564-1642). (Max Elbo)
- 28-29** Amanecer en el Observatorio Paranal de ESO. (ESO/Nicolás Blind)
- 32-33** La Vía Láctea sobre el Observatorio ALMA. (A. Duro/ESO)
- 34-35** Ondas del mar de Chile. (Viktor Jakovlev)
- 37** Región de la Vía Láctea que se encuentra dentro de la constelación de Escorpio, cerca del plano central de la galaxia. (ESO)
- 39** Volcán Licancabur. Desierto de Atacama. (SHUTTERSTOCK/Sara Winter)
- 40-41** Íconos vectoriales. (thenounproject.com/SHUTTERSTOCK)
- 42** Ilustración de Galileo Galilei observando el cielo a través de su telescopio. (Hulton Archive / Stringer/Getty Images)
- 44** Representación artística de Júpiter y sus Lunas Europa, Io, Ganímedes y Calisto. (SHUTTERSTOCK)
- 45** Antu, Kueyen, Melipal y Yepun, las cuatro unidades de telescopios del "Very Large Telescope" -VLT- de ESO ubicados en Cerro Paranal, Chile. (ESO Photo Ambassador Serge Brunier)
- 46** Groete Reber, cerca de 1937. (NRAO)
- 46** Groete Reber, de pie junto a un amplificador especial que forma parte del radiotelescopio. (Thomas D. Mcavoy/The LIFE Picture Collection/Getty Images)
- 47** Esta vista panorámica del Llano de Chajnantor muestra la ubicación del conjunto ALMA (el Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), tomada cerca del pico de Cerro Chico. (ESO/B. Tafreshi twanight.org)
- 48** Impresión artística de una brillante "mancha" de gas en el disco de material que circunda el agujero negro en el centro de nuestra galaxia, Sagittarius A*. (ESO/L. Calçada)
- 48** Impresión artística del cuásar 3C 279. (ESO/M. Kornmesser)
- 48** Impresión artística del sistema estelar SCR 1845-6357. La estrella roja pequeña que se ve en el fondo es la estrella madre, mientras que la enana café recién descubierta está en el frente. (ESO)
- 49** Los nuevos resultados de Galaxy Evolution Explorer de la NASA y el Telescopio Anglo-Australiano alto de Siding Spring Mountain en Australia confirman que la energía oscura (líneas púrpuras) es una fuerza suave y uniforme que ahora domina sobre los efectos de la gravedad -líneas verdes-. (NASA/JPL-Caltech)
- 49** En Chandra de NGC 6388, los investigadores han encontrado pruebas de que una enana blanca puede haber desgarrado un planeta, ya que se acercó demasiado. (NASA)
- 49** Esta imagen en infrarrojo muestra la cerca zona de formación estelar Monoceros R2, ubicada a unos 2.700 años-luz de distancia en la constelación de Monoceros -el Unicornio-. (ESO/J. Emerson/VISTA)
- 49** Centaurus A es nuestra galaxia gigante más cercana, a una distancia de aproximadamente 13 millones de años-luz en la constelación austral de Centaurus, y como tal, es uno de los objetos más extensamente estudiados en los cielos australes. (ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler, J.-E. Ovaldsen & S. Guisard)
- 50** Impresión artística del púlsar PSR J0348+0432 y su compañera enana blanca. (ESO/L. Calçada)
- 50** Impresión artística del nuevo sistema descubierto Gliese 581. (ESO/L. Calçada)
- 50** Al igual que un manto celeste, la Vía Láctea forma un arco por encima de las antenas del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array. (A. Duro/ESO)
- 51** Opportunity encontró un meteorito de hierro en Marte, el primer meteorito de cualquier tipo jamás identificado en otro planeta. (NASA/JPL-Caltech/Cornell)
- 51** Impresión artística del sistema planetario alrededor del la estrella HD 10180 similar al Sol. (ESO/L. Calçada)
- 51** Cúmulo de galaxias Abell 1689. La materia oscura en el cúmulo, lo que representa alrededor del 80 por ciento de su masa, no puede ser fotografiada, pero su distribución se muestra en la superposición azul. (NASA/ESA/JPL-Caltech/Yale/CNRS)
- 55** Enanas café conocidas como CFBDSIR 1458+10. Observaciones realizadas con el Very Large Telescope (VLT) de ESO en cerro Paranal. (ESO/L. Calçada)
- 57** Ilustración línea de Tiempo, descubrimiento Enanas Café. (Ximena Morales Sanhueza)
- 59** Enanas café ISO-Oph 102. Su posición está marcada con una cruz. Esta imagen en luz visible fue creada a partir de imágenes que formaban parte del sondeo Digitized Sky Survey 2. (ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/Digitized Sky Survey 2. Acknowledgement: Davide De Martin)
- 59** Kelú, descubierto por María Teresa Ruiz, sistema de dos planetas girando. (NASA, ESA y M. Stumpf MPIA)
- 60** Ilustración del arqueólogo chileno Edmundo Edwards y el astrónomo español Juan Antonio Belmonte. (Max Elbo)
- 60-61** Ilustración representativa de la relación entre los Moais y las estrellas. (Felipe Muhr)
- 62-63** Grabado del Observatorio del Cerro Santa Lucía (1901). (Brockhaus, F.A./© Archivo Visual de Santiago)
- 65** El sistema planetario alrededor del la estrella HD 10180 similar al Sol (impresión artística). Observado con el espectrógrafo HARPS adosado al telescopio de 3,6 metros de ESO en La Silla. (ESO/L. Calçada)
- 65** James Gilliss. («James Melville Gilliss» de T Sills 1850 - Disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)





- 65** **Andrés Bello.** Filósofo, poeta, filólogo, educador y jurista venezolano, considerado como uno de los humanistas más importantes de América. (Biblioteca del Congreso Nacional)
- 67** **Proyecto de Observatorio Astronómico de Lo Espejo.** (Dirección Arquitectura MOP)
- 67** **Telescopio Manuel Foster en el Cerro San Cristóbal, instalado en 1903.** (ESO)
- 68-69** **Construcción Observatorio cerro Tololo.** (Observatorio Cerro Tololo)
- 70** **Primera imagen de la Carta de Energía Oscura.** Representa solo el 3% de lo que el proyecto Dark Energy Survey cubrirá entre 2013 y 2018. (Observatorio Cerro Tololo)
- 71** **Imagen aérea del Observatorio Interamericano Cerro Tololo en Chile,** tomada después de que la cúpula del telescopio Blanco de 4 m fue construido a principios de 2001. (NOAO/AURA/NSF)
- 73** **El revolucionario New Technology Telescope (NTT) 3.6 m de ESO** ha entrado en funcionamiento en su cúpula inusual en el Observatorio La Silla -1989-. (ESO)
- 74** **Telescopio Baade,** ubicado en el Observatorio Las Campanas. (Las Campanas Observatory)
- 75** **Telescopios Observatorio Las Campanas.** (Las Campanas Observatory)
- 76-77** **Observatorio Paranal de ESO,** ubicado a 2.600 metros de altitud, se asienta en una de las zonas más secas y desoladas de la Tierra, el desierto de Atacama, en Chile. (ESO/J. Girard/djulik.com)
- 78-79** **Telescopios de ESO.** En 2013, ESO cumplió 50 años de fructífera colaboración con Chile. (ESO/M. Kornmesser)
- 81** **El Sol baña al Very Large Telescope (VLT),** instalación observacional insignia de ESO. (ESO/A. Ghizzi Panizza www.albertoghizzipanizza.com)
- 82** **Imagen nocturna del Observatorio Gemini Norte,** en la cima del Mauna Kea. El Canadá-Francia-Hawái Telescope (CFHT) es visible detrás. (Gemini Observatory)
- 83** **Vista aérea del Observatorio Gemini Sur** al amanecer. (Gemini Observatory)
- 84** **Las galaxias de las Antenas,** ubicadas a unos 70 millones de años-luz, en la constelación de Corvus, observadas por ALMA, en dos longitudes de onda diferentes durante la fase inicial de pruebas del observatorio. (ALMA (ESO/NAOJ/NRAO))
- 85** **Impresión artística de la ubicación del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA),** en el llano de Chajnantor, a 5000 metros sobre el nivel del mar. [ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/L. Calçada (ESO)]
- 86-87** **Impresión artística del láser del E-ELT, para el despliegue de óptica adaptativa.** (ESO/L. Calçada/N. Risinger skysurvey.org)
- 89** **Futuro telescopio GMT,** (Giant Magellan Telescope), que se ubicará en el cerro Las Campanas en la Región de Atacama. (© 2016 GMTO Corporation)
- 91** **Impresión artística del LSST en Cerro Pachón.** Este llevará a cabo una encuesta de imágenes profundas. (Todd Mason, Mason Productions Inc. / LSST Corporation)
- 93** **Impresión artística del E-ELT (European Extremely Large Telescope)** en su recinto en Cerro Armazones, una cima a 3.060 metros en el Desierto de Atacama. (ESO/L. Calçada)
- 94-97** **Chinitas.** (SHUTTERSTOCK)
- 97** **Natalia Ojeda, la profesora Ivonne Martínez, Natalia Castillo, y Klaus Von Storch** emprendiendo viaje a la NASA. (gentileza Natalia Castillo)
- 98-99** **Ilustración somos polvo de estrellas.** (Julie Carles)
- 100** **Reproducción infografía diagrama de Eddington.** (Max Elbo)
- 102** **Arthur Stanley Eddington (1882-1944),** astrónomo británico, físico y matemático. Partidario y promotor de las teorías de la relatividad, c1930-c1944 de Einstein. (Oxford Science Archive/Print Collector/Getty Images)
- 103** **Fotografía del eclipse del 23 de Mayo de 1919, tomada en Brasil** por Sir Arthur Eddington, para medir la desviación de la luz de la estrella al lado del Sol como predijo Albert Einstein (1879-1955) en su Teoría de la relatividad. (SSPL/Getty Images)
- 104-105** **Telescopio utilizado por Eddington** para observar el eclipse total de Sol, en Sobral, Brasil de 1919; que demostraría la teoría de la relatividad de Einstein. (Science & Society Picture Library/Getty Images)
- 106-107** **Ilustraciones de Albert Einstein.** (Juan Américo Pastenes, Marcelo Pérez Dalannays, Felipe Muhr, Max Elbo, Nicolás Tobar)
- 108** **Ilustración de José Maza y Mario Hamuy,** Premios Nacionales de Ciencias Exactas en 1999 y 2015. (Juan Américo Pastenes)
- 111** **El remanente de la supernova SN 1006** visto en diferentes longitudes de onda. (Radio: NRAO/AUI/NSF/GBT/VLA/Dyer, Maddalena & Cornwell, X-ray: Chandra X-ray Observatory; NASA/CXC/Rutgers/G. Cassam-Chenaï, J. Hughes et al., Visible light: 0.9-metre Curtis Schmidt optical telescope; NOAO/AURA/NSF/CTIO/Middlebury College/F. Winkler and Digitized Sky Survey)
- 113** **Ilustración línea de Tiempo,** cronología de un descubrimiento. (Ximena Morales Sanhueza)
- 114** **Medalla de oro del Premio Nobel.** (superjoseph/SHUTTERSTOCK)
- 115** **Adam G. Riess, Brian Schmidt y Saul Perlmutter,** ganadores del Premio Nobel de Física 2011. (Pascal Le Segretain/Getty Images)
- 116-120** **Ilustraciones de Galileo Galilei, Albert Einstein y Edwin Hubble.** (Nicolás Tobar)
- 119** **Cúmulo de Pandora Abell 2744,** observado desde el telescopio espacial Hubble. (NASA, ESA and D. Coe (STScI)/J. Merten Heidelberg/Bologna)
- 121** **Dos astronautas reparando** el telescopio espacial Hubble. (NASA)
- 122** **Georges Lemaître,** descubridor de grandes aciertos científicos, entre ellos la expansión del Universo. (Disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
- 123** **Impresión artística de galaxias al final de la era de reionización,** (menos de mil millones de años después del Big Bang). (ESO/M. Kornmesser)
- 125** **Ilustración línea de tiempo** del Premio Nobel de Física en 1978. (Felipe Muhr)
- 127** **Profesor Stephen Hawking** diciembre 2006. (Danor Aharon/SHUTTERSTOCK)
- 129** **Impresión artística de la distribución de materia oscura** que supuestamente debería encontrarse alrededor de la Vía Láctea. (ESO/L. Calçada)
- 131** **Vista panorámica del Llano de Chajnantor,** que abarca unos 180° de norte (a la izquierda) a sur (a la derecha) muestra las antenas del Gran Conjunto Milimétrico/submilimétrico de Atacama (ALMA). (ESO/B. Tafreshi twanight.org)



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Isaac Asimov, *El universo: de la tierra plana a los cuántars*. Alianza, 1980.

Luis Barrientos y Sebastián López, *Con Ojos de Gigantes: La Observación Astronómica en el Siglo XXI*. Ediciones B, 2008.

Mario Hamuy y José Maza, *Supernovas: El explosivo final de una estrella*. 2008, Ediciones B, 2008.

José Maza, *Astronomía Contemporánea*. Ediciones B, 2009.

Dante Minniti, *Mundos lejanos: sistemas planetarios y vida en el universo*. Ediciones B, 2007.

María Teresa Ruiz, *Hijos de las estrellas. La astronomía y nuestro lugar en el Universo*. Ediciones B, 2007.

María Teresa Ruiz y Margarita Schultz, *El Universo: Ciencia y Ficción (¡Que no te cuenten cuentos!)*, Confin Ediciones, 2007.

María Teresa Ruiz y Margarita Schultz, *+Universo: Ciencia y Ficción*. 2015, Confin Ediciones, 2015.

Carl Sagan, *Cosmos*. 1997, Planeta, 1997.

LINKS A SITIOS WEB



Astro.Uchile
Departamento de Astronomía de la U. Chile; información, un completo glosario y material educativo

NASA en español
Información, noticias, investigación y las misiones de la agencia espacial de Estados Unidos. (Más limitada que su versión en inglés)

LINKS A ENTREVISTAS Y MATERIAL AUDIOVISUAL

Biblioteca del Congreso Nacional
II Congreso del Futuro. Ciencia, tecnología, humanidades y ciudadanía.

María Teresa Ruiz,
El privilegio de conocer el Universo.

Sociedad Chilena de Astronomía
Entidad sin fines de lucro para el desarrollo y la divulgación de la Astronomía en Chile.

EducarChile Ventana al Universo
Sitio didáctico con abundante material sobre la Astronomía en Chile.

Astromía
Astronomía educativa con información e imágenes y referencias para conocer el Universo.

ESO
Para observar imágenes asombrosas sobre el Universo captadas con los telescopios del Observatorio Europeo Austral

Brian Schmidt,
Ideas sobre Astronomía.

Gaspar Galaz,
ALMA: Los futuros descubrimientos del Universo.

Biblioteca del Congreso Nacional
III Congreso del Futuro. Mirando a Chile. Ciencia, tecnología, humanidades y ciudadanía.

Mario Hamuy,
Democratizando la Astronomía en la nueva era digital.

Biblioteca del Congreso Nacional
IV Congreso del Futuro.

María Teresa Ruiz,
Las encrucijadas del siglo XXI Chile: una ventana al universo.

Alejandro Clocchiatti,
Escala de tiempo cósmicas.

José Maza.
Otro Canal, Entrevistas, Una Belleza Nueva.

José Maza y Mario Hamuy:
Un viaje al corazón del Cosmos.

Guido Garay:
¿Cómo nacen las estrellas?

María Teresa Ruiz:
Vida y muerte de las estrellas.



ÍNDICE TEMÁTICO

Academia de Ciencias de la Unión Soviética, **76**

actividad orgánica, **216**

África, **274, 253, 245, 219, 215, 214**

agricultura, **9, 66**

Aguilera, Felipe, **230, 229**

agujero negro, **48, 50, 126**

ALMA, **33, 36, 40, 46, 47, 58, 84, 85, 86, 131**

Altazor, **8, 101**

Antú (telescopio), **45, 80, 81**

Argentina, **217, 215, 214, 209, 163**

astenosfera, **241**

Asteroide, **48, 50, 90, 124, 222, 274, 257, 255**

astronomía observacional, **28**

Astrophysical Journal, **58**

astrosismología, **72**

Atacama, **30, 31, 32, 36, 38, 39, 46, 47, 74, 84, 88, 299, 219, 217, 215, 192, 189, 153**

Atacama, San Pedro de, **229**

Atlántico, **32, 247, 215**

Atmósfera, **38, 44, 46, 51, 70, 80, 92, 265, 263, 259, 223**

AURA, **70, 82**

Aysén, **226, 219, 217, 215, 213, 193, 165**

Barquero, Efraín, **167**

Barrientos, Sergio, **205, 179, 177**

Bello, Andrés, **64, 65, 74**

Belmonte, Juan Antonio, **60**

Big Bang, **98, 118, 122, 123, 126**

Bolivia, **209**

Brontosaurio, **160**

Bruno, Giordano, **24, 25, 26, 122**

Cabo Cañaverl, **96**

Caicai Vilú, **171, 170**

Calbuco, volcán, **235, 226**

Calor interno de la Tierra, **274, 257, 225**

cambio climático, **145, 257, 235**

climatólogo, **235**

campo gravitacional, **48, 102**

campo magnético (terrestre), **50, 145, 265, 224, 223,**

Campos, Jaime, **208, 177**

Canarias (archipiélago), **30**

Carbón, **80, 98, 124, 233, 216, 214, 212, 210, 208**

Cardenal, Ernesto, **99**

Carnegie Institution, **68, 74**

Carrán (volcán), **266**

Carrasco, Gabriel, **169**

Carta de la Energía Oscura (Dark Energy Survey), **70**

cerro Armazones, **77, 92, 93**

Cerro Ballena, **152**

cerro Calán, **68, 110, 114**

Calán-Tololo (Proyecto), **110, 114**

cerro Pachón, **77, 82, 90**

CFBDSIR 1458+10, **55**

Chaitén (volcán), **226**

Chajnantor (cerro; Llano de), **46, 47, 77, 84, 85**

Chang-Díaz, Franklin, **96**

Charrier, Reynaldo, **169**

Chilecebus Carrascoensis, **169**

chilesaurio / Chilesaurio diegosuarezi, **163, 160, 159, 153**

Chinitas, **95, 96**

Churyumov-Gerasimenko, **14, 18**

Cianobacterias, **263**

Cielo(s), **7, 8, 9, 10, 13, 14, 43, 44, 49, 54, 56, 62, 66, 70, 74, 80, 82, 88, 90, 91, 92, 102, 109, 110, 112, 118, 130, 144, 277, 272, 257, 255, 239, 195, 172, 169, 157**

ciencia(s), **6, 9, 22, 24, 28, 57, 58, 65, 72, 86, 106, 110, 112, 117, 118, 120, 122, 126, 128, 130, 277, 243, 237, 235, 229, 205, 179, 163, 159**

Ciencias de la Tierra, **243, 235, 205**

Cinturón de Kuiper, **85**

Cinturón de Orión, **61**

civilización / civilizaciones, **9, 61**

clima / climático, **34, 36, 70, 145, 274, 257, 245, 235, 222, 156**

cometa(s), **14, 18, 48, 50, 66, 101, 124**

constelación / constelaciones, **36, 61**

contaminación lumínica, **36, 66, 68, 74**

Copérnico, Nicolás, **20, 22, 24, 28, 130**

Cordillera(s), **32, 36, 80, 145, 274, 270, 239, 233, 224, 221, 215, 213, 211, 209, 177, 155, 153,**

corriente Circumpolar Antártica, **209**

Corrientes de convección, **261, 243, 225, 223,**

Corteza / corteza terrestre / corteza continental, **241, 229, 225, 223, 222, 218, 217, 216, 209, 208, 205, 183, 181, 177**

Corteza oceánica, **223**

Cosmos, **7, 46, 117, 118, 126, 271**

Cráter(es), **17, 25, 229, 222**

Cuásar(es), **48**

Cúmulo de Pandora Abell 2744, **119**

Curiosity (robot), **14, 17**

Cynognathus, **247**

Darwin, Charles, **237, 186,**

de la Cruz, Rita, **165, 159**

de Rokha, Pablo, **116, 271, 239**

de Rokha, Winétt, **53**

de Rosales, Diego, **199**

Descabezado Grande (volcán), **227**

Descubrimiento(s), **7, 56, 58, 82, 107, 112, 114, 120, 124, 144, 249, 183, 165, 163, 155**

Domeyko, Ignacio, **65, 237, 155**

E-ELT (European Extremely Large Telescope), **77, 87, 92, 93**

Eclipse, **101, 102, 103, 105, 106**

Eddington, Sir Arthur Stanley, **102, 103**

Einstein, Albert, **102, 104, 106, 107, 118, 120, 130**

Electromagnético(a), **40, 41**

Enana(s) Blanca(s), **49, 54**

Enana(s) Café(s), **48, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 75**

Enana(s) Negra(s), **56**

Energía oscura, **49, 70, 71, 90, 93, 128**

Erosión, **233, 223, 218, 217, 211, 210**

Erupción(es), **274, 257, 237, 236, 235, 234, 229, 227, 226, 225, 222, 171, 170, 169**

Escorpio, **37**

Escuela de Geología (U de Chile), **237**

ESO (European Southern Observatory), **45, 72, 78, 92**

Espejo(s), **44, 46, 72, 80, 82, 88, 92, 104**

Estrella(s), **9, 20, 24, 32, 38, 40, 42, 44, 48, 49, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 72, 80, 82, 84, 88, 91, 98, 99, 101, 102, 104, 109, 110, 118, 124, 126, 128, 144, 272, 157**

Eta Carinae, **80**

Etnoastronómica, **60**

Etnográfica, **60**

Exoplaneta, **44, 51, 73, 82**

Extinción(es) masivas, **222, 216**

Facultad de Ciencias Físicas (U de Chile), **237**

falla de San Andrés, **193, 191, 190**

falla de Magallanes, **191**

falla(s) geológica(s), **225, 175**

Filósofo(s), **24**

Flynn, John, **169**

Fondo de radiación cósmica, **122, 124**

Fósil(es), **247, 246, 245, 243, 213, 183, 169, 165, 159, 155, 153**

Fosilización, **169**

Fritz, Herman, **179**

Galaxia(s), **14, 36, 46, 48, 49, 50, 66, 70, 71, 80, 81, 84, 89, 90, 98, 110, 120, 123, 126, 128, 129, 184**

Galaxias Antena, **84**

Gale (cráter), **17**

Galilei, Galileo, **14, 26, 28, 44, 118, 122**

Gamma (rayos), **41**

Gamow, George, **122, 124**

Geofísica, **237, 235, 206, 205, 175**

Geografía, **32, 92, 270, 193, 170**

Gigantes rojas (estrellas), **50**

Gilliss, James Melville, **64, 65, 79, 237**

GLIESE 581C (planeta), **73**

Glossopteris, **246**

GMT (Giant Magellan Telescope), **77, 88**

Gondwana, **257, 219, 218, 217, 216, 159**

GPI (Gemini Planet Imager), **82**

GPS, **177**

Hamuy, Mario, **110, 111, 112, 128**

HARPS, **72, 73**

Hawái, **30, 82**

Hawking, Stephen, **126, 127**

Henrich, Jeff, **179**

Hess, Harry, **243, 241**

Hierro, **214, 212, 210, 208**

Historia del Reyno de Chile, **199**

Holmes, Arthur, **243**

Homo Sapiens, **255, 254**

Hubble, Edwin, **118, 120, 124**

Hubble (Ley de), **120, 124**

Hubble (telescopio), **14, 44, 46, 92, 119, 121**

Hudson (volcán), **226**

Hueso(s), **98, 239, 169, 165, 163, 156, 155, 153**

Humboldt, corriente de, **32, 34, 209**

India, **56, 58**

Infrarrojo(a), **41, 46, 80, 82, 92**

Institute of Technology de California, **179**

Instituto de Geofísica y Sismología (U de Chile), **237**

Instituto de Investigaciones Geológicas, **237**

Instrumento(s), **14, 28, 82, 124, 237, 205, 181, 169**

Investigación(es), **7, 68, 70, 90, 96, 110, 124, 128, 249, 247, 243, 237, 177, 175**

Isasi, Marcelo, **163, 159**

Júpiter, **14, 44, 45, 48, 51, 56, 58**

Jurásico, **165, 163, 161, 159**

Kalligaris, Nikos, **179**

Kausel, Edgar, **205, 177**

Kelu-1 (enana café), **58, 59**

Kueyen (VLT de ESO), **45**

Kumar, Shiv, **56**

La Silla (cerro; observatorio), **54, 72, 74, 77, 78**

Lago General Carrera, **165**

Las Campanas (cerro; observatorio), **74, 75, 77, 88**

Láscar (volcán), **229, 228, 227**

Laurasia, **257**

Lemaître, Monseñor Georges, **120, 122, 124**

Lystrosaurus, **246**

Llaima (volcán), **227**

Lo Espejo (localidad), **66, 67, 68, 77**

London Times (diario), **106**

Lonquimay, **276, 227**

LSST (Large sinoptic Survey Telescope), **77, 82, 90, 91**

Luna, **9, 25, 60, 80, 81, 274, 267, 245**

Lunas de Júpiter, **14, 44**

Magallanes (región), **233, 219, 217, 215, 213**

Magma / actividad magmática, **240, 233, 224, 222, 216, 214, 210, 195**

manto terrestre, **241, 238, 225**

Mapudungun, **58, 79**
Marte, **14, 48, 51, 64**
Martínez, Ivonne, **96**
Matariki (Pléyades), **61**
Materia Oscura, **51, 70, 90, 128, 129, 144**
Mauna Kea (volcán; telescopio), **82**
Mayr, Gerald, **155**
Maza, José, **110, 111, 112, 128**
megacontinente / supercontinente, **261, 262, 258, 257, 253, 219, 218, 217, 159**
Megapíxeles, **71, 90**
Megaterremoto, **179**
Melipal (telescopio), **45, 81**
Mesosaurus, **246**
Meteorito (s), **51, 267, 213**
Meteoro, **12, 51**
Meteoroides, **50, 51**
Meteorólogo(a) / meteorología / meteorológico(a), **102, 249, 245, 237, 235**
Microfósiles, **183**
Microondas, **40, 46, 122, 124**
Mistral, Gabriela, **7, 95, 231, 185**
Moáis, **61**
Molibdeno, **210, 208**
Monte (Mount) Wilson, **74, 120**
Montt, Manuel, **66**
Museo Nacional de Historia Natural, **155**
N44 (en la Gran Nube de Magallanes), **15**
NASA, **95, 96, 97, 144**
Nature (revista), **161, 159**
Neptuno, **51**
Neruda, Pablo, **10, 12, 42, 276, 206**
New Horizons (sonda espacial), **14, 16**
New York Times (diario), **106**
Novas, Fernando, **163, 159**
NTT (Telescopio de Nueva Tecnología), **72**
Nubes moleculares, **50, 54**
Núcleo terrestre, **223**
Nyasaurus, **257**
O'Higgins, Bernardo, **63**
O'Higgins (región), **219, 217, 215**
Observación(es), **9, 14, 20, 28, 30, 36, 44, 56, 58, 63, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 79, 82, 86, 88, 106, 110, 112, 117, 118, 120, 237, 195, 179, 175**
Observatorio Astronómico Nacional, **64, 65, 66, 76**
Observatorio Gemini, **82, 83**
Observatorio Las Campanas, **74, 75, 77, 88**
OEA (Organización de Estados Americanos), **235**
Onda(s), **36, 40, 41, 46, 84, 107, 111, 181**
ondas sísmicas, **183**
Ornitisquios, **161, 160**
Ornitorrinco, **161**
Oscilación (es), **66, 181**
Pacífico (océano), **32, 61**
Pangea, **257, 247, 243, 219**
Pannotia, **259, 258**
Panthalassa, **257**
Paranal (cerro; observatorio), **29, 44, 45, 76, 77, 78, 80, 81, 86, 92**
Parra, Nicanor, **203**
Parra, Violeta, **196**
Paso Drake, **209**
Pelagornis chilensis, **155**
Pelagornithidae, **155**
Pelagornitidos, **155**
Penzias, Arno, **124**
Perlmutter, Saul, **112, 115**
Petróleo, **233, 216, 214, 212, 210, 208, 205, 183**
Perú, **34, 211, 209**
Physics of the Earth and the Planetary Interiors (revista), **177**
Piedra(s), **12, 50, 116, 221, 201, 185, 169, 165, 156, 155**
Pissis, (Pedro José) Amado, **237**
placa Antártica, **193, 191**
placa Continental, **218, 212, 193**
placa de Nazca, **241, 238, 193, 188, 181, 177**
placa Oceánica, **241, 224, 218, 216, 214, 213**
placa Sudamericana, **238, 181**
placas (fotográficas), **44, 102, 110**
placas (tectónicas), **265, 241, 240, 238, 225, 224, 195, 193**
Planchón y Peteroa, **227**
Planeta(s), planetario, **8, 14, 16, 20, 24, 30, 38, 44, 46, 51, 53, 54, 56, 58, 59, 72, 73, 82, 83, 84, 85, 96, 98, 99, 124, 144, 274, 272, 268, 267, 263, 255, 252, 251, 238, 224, 221, 216, 213, 209, 206, 194, 193, 183, 181, 161, 153**
Plutón, **14, 16, 51**
Plutónico(s) (cuerpos; material), **214**
Polvo de estrellas, **99**
Premio Nobel de Física, **70, 112, 114, 115, 124, 128**
Proyecto Kola, **183, 182**
Ptolomeo, Claudio, **20, 21**
Pulgón(es), **96**
Púlsar(es), **50**
Punto Triple, **193**
Puyehue Cordón Caulle, **226**
Quantum of Solace (película), **81**
Radiación, **40, 48, 50, 51, 122, 124, 265, 261, 259, 224**
Quarks, **98**
Quinta Normal, **66, 77**
Quizapú o Cerro Azul, **227**
Radio (ondas de), **36, 40, 46, 111**
Radioactiva, **267**
Radiómetro, **124**
radiotelescopio, **28, 43, 46, 58, 68, 144**
Rapanui, **61**
Rayos X, **41, 111**
Real Academia de Ciencias de Suecia, **112**
Reber, Grote, **46**
Richter (grados), **206, 193, 188, 181**
Riess, Adam, **112, 115**
Ristepart, Federico, **66**
Robot, **14, 16**
Rosetta (Misión), **14, 18**
Rubilar-Rogers, David, **159**
Ruiz, María Teresa, **54, 56, 57, 58**
Rutllant, Federico, **68, 72, 79**
Sahara, **38**
San Cristóbal (cerro), **67**
Santa Inquisición, **24, 26**
Santa Lucía (cerro), **62, 63, 64, 66, 237, 201**
Satélite(s), **14, 30, 32, 45, 50**
Saurópodo(s), **166, 161, 160**
Schmidt, Brian, **112, 114, 115**
Scotia (placa), **193, 191**
Seb (mitología egipcia), **255**
Serendipia, **58, 124**
SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería), **237**
Servicio Sismológico Nacional, **237, 179**
Silesaurio, **155**
Siphler, Vesto, **120**
Sistema Solar, **48, 50, 51, 61, 64, 75, 83, 85, 90, 144**
Sobral (Brasil), **102, 104**
Sol (solar), **9, 10, 20, 24, 48, 49, 50, 51, 54, 60, 61, 73, 81, 83, 102, 116, 274, 265, 261, 259, 245, 224**
Soles, **24**
Solsticio(s), **60**
Sonda Philae, **14, 18**
Suárez, (Dr.) Manuel, **165, 163, 159**
Suárez, Diego, **166, 165, 163**
subducción tipo chilena, **224, 212, 191**
Subducción, **241, 240, 238, 224, 218, 216, 214, 213, 211, 210, 193, 177**
suelo terrestre, **30**
Supernova 1006, **111**
Supernova Cosmology Project, **112, 114**
Supernova(s), **40, 70, 90, 98, 110, 111, 112, 114, 124, 126**
Swisher, Carl, **169**
Taitao (península), **193**
Tarter, Jill, **56**
Tauru (Orión), **61**
Tea (planeta), **267**
Teillier, Jorge, **109**
Telescopio(s), **14, 26, 28, 30, 38, 43, 44, 45, 46, 54, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 78, 80, 81, 82, 84, 87, 104, 110, 111, 118, 120**
Telescopio astrográfico, **104**
Telescopio Baade, **74**
Telescopio Clay, **74**
Telescopio Curtis Schmidt, **111**
Telescopio espacial Hubble, **14, 46, 92, 119**
Telescopio Gigante Magallanes (GMT), **77, 88**
Telescopio Manuel Foster, **67**
Tenerife, **30**
Tentén Vilú, **171, 170**
Teoría (general) de la relatividad, **102, 104, 118, 120, 130**
Teoría Cuántica, **126**
Teoría de la Deriva Continental, **249**
Teoría del Universo Estático, **118**
Teoría geocéntrica / modelo geocéntrico, **20, 21, 22**
Teoría heliocéntrica / modelo heliocéntrico, **20, 21, 130**
Terópodo, **161, 159**
Terremoto de Chillán (1939), **175**
Terremoto de Concepción (1657), **199**
Terremoto de Constitución 27F (2010), **195, 179**
Terremoto de Coquimbo (2015), **236, 189**
Terremoto de Santiago (1647), **201**
Terremoto de Valdivia (1960), **195, 194, 188, 181, 180, 175**
Terremoto de Valparaíso (1906), **237, 189**
Terremoto(s), **274, 243, 238, 237, 225, 224, 223, 206, 205, 201, 199, 196, 195, 194, 193, 191, 189, 188, 187, 186, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 171**
tiempo geológico, **225, 222**
Tierra, **7, 10, 14, 20, 22, 24, 26, 30, 44, 48, 49, 51, 58, 73, 90, 93, 95**
Triásico, **246, 154**
Tololo (cerro; observatorio, CTIO), **68, 70, 71, 74, 77, 82, 110, 112, 114**
Ultravioleta (luz; onda(s); radiación), **41, 46, 261, 259**
Universidad Católica del Norte, **229**
Universidad de Chile, **64, 68, 70, 72, 74, 237, 235, 205, 189, 179, 175, 155**
Universidad de Florida (CA, USA), **68**
Universo, **7, 10, 14, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 40, 44, 46, 49, 51, 58, 70, 71, 74, 79, 81, 84, 86, 89, 92, 93, 98, 106, 107, 110, 112, 114, 118, 120, 122, 124, 125, 126, 128, 130, 144, 277**
Urano, **51**
Ussher, James, **172**
Velociraptor, **160**
Venus, **51, 64, 81**
Vía Láctea, **32, 33, 36, 44, 50, 74, 80, 90, 120, 128, 129**
VLT (Very Large Telescope), **45, 80, 81**
volcán Calbuco, **234, 226**
volcán Lascar, **229, 228, 227**
Volcán Osorno, **231**
Volcán Villarrica, **276, 226, 185**
volcanes, **270, 243, 238, 230, 229, 223, 222, 219, 218, 195, 172, 171, 169**
Von Storch, Klaus, **97**
Vulcanólogo(s), **229, 226**
Wegener, Alfred, **249, 248, 247, 245, 244, 243**
Weis, Robert, **179**
Wilhelm, Carl, **120**
Wilson, Robert, **124**
WISE J0855-0714 (enana café), **75**
Wyss, André, **169**
Yepun (telescopio), **45, 81**
Zurita, Raúl, **221**

EL CIELO 1. LO

NUEVAS PREGUNTAS PARA FOMENTAR LA CURIOSIDAD, LA EXPLORACIÓN Y EL DESCUBRIMIENTO

¿Por qué Chile es conocido como el Paraíso de la astronomía?

¿En un radiotelescopio, se escucha o se ve del Universo?

¿Cuándo se habrá instalado el primer observatorio de Chile?

¿Te imaginas trabajando con la NASA?

¿Serán importantes los insectos en la exploración espacial?

¿De qué elementos se compone el Universo?

¿Cuántas estrellas nacerán y morirán cada día?

¿Qué edad tendrá el Universo?

¿Y nuestro Sistema Solar?

¿Tendrá un origen el Universo?
¿Hace cuantos años empezó Todo?

Si el Universo se expande
¿Cambiarán las distancias entre los objetos?

¿Por qué titilan las estrellas?

¿Será la Tierra el único planeta donde existe vida?

¿Qué nuevos descubrimientos se realizarán mirando el cielo desde los observatorios de Chile?

¿Qué es un año luz?

¿Qué es la materia oscura?

¿Qué descubrimientos astronómicos han sido posibles mirando el cielo desde los observatorios de Chile?

CIERRA
EL LIBRO
Y COMIENZA
AL REVÉS...

LA TIERRA

NUEVAS PREGUNTAS PARA

FOMENTAR LA CURIOSIDAD, LA

EXPLORACIÓN Y EL DESCUBRIMIENTO

¿Qué fenómenos sucedieron para que la Tierra sea como es hoy?

¿Cuán antiguos son los seres humanos en relación a la edad de la Tierra?

¿Una "gran extinción" significa que se acaba toda la vida en la Tierra?

¿Qué provoca el movimiento de los continentes?

¿Por qué se producen los sismos?

¿Será Chile un buen lugar para estudiar los sismos y movimientos de la Tierra?

¿Crees que en un futuro cercano podamos predecir los terremotos?

¿Con el movimiento de los continentes, Rapa Nui se acerca o se aleja de las costas de América?

¿Podrá llegar alguna vez un ser humano al centro de la Tierra?

¿Será importante el campo magnético para la preservación de la vida en la Tierra?

¿La Tierra se está calentando o enfriando?

¿El cambio climático que vivimos en la actualidad será provocado por la acción de los seres humanos?

¿Qué beneficios tiene para nuestro país el tener tanta actividad volcánica?

¿Habrá habido bosques y dinosaurios en la Antártida?

¿En 100 millones de años seguirá existiendo la cordillera de los Andes?

CIERRA
EL LIBRO
Y COMIENZA
AL REVÉS...