

# MIRA -DOR-

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

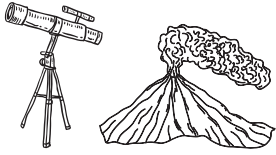
## CIELO

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



DIRECCIÓN SOCIOCULTURAL  
Presidencia de la República





## MIRADOR

@mim, Museo Interactivo Mirador, 2016  
Dirección de Educación y Área Comunicaciones  
ISBN 978-956-8995-21-8

## 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  
Departamento 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](http://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 orgullosa que el MIM, como parte de la Red de Fundaciones de la Presidencia, publique este libro. **Estudiantes, profesores y familias de nuestro país podrán aprender y asombrarse con la ciencia.**

También, con los científicos y científicas de Chile que encontraremos al recorrer este Mirador.

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

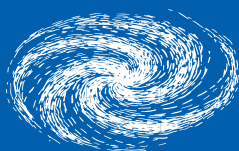
El MIM nuevamente sorprende. Esta vez decidió transformarse en libro, para llegar a muchos lugares y **contarte cómo ha sido estudiar el Cielo y la Tierra desde nuestro país** y cómo nuestros científicos y científicas han generado nuevo conocimiento desde aquí al mundo.

Orieta Rojas B.  
**Directora Ejecutiva  
MIM**

# MIRADOR

DIRECCIÓN SOCIOCULTURAL  
Presidencia de la República





# EL CIELO 1. TIERRA



00

00

Estos números indican páginas del libro donde hay temas relacionados con el texto en el que están ubicados, ya sea en Cielo o Tierra.

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 de imágenes 134

Bibliografía 138

ÍNDICE TEMÁTICO 140

INVERTIR  
EL LIBRO  
PARA EL  
CAPÍTULO  
TIERRA

144



# LA<sup>2</sup>. TIERRA

## 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 en Chile 227

GLOSARIO: notas para observar la Tierra 225

Un territorio que se llamará Chile 221

La Tierra y sus acertijos 207

Tiembla en la colonia 203

Laboratorio de terremotos 197

Línea de tiempo terremotos en Chile 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

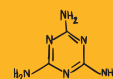
Diego y su dinosaurio 167

Hablan las piedras, los dientes y los huesos 157

### ANEXOS TIERRA 151

Índice de imágenes 149

Bibliografía 147

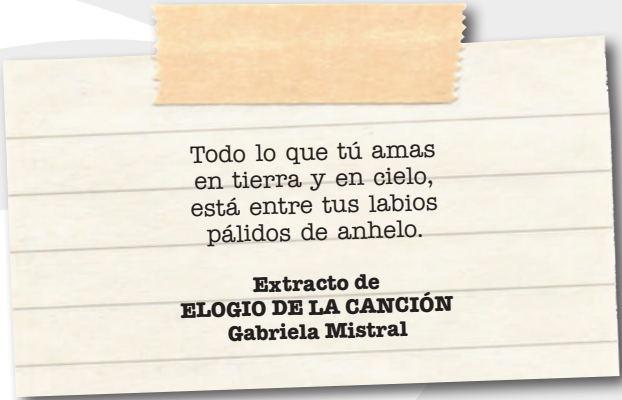


# PROLONGAR EL ASOMBRO ANTE LA CIENCIA

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.





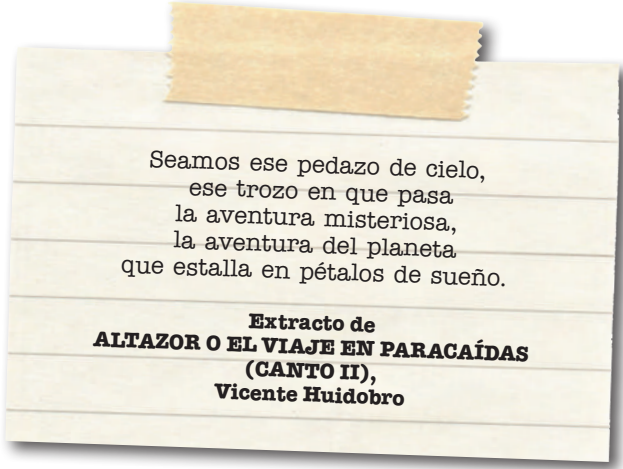
Todo lo que tú amas  
en tierra y en cielo,  
está entre tus labios  
pálidos de anhelo.

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**



# EL C:





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

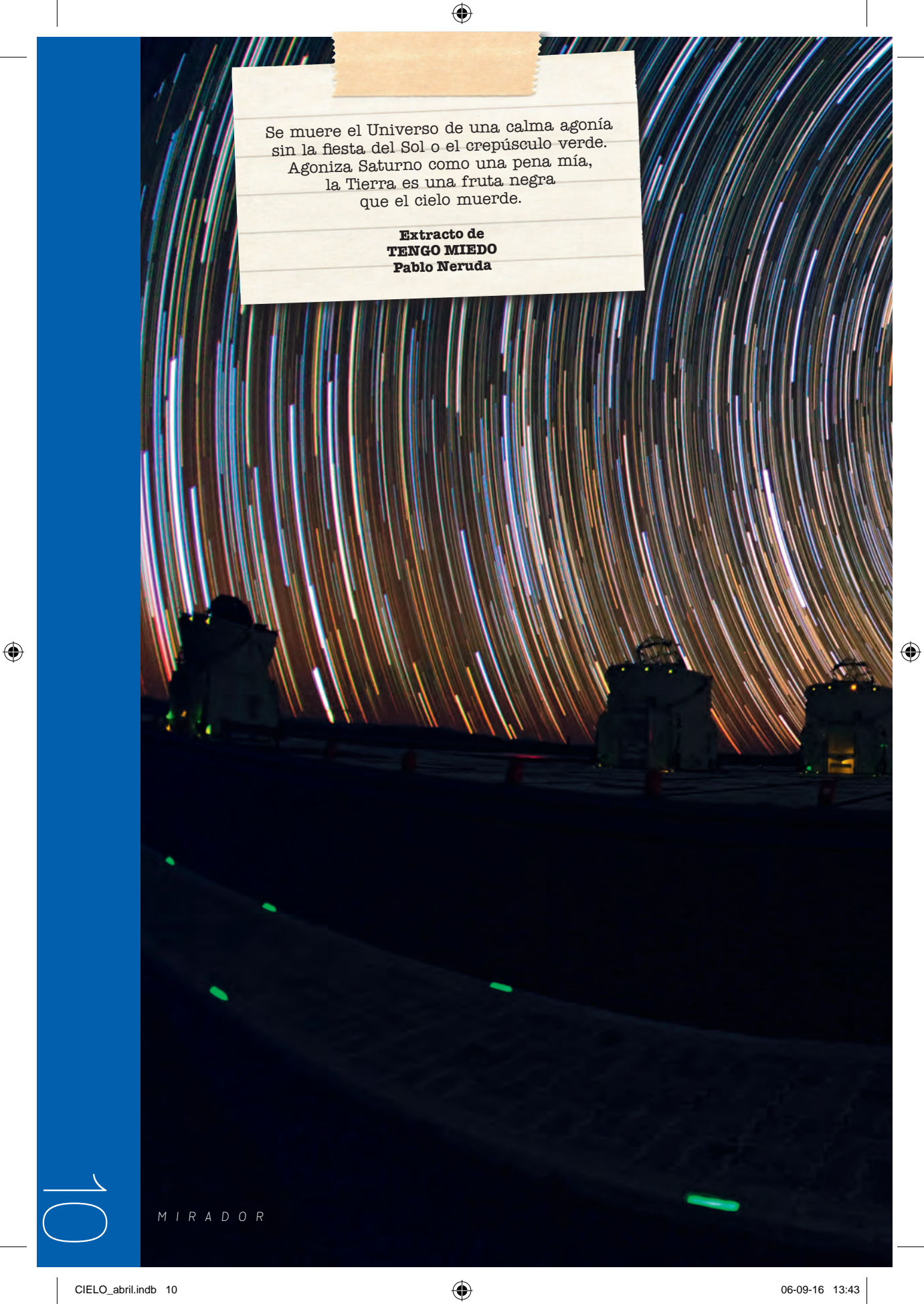
# CIELO

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 muerde.

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.

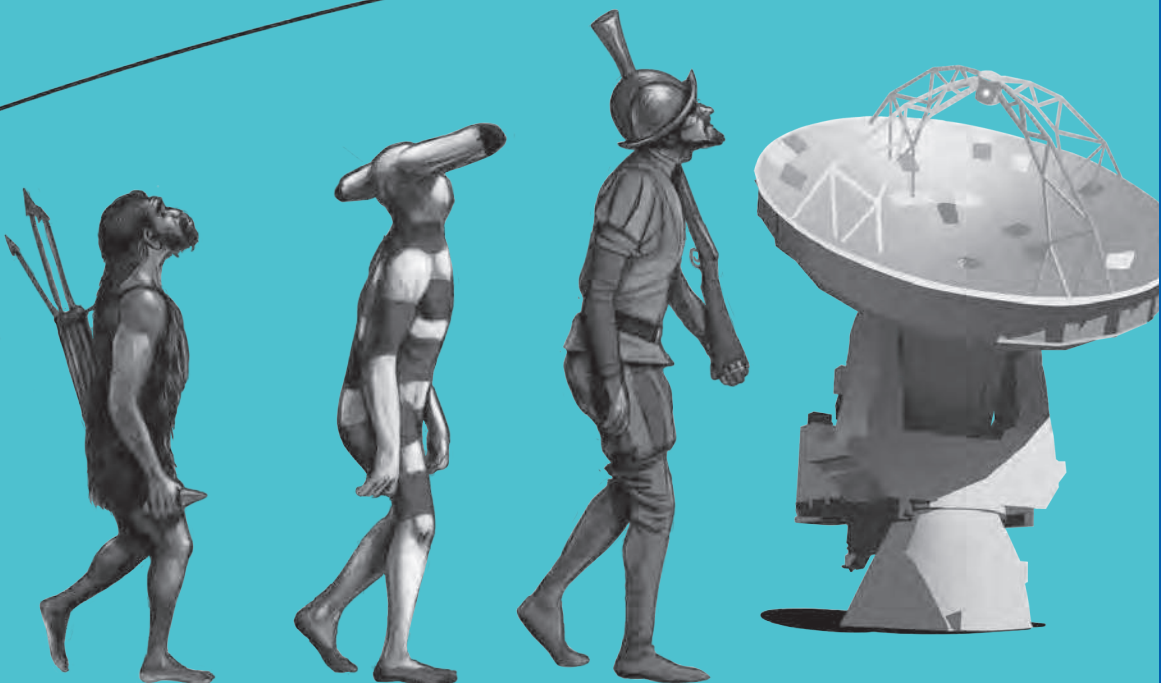
El cielo succulento no solo tuvo nubes,  
no solo espacio con olor a oxígeno,  
sino una piedra terrestre aquí y allá, brillando,  
convertida en paloma, convertida en campana,  
en magnitud, en viento penetrante:  
en fosfórica flecha, en sal del cielo.

Extracto de  
**LAS PIEDRAS DEL CIELO**  
Pablo Neruda



MIRADOR





# ALCANZAR EL CIELO DESDE CHILE

LA HUMANIDAD  
MIRA AL CIELO

**1**

P. 14

BUSCAR EN EL  
CIELO DESDE CHILE

**2**

P. 28

1

2

# 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.

26

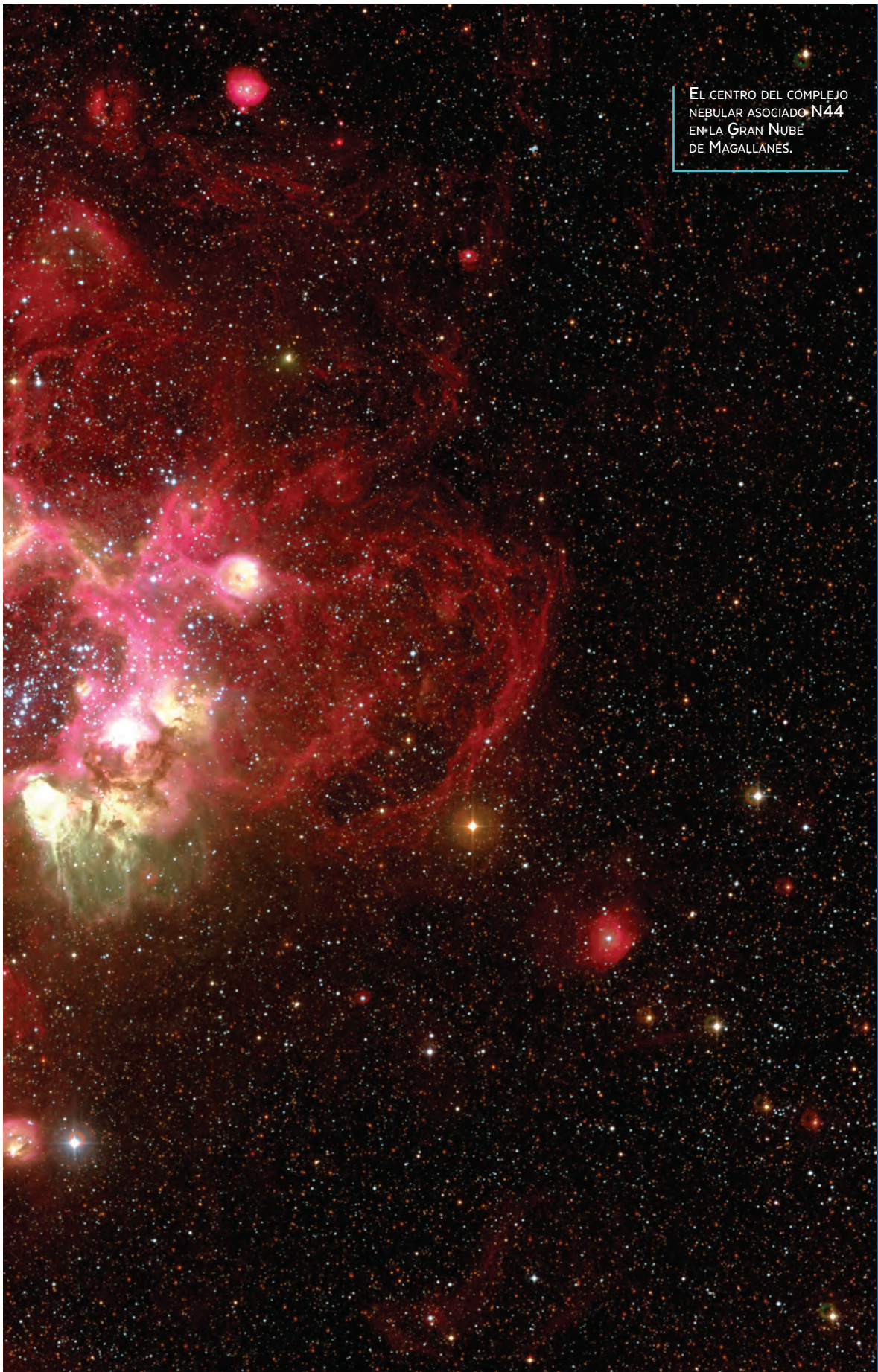
44

121

17

MIRADOR





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





1

2

260

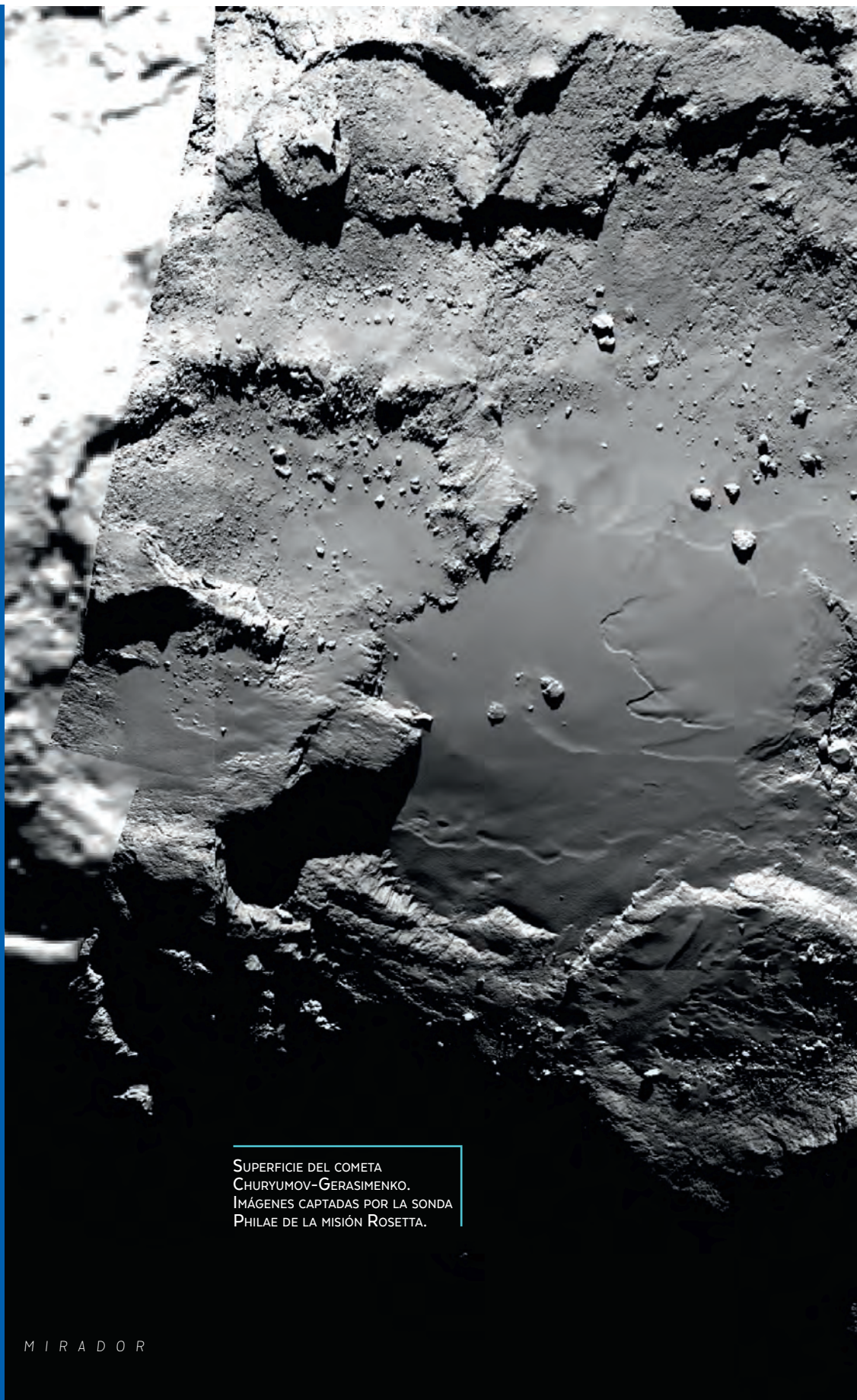
PLUTÓN. IMAGEN  
TOMADA DESDE LA SONDA  
ESPACIAL NEW HORIZONS  
CUANDO PASÓ A 450 MIL  
KILÓMETROS DE DISTANCIA  
DEL PLANETA.



ATARDECER EN  
MARTE. PRIMERA  
IMAGEN A COLOR  
CAPTADA POR EL  
ROBOT CURIOSITY  
DESDE EL CRÁTER  
GALE, MARZO 2015.

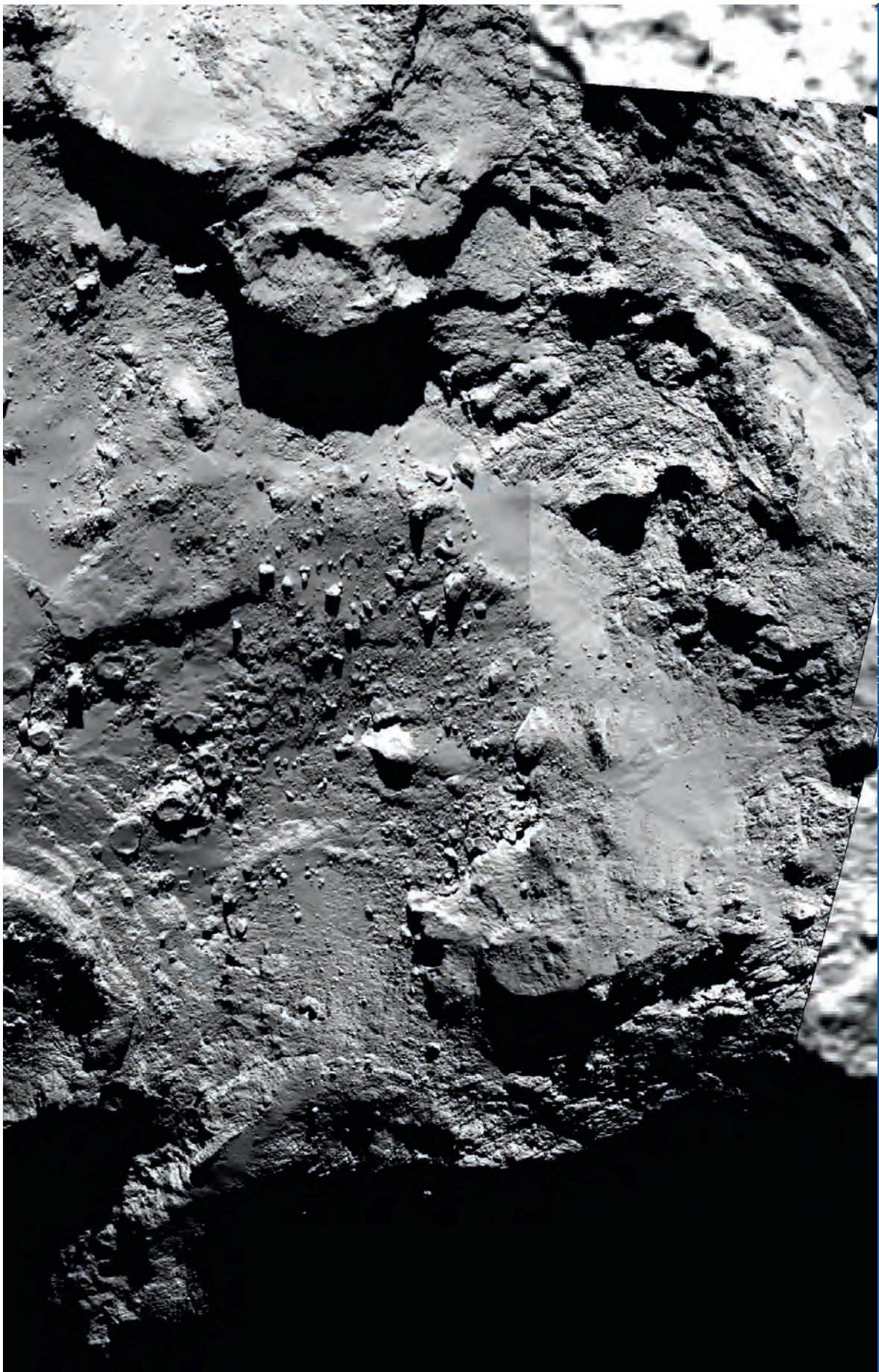






SUPERFICIE DEL COMETA  
CHURYUMOV-GERASIMENKO.  
IMÁGENES CAPTADAS POR LA SONDA  
PHILAE DE LA MISIÓN ROSETTA.







1

2

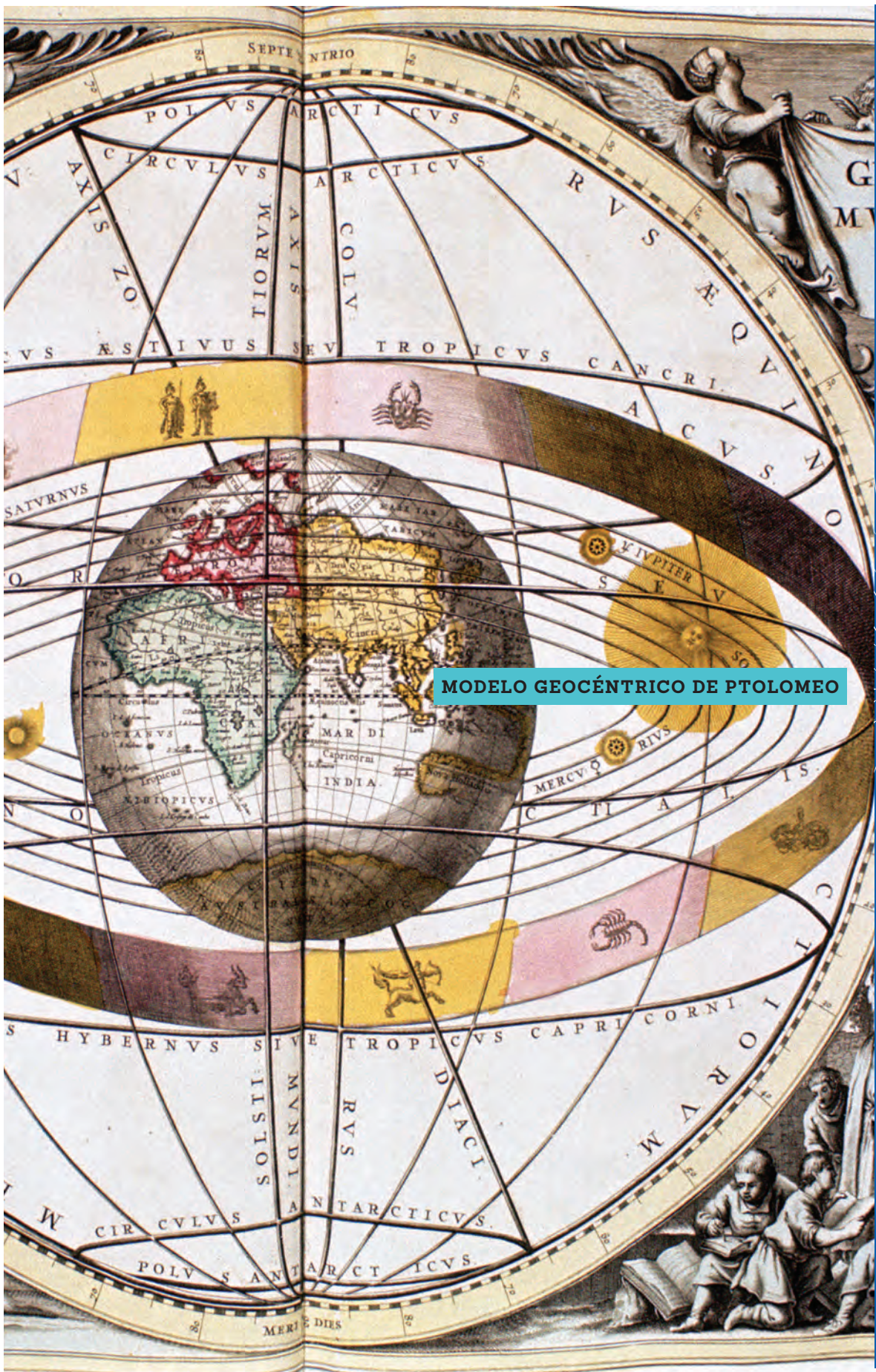
Antes del año 1600, el conocimiento surgía de las observaciones a simple vista. Quizás eso contribuyó a que durante los 1.500 años previos, la humanidad creyera que las estrellas y el Sol giraban en torno a la Tierra. Así, se sostenía la teoría geocéntrica del astrónomo griego Claudio Ptolomeo.

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 fijadas 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



1

2

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.**

130







MODELO HELIOCÉNTRICO DE COPÉRNICO



1

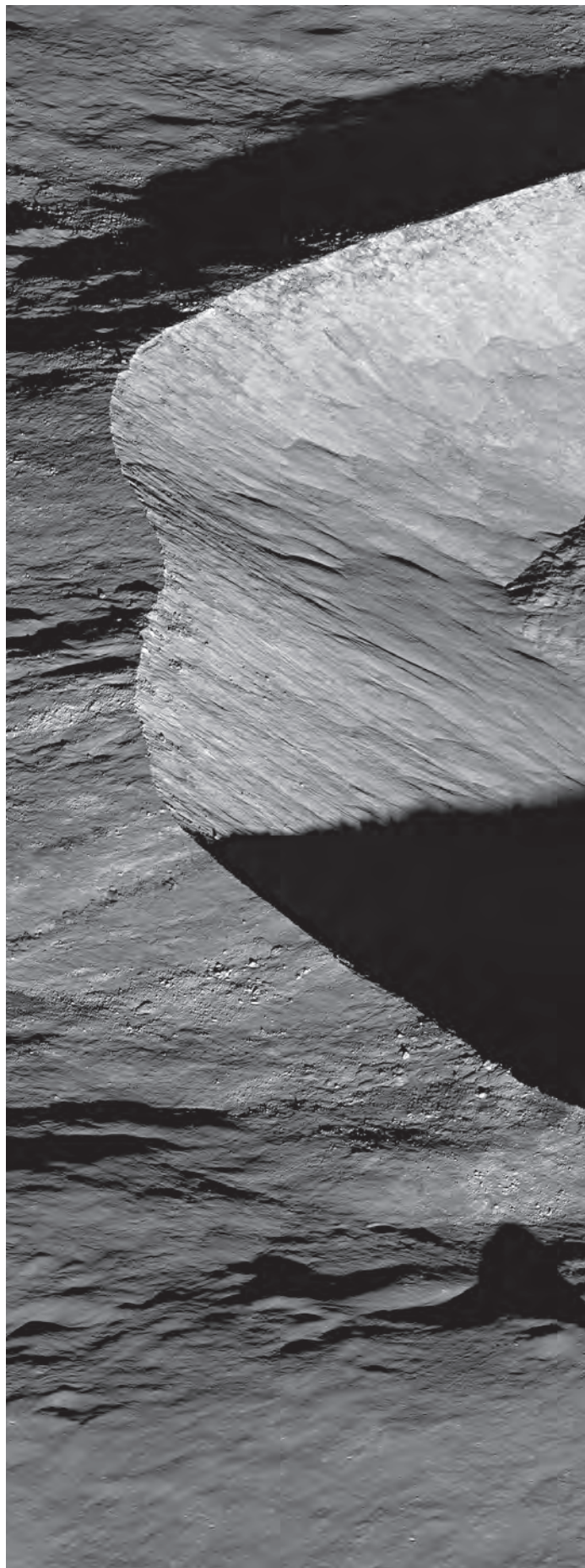
2

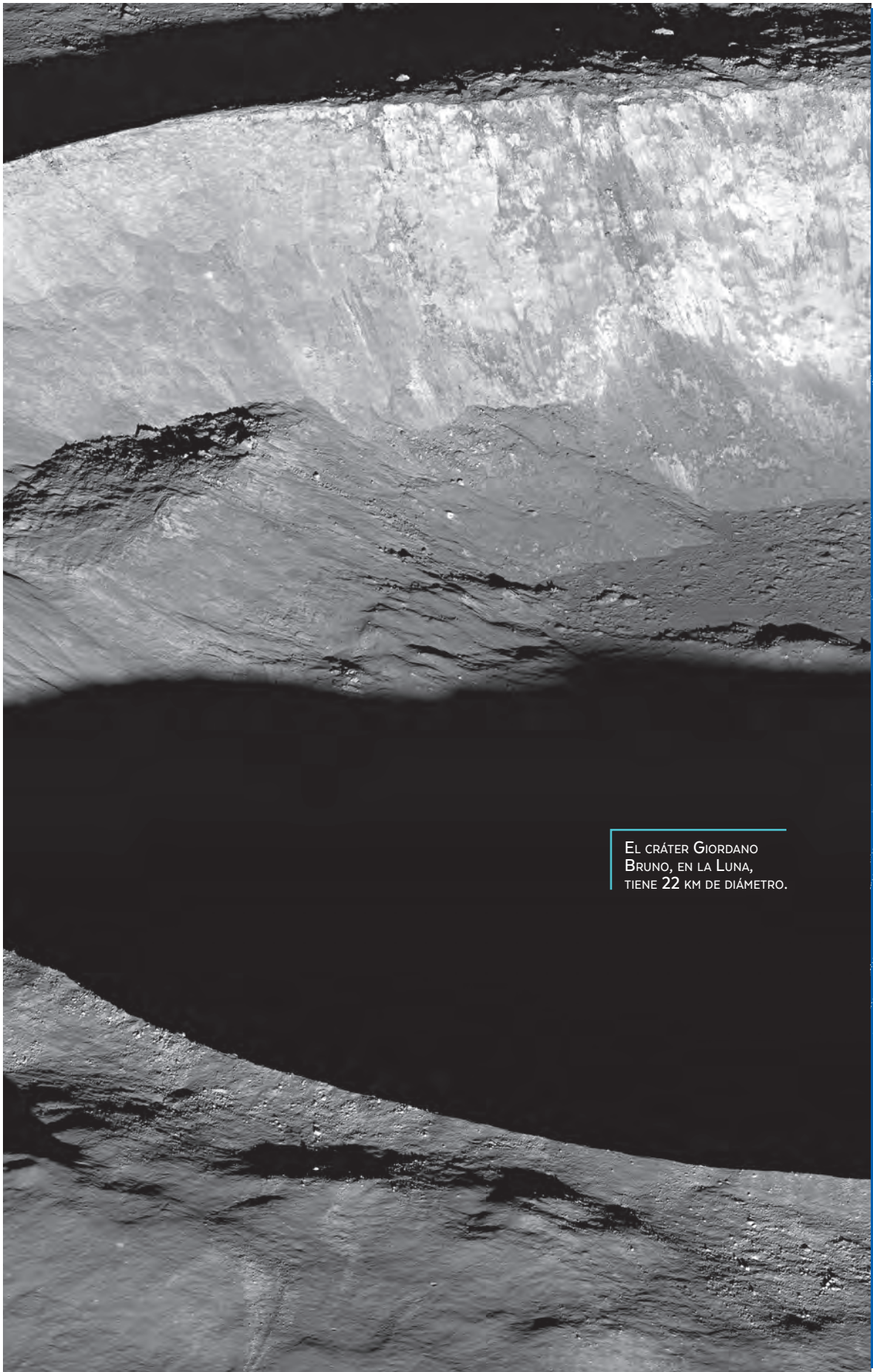
La ciencia es un campo vital y activo de debate y discusiones entre pares; a menudo de confrontación con las creencias e intereses de sistemas poderosos como los políticos, económicos o religiosos.



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.



1

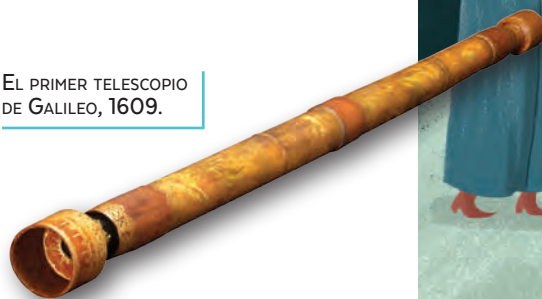
2

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.

122

EL PRIMER TELESCOPIO DE GALILEO, 1609.



MIRADOR









## 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, Isla La Palma del archipiélago español de Canarias y el desierto de Atacama.

46

78

84

229

30

MIRADOR





ISLA LA  
PALMA

DESIERTO  
DE  
ATACAMA



## 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.



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. ★**

58

193







VOLCÁN LICANCABUR,  
DESIERTO DE ATACAMA.

## EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

### ONDAS MÁS LARGAS

Longitud de onda en metros

$10^3$

$10^2$

10

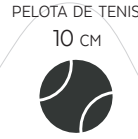
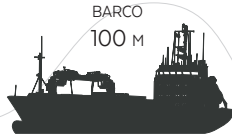
1

$10^{-1}$

$10^{-2}$

$10^{-3}$

Tamaño de la longitud de onda



ESTO VE ALMA

Nombre común de las ondas

ONDAS DE RADIO

MICROONDAS

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.

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.

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

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

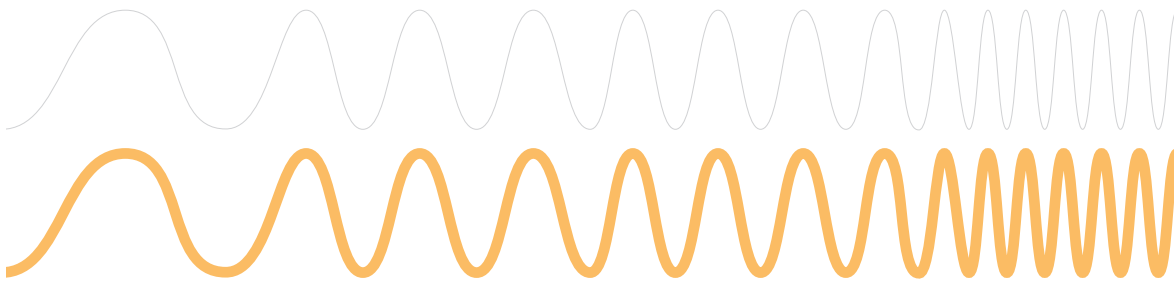
46

82

92

122

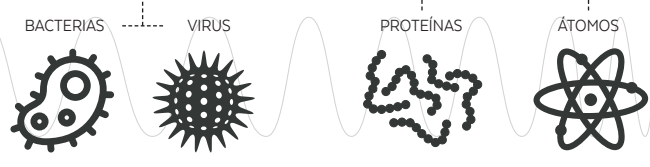
124



10<sup>-4</sup>   10<sup>-5</sup>   10<sup>-6</sup>   10<sup>-7</sup>   10<sup>-8</sup>   10<sup>-9</sup>   10<sup>-10</sup>   10<sup>-11</sup>   10<sup>-12</sup>

ONDAS MÁS CORTAS

ESTO VEMOS NOSOTROS



INFRARROJO   VISIBLE   ULTRAVIOLETA   RAYOS X   RAYOS GAMMA



# 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.

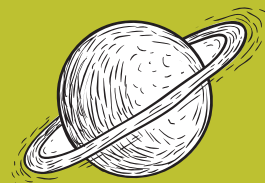
Fuera de ese espectro visible están las ondas ultravioletas y las infrarrojas, que los seres humanos no ven pero que algunos otros seres vivos sí, como las abejas, que perciben la luz ultravioleta, lo que les ayuda a recolectar el polen. O también algunas serpientes, como las boas o pitones, que pueden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

1

P. 44

EL RADIOTELESCOPIO

2

P. 46

43

# 1

## EL TELESCOPIO

Galileo Galilei, usando el telescopio que él mismo había construido, descubrió las cuatro lunas más grandes 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.**

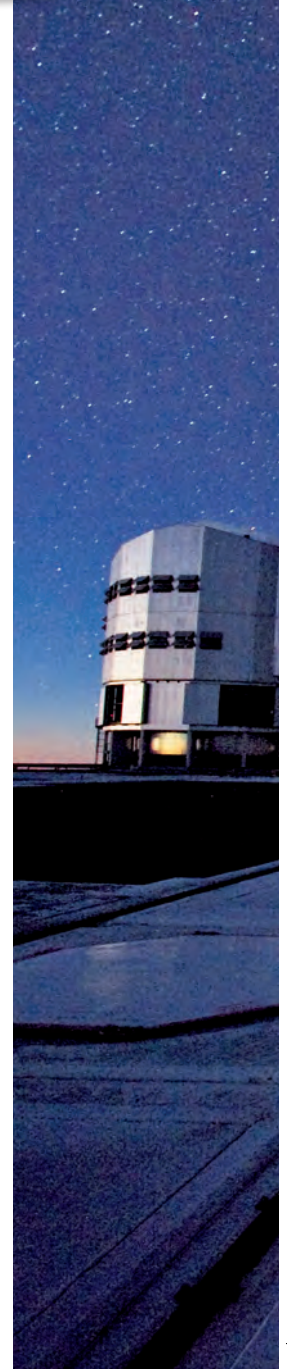
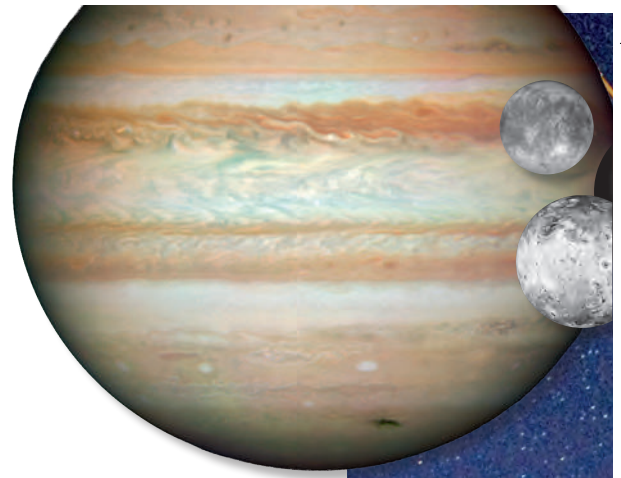
Galileo no imaginó que cuatro siglos más tarde, desde un telescopio ubicado en el Observatorio Paranal, desde un país que aún no existía, se podría distinguir una estrella más antigua que la Vía Láctea o la primera imagen de un exoplaneta muy parecido a la Tierra.

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

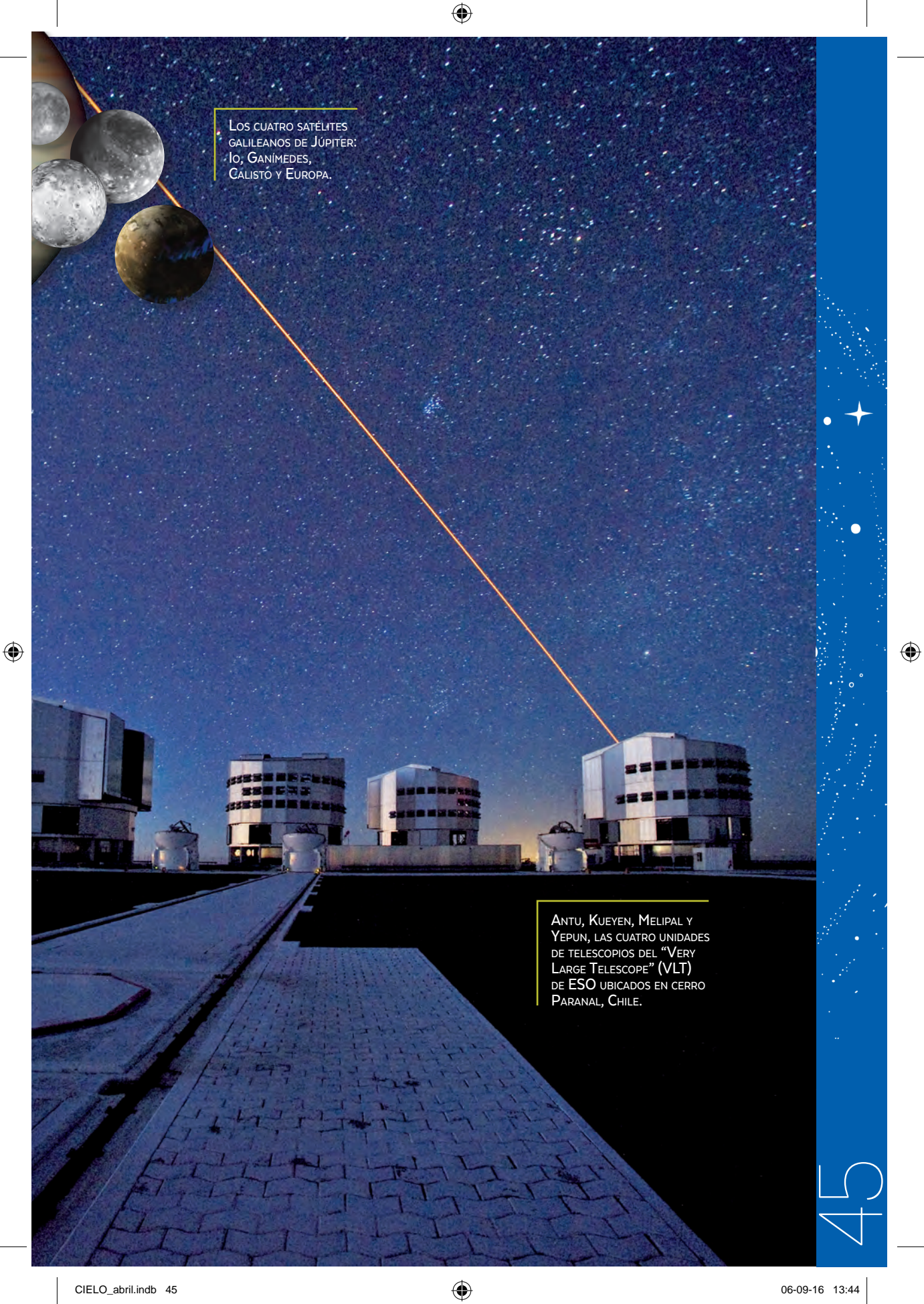
recoger y concentrar la luz visible que hay en el cielo, se abren posibilidades impensadas para el conocimiento de nuestro Universo.

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.





GROTE REBER Y EL RADIOTELESCOPIO, 1937.



## 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.

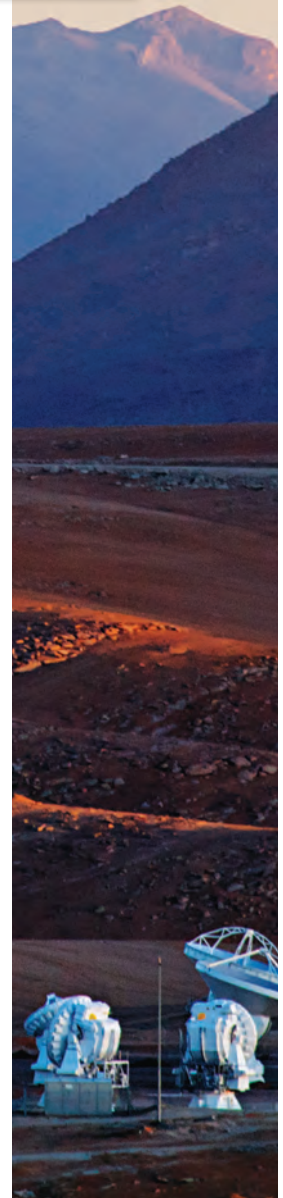
En 1937, el científico estadounidense Grote Reber inventó el radiotelescopio, un aparato capaz de captar las ondas de radio.

**EN LUGAR DE UNLENTE 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.

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 Llano de 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. ★



30

36

40

68

84

229

46

MIRADOR





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



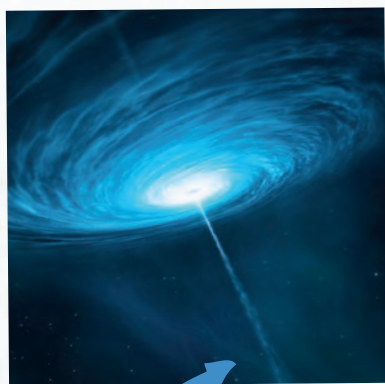
## ASTEROIDES

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

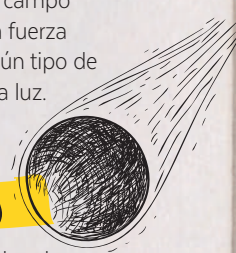
Son invisibles, se forman porque una estrella de gran tamaño colapsa por su propia gravedad -es como si una gran cantidad de materia quisiera entrar en un espacio muy reducido-. Este hoyo negro forma un campo gravitacional de tanta fuerza que no deja salir ningún tipo de partícula, ni siquiera la luz.



## 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.

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.



## ENANAS CAFÉ

56

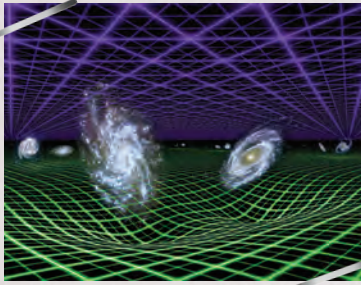
70

98



## 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 gamma.



## 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.

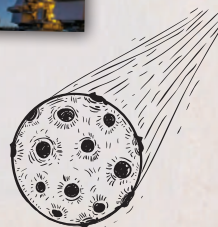
## VÍA LÁCTEA

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 meteoroide más rápido se desplaza a 42 km por segundo.



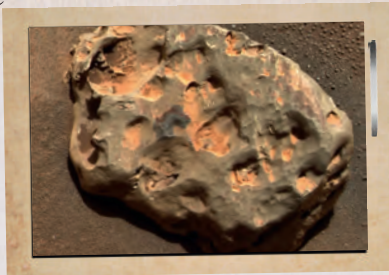
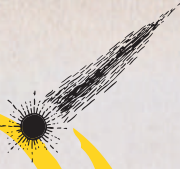
70

128



## METEORO

Un meteorioide 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.



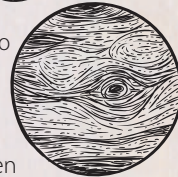
## METEORITO

Es un meteorio 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.



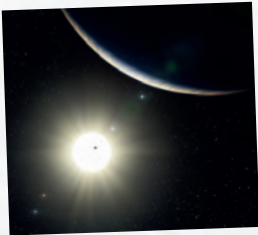
## PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR

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 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. ★



- 1
- 2
- 3





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

TRABAJANDO  
PARA EL  
ENCUENTRO

1

P. 54

LA BÚSQUEDA QUE  
PARTIÓ EN LA  
MENTE DE  
UN INDIÓ

2

P. 56

SERENDIPIA: EL  
AZAR Y EL  
DESCUBRIMIENTO  
CIENTÍFICO

3

P. 58

53

# 1

## TRABAJANDO PARA EL ENCUENTRO

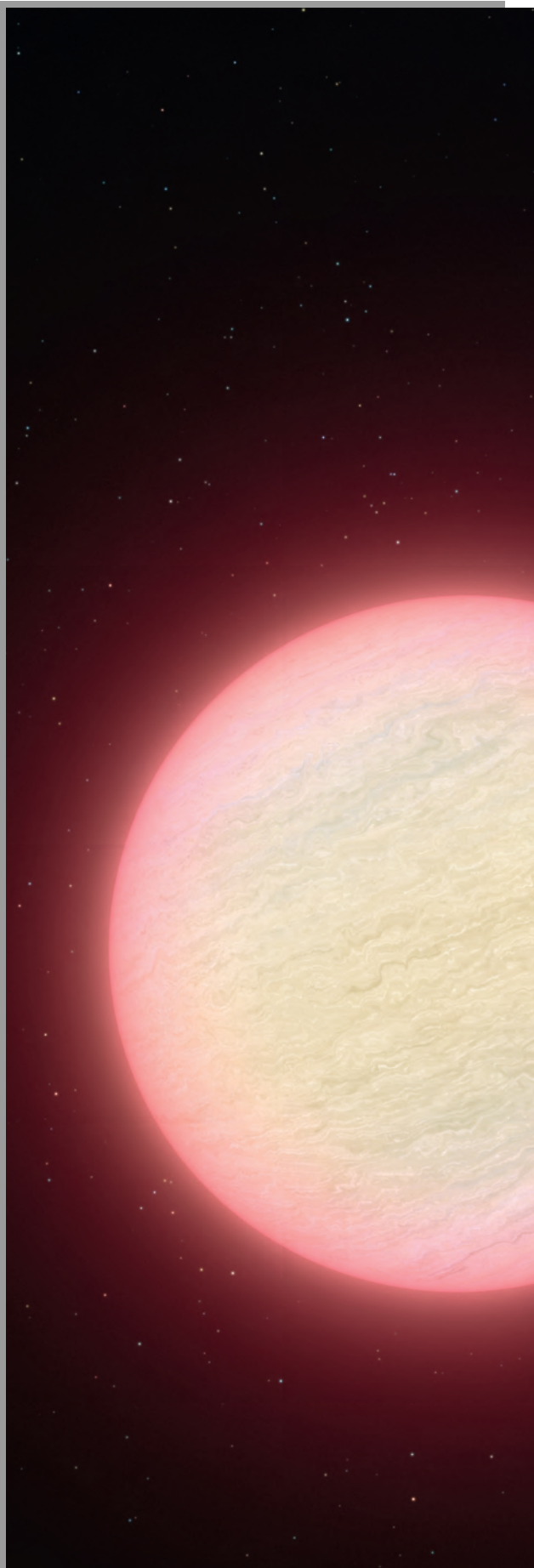
En una noche fría de marzo de 1997, la astrónoma chilena María Teresa Ruiz observaba los cielos con un telescopio de 3,6 m en el Observatorio La Silla. Buscaba las llamadas enanas blancas, esas estrellas muertas que se desprendieron de sus capas exteriores, que con el paso de miles de años se enfrían 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.

M I R A D O R





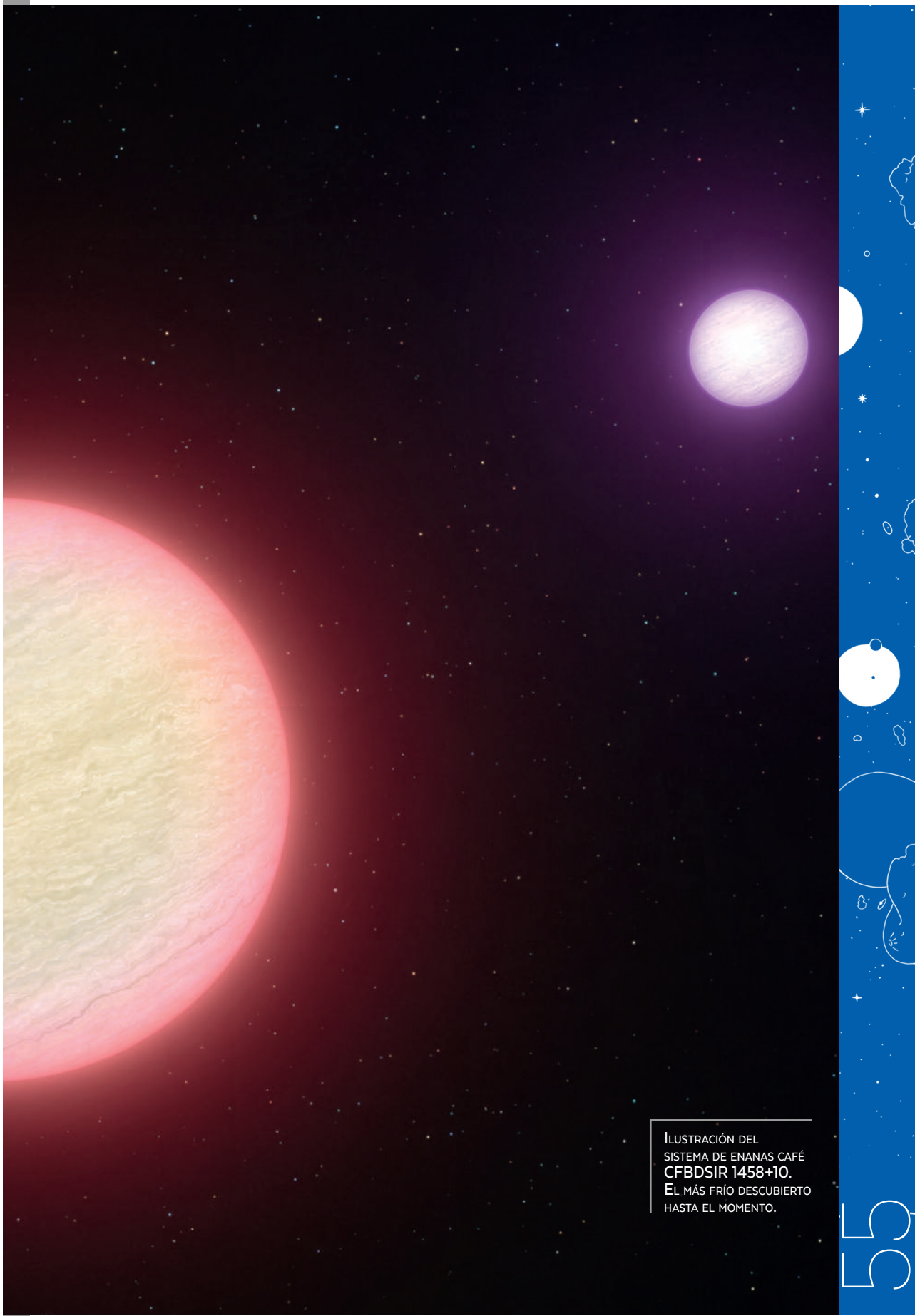


ILUSTRACIÓN DEL  
SISTEMA DE ENANAS CAFÉ  
CFBDSIR 1458+10.  
EL MÁS FRÍO DESCUBIERTO  
HASTA EL MOMENTO.

## 2

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”.

48

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



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

1

2

3

## 3

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. ★

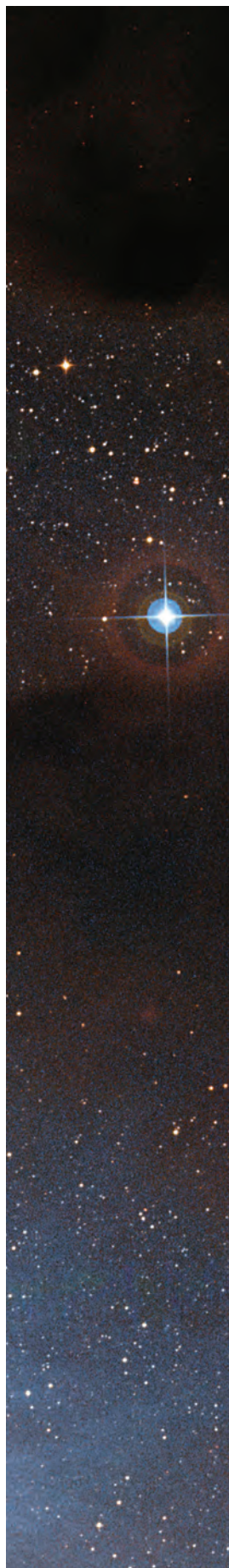
38

84

124

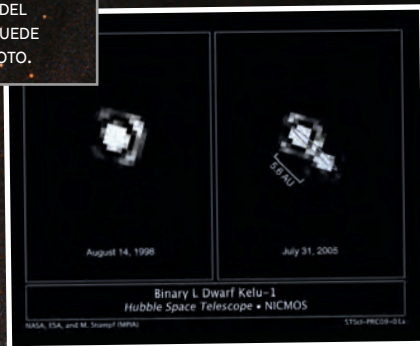
58

M I R A D O R





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.



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



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.

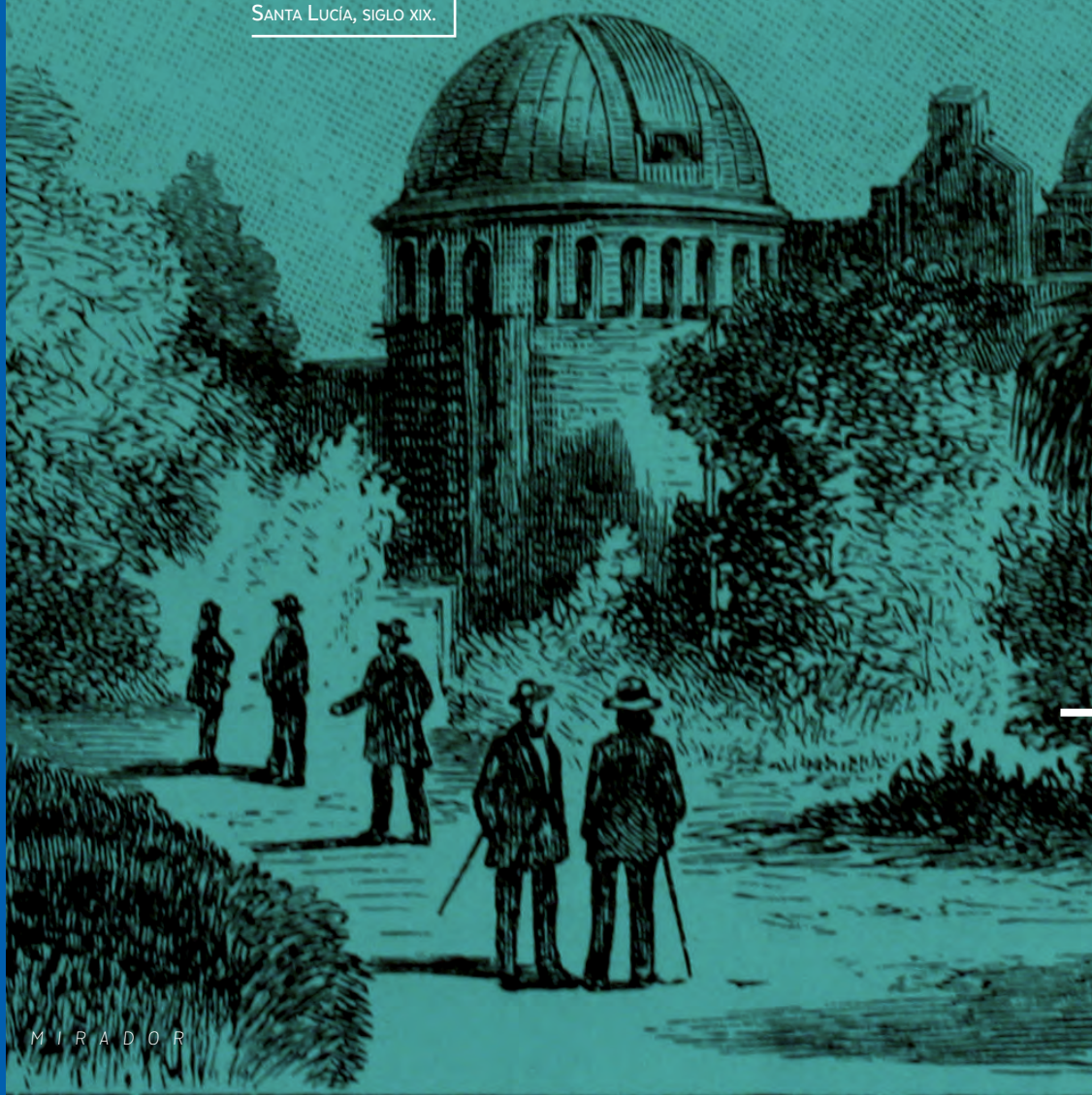
El cinturón de Orión era otro grupo de estrellas muy importante. Los rapanui lo nombraban Tauroru, que significa “los tres bellos”, y su aparición coincidente con la de Matariki, también marcaba el inicio del año. ★



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**

OBSERVATORIO CERRO  
SANTA LUCÍA, SIGLO XIX.



MIRADOR



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.

# 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

**E**n 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.

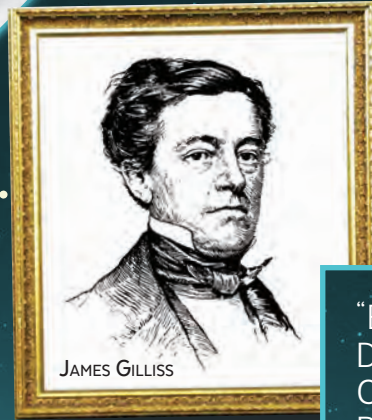
LA MISIÓN DESPERTÓ LA CURIOSIDAD DEL RECTOR DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, DON ANDRÉS BELLO, QUIEN CONSIDERÓ QUE EL TRABAJO DE GILLISS OFRECÍA UNA EXCELENTE OPORTUNIDAD PARA FORMAR GEÓGRAFOS Y ASTRÓNOMOS CHILENOS Y FUNDAR EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL.

M I R A D O R



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.

1

2

3

4

## 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 Ristepart. 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.



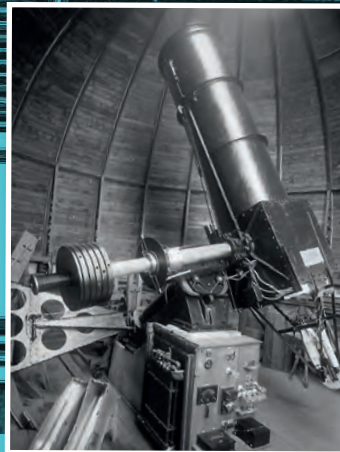
M I R A D O R



DIBUJO DEL OBSERVATORIO  
LO ESPEJO.

1852

1903



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

## 2

## EL INICIO DE LA COLABORACIÓN INTERNACIONAL

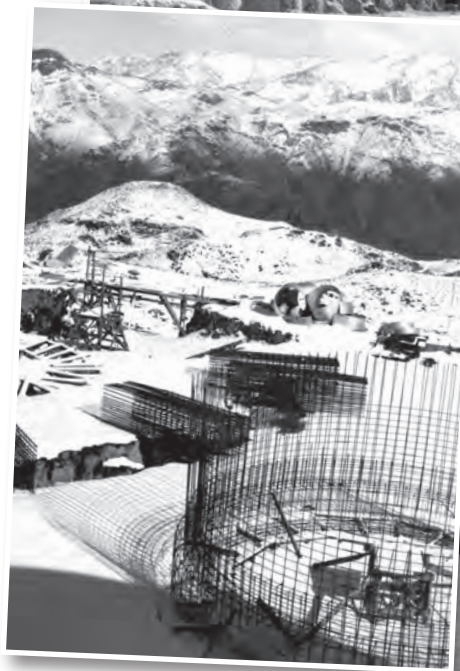
En 1950, la llegada de Federico Rutllant, astrónomo chileno y profesor de la Universidad de Chile, como director del observatorio (que desde 1927 dependía de esa institución) marcó un renacer no solo del observatorio sino de la astronomía nacional.

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

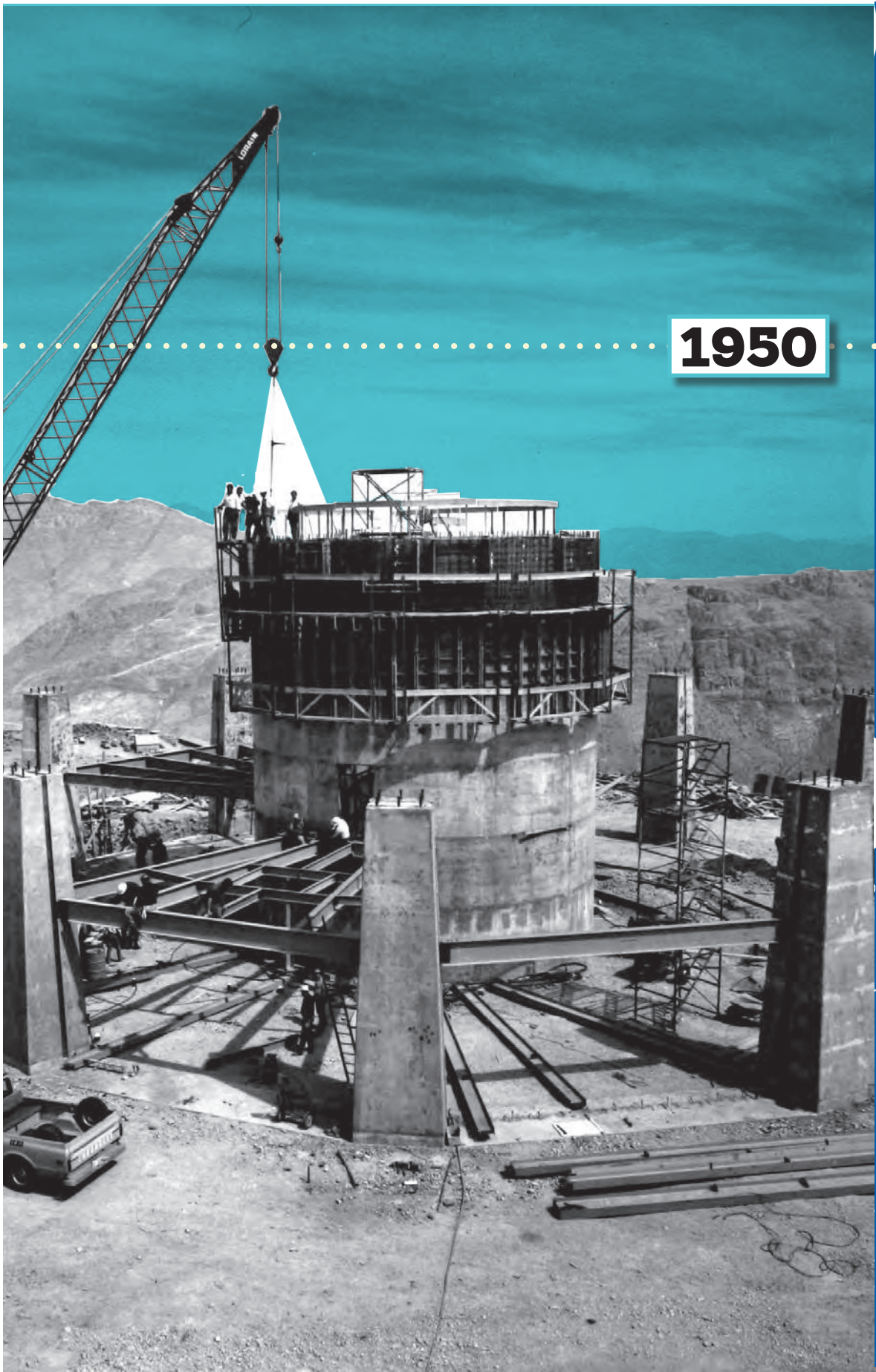
La primera medida de Rutllant fue trasladar el observatorio desde Lo Espejo a un lugar con óptimas condiciones de observación, fuera de la ciudad. El lugar elegido fue el cerro Calán, a 860 m sobre el nivel del mar, alejado del polvo urbano y libre de la contaminación lumínica. Las obras se iniciaron 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 radio-astronomía 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

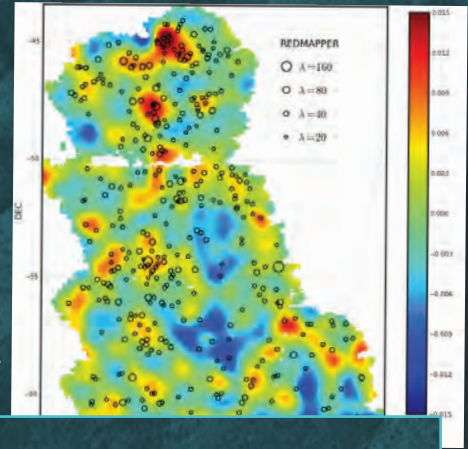
A comienzos de los sesenta organizó misiones conjuntas entre científicos de Estados Unidos y de Chile para recorrer el norte y analizar las condiciones de las cumbres chilenas, para instalar allí proyectos importantes de observación astronómica. La exploración los llevó al Tololo, al sur de Vicuña, un 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.

49

51

112



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 GRIS 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 ESTA EXPANSIÓN.

OBSERVATORIO  
INTERAMERICANO CERRO  
TOLOLO, CHILE, 2011.

1

2

3

4

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.

54

M I R A D O R







TELESCOPIO DE NUEVA  
TECNOLOGÍA (NTT)  
EN OBSERVATORIO  
LA SILLA, 1997.

**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  $0^{\circ}$  Y  $40^{\circ}$ , 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.

1

2

3

4

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.

88

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.





TELESCOPIOS DEL  
OBSERVATORIO LAS  
CAMPANAS, CHILE.

**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.

75

# CHILE: OBSERVATORIOS EN EL TIEMPO

HISTORIA DEL  
OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
NACIONAL



1852



1856



1903



1906

HISTORIA DEL  
OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
NACIONAL



1959



1960



1962



1962



1969



1976



1999



2002



2013



2020



2020



2022

ATARDECER EN EL  
OBSERVATORIO  
DE PARANAL.

MIRADOR



	SUPERFICIE DE RECOLECCIÓN	ALTURA (MSNM)	UBICACIÓN
<b>OBSERVATORIO CERRO SANTA LUCÍA</b>	15 cm	629	Cerro Santa Lucía, Santiago
<b>OBSERVATORIO QUINTA NORMAL</b>	15 cm	522	Quinta Normal, Santiago
<b>OBSERVATORIO MANUEL FOSTER</b>	1 m	880	Cerro San Cristóbal
<b>OBSERVATORIO LÓ ESPEJO</b>	60 cm	545	Lo Espejo, Santiago
<b>OBSERVATORIO MAIPÚ</b>	1.200 m	488	Maipú, Santiago
<b>ESTACIÓN ASTRONÓMICA CERRO EL ROBLE</b> <i>*primer observatorio internacional*</i>	1 m	2.222	Cerro El Roble, Santiago
<b>OBSERVATORIO CERRO CALÁN</b>	60 cm	860	Las Condes, Santiago
<b>OBSERVATORIO CERRO TOLOLO</b>	4 m	2.200	Cerro Tololo, Coquimbo
<b>OBSERVATORIO LA SILLA</b>	3,6 m y 10 m	2.400	La Higuera, Coquimbo
<b>OBSERVATORIO LAS CAMPANAS</b>	6,5 m	2.510	Cerro Las Campanas, Coquimbo
<b>OBSERVATORIO PARANAL</b>	8,2 m	2.456	Cerro Paranal, Antofagasta
<b>OBSERVATORIO GEMINI</b>	8,1 m	2.456	Cerro Pachón, Antofagasta
<b>OBSERVATORIO ALMA</b>	16 km <i>(todas las antenas)</i>	5.000	Llano de Chajnantor, Antofagasta
<b>LSST (LARGE SYNOPTIC SURVEY TELESCOPE)</b>	8,4 m	2.456	Cerro Pachón, Antofagasta
<b>TELESCOPIO GIGANTE DE MAGALLANES (GMT)</b>	24,5 m	2.510	Cerro Las Campanas, Coquimbo
<b>TELESCOPIO EUROPEO EXTREMADAMENTE GRANDE (E-ELT)</b>	39 m	3.000	Cerro Armazones, Antofagasta

## 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.

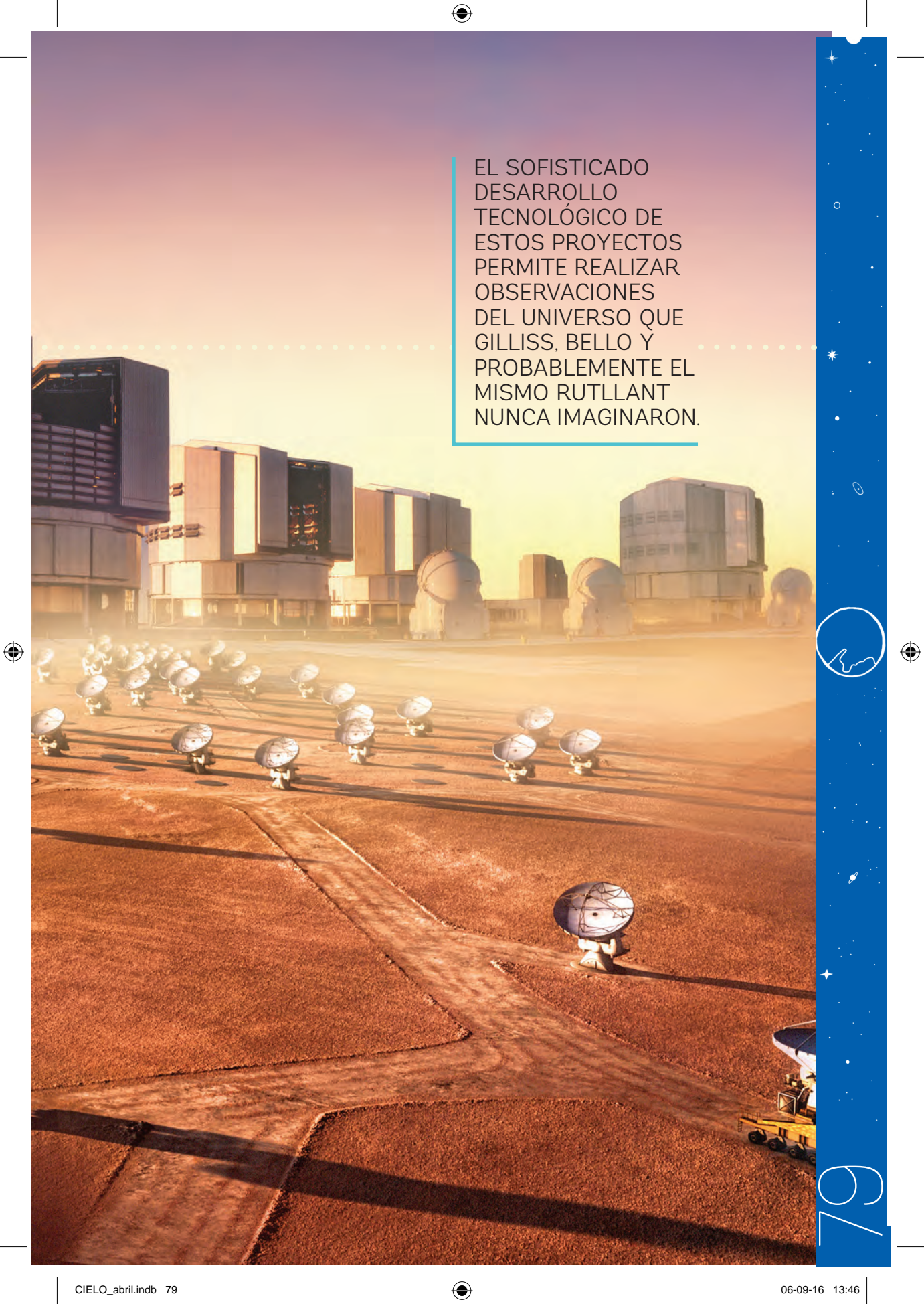
Las iniciativas de colaboración científica internacional continúan y harán que al año 2020, un 70% del área recolectora de los telescopios de gran tamaño del mundo converja en Chile.

30

78

MIRADOR



An aerial photograph of a radio telescope array, likely the ALMA observatory, during sunset. The foreground shows a dirt road and several large parabolic dish antennas. In the background, there are several large, modern buildings and more antennas. The sky is a mix of orange, yellow, and purple. A blue vertical bar on the right side of the page contains a white outline of a map of Chile and the number 67.

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

1

2

3

4

## 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 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.**

M I R A D O R



**UBICACIÓN:**  
CERRO PARANAL, REGIÓN  
DE ANTOFAGASTA

**ALTURA:** 2.600 MSNM

**TELESCOPIOS:**  
VERY LARGE TELESCOPE (VLT),  
VERY LARGE TELESCOPE  
INTERFEROMETER (VLTi)



1999

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.**

M I R A D O R

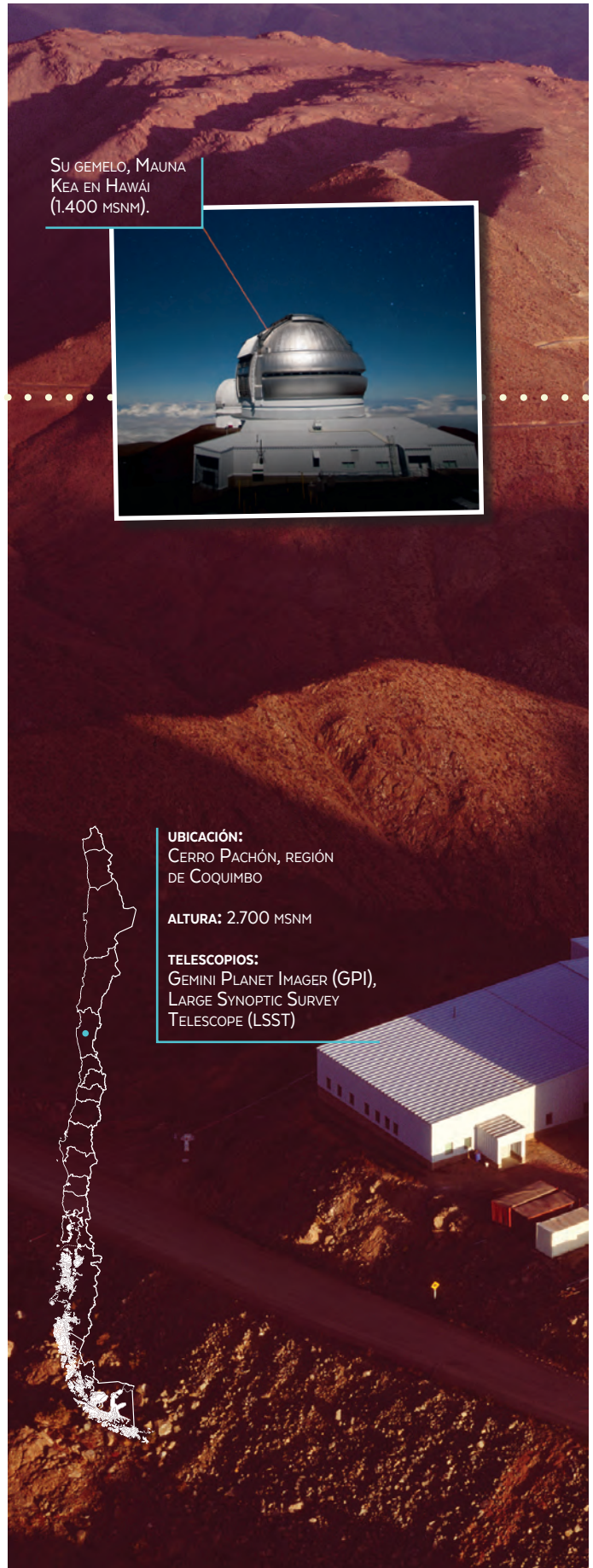
SU GEMELO, MAUNA KEA EN HAWÁI (1.400 MSNM).



**UBICACIÓN:**  
CERRO PACHÓN, REGIÓN DE COQUIMBO

**ALTURA:** 2.700 MSNM

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







**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.





## ALMA

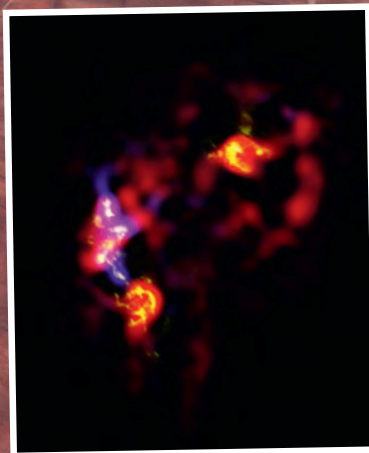
A fines del siglo XX, en Estados Unidos, Europa y Asia, distintos grupos de científicos desarrollaban telescopios para observar ondas milimétricas y submilimétricas del espectro de luz invisible que pueden llegar desde las zonas más frías del espacio interestelar. Los astrónomos decidieron unir sus fuerzas 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 millones 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.

M I R A D O R

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.



50

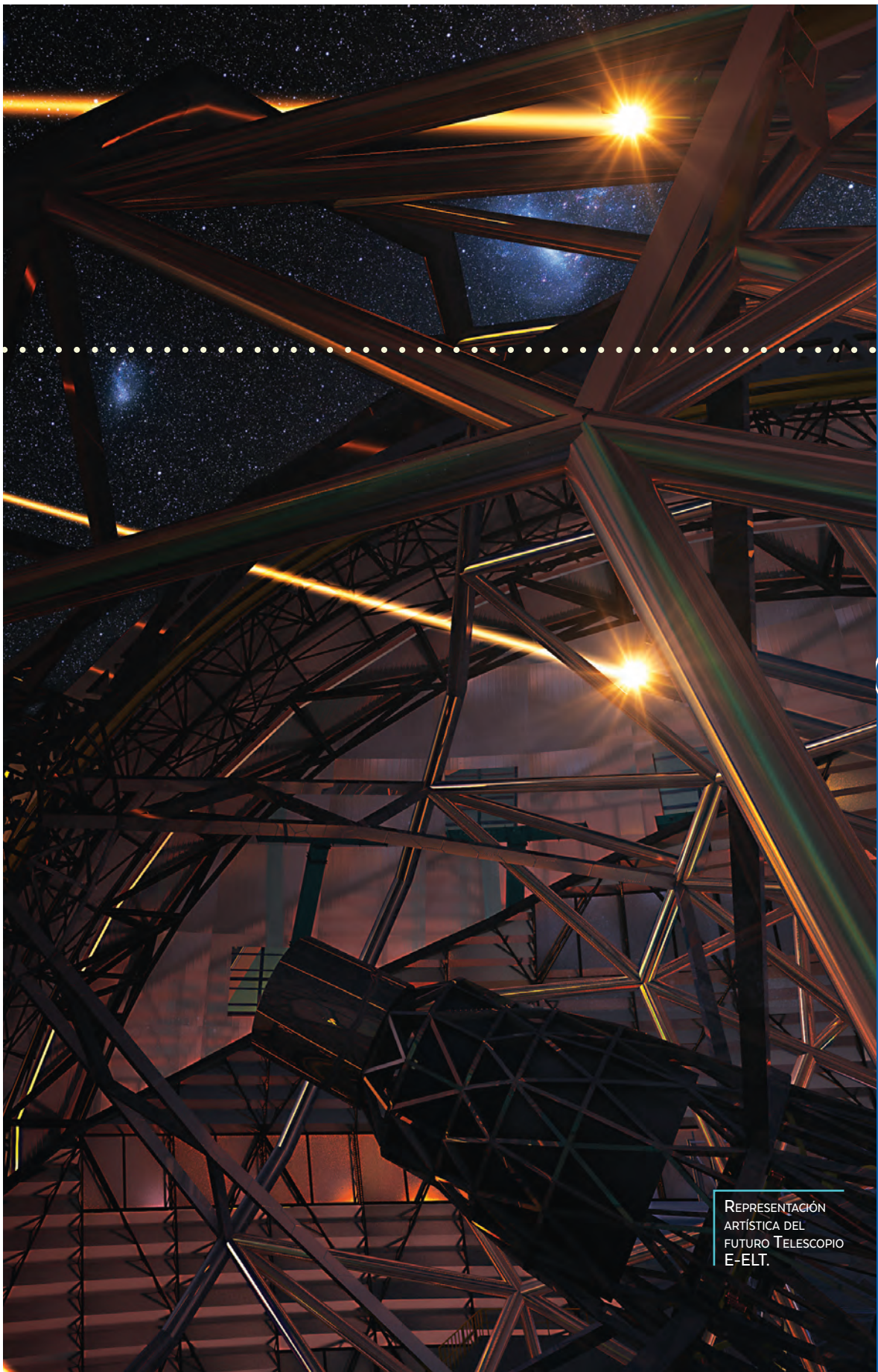


## 4 CADA VEZ MÁS LEJOS EN EL TIEMPO Y EL ESPACIO

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.





1

2

3

4

## 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.

74

M I R A D O R



**UBICACIÓN:**  
CERRO LAS CAMPANAS,  
REGIÓN DE ATACAMA

**ALTURA:** 2.500 MSNM





**2020**

ILUSTRACIÓN  
TELESCOPIO GMT.

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.

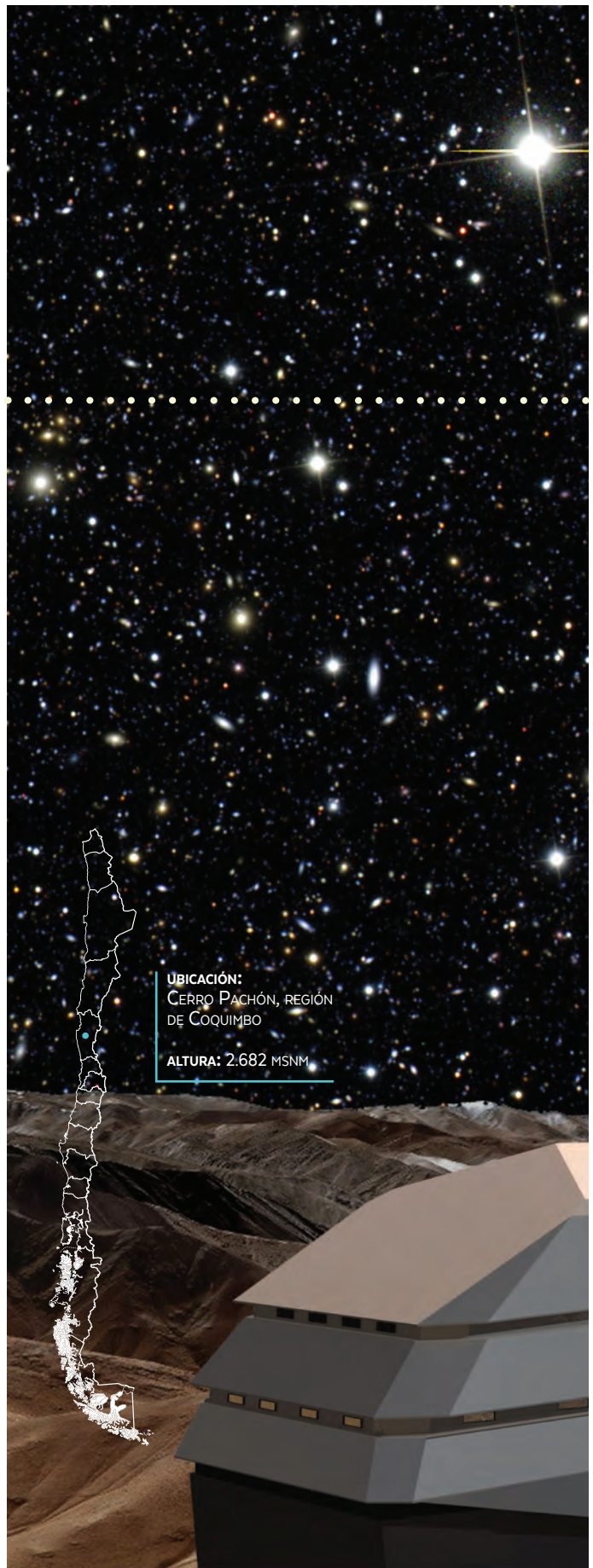
128

255

222

06  
00

M I R A D O R





2020



ILUSTRACIÓN DEL CIELO  
ESTRELLADO SOBRE EL  
FUTURO LSST.

91

1

2

3

4

## 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.

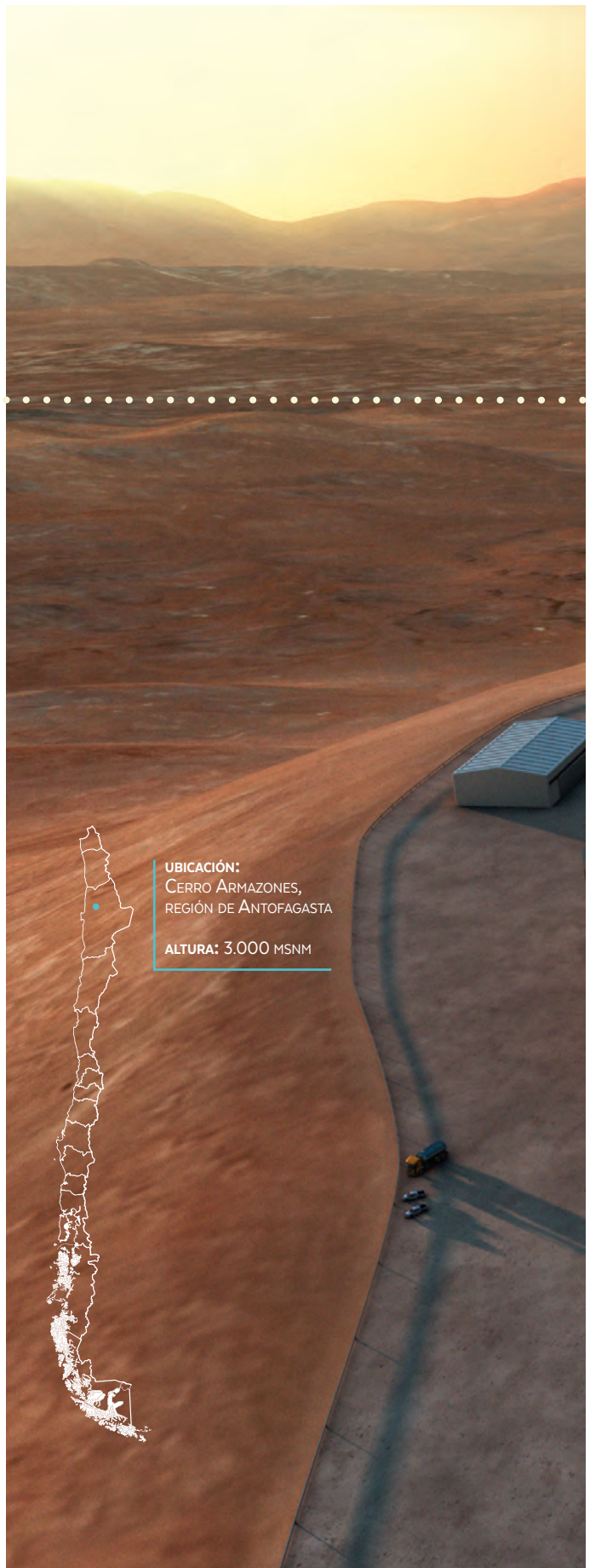
**PARA ACONDICIONAR LA CIMA DEL CERRO ARMAZONES, SE DEBEN REMOVER 220 MIL METROS CÚBICOS DE TIERRA. ESTA CIMA RECIBIRÁ LA ESTRUCTURA DE 150 M POR 300 M DE BASE Y 80 M DE ALTURA QUE SOPORTARÁ EL TELESCOPIO EUROPEO EXTREMADAMENTE GRANDE, DE 39 M DE DIÁMETRO.**

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.

46

92

M I R A D O R








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


2022

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 chininitas, 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 chininitas 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 chininitas 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 chininitas en un compartimento especial que se abriría una vez que el transbordador estuviera en el espacio, para comprobar que las chininitas podían controlar una plaga de pulgones fuera de la Tierra. Desde los laboratorios de la NASA, las estudiantes monitoreaban el comportamiento de las chininitas 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 chininitas, 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 jóvenes científicas, cuyo proyecto puede ser fundamental para alimentar a los futuros colonos del espacio. ★







IVONNE MARTÍNEZ,  
NATALIA CASTILLO,  
NATALIA OJEDA Y  
KLAUS VON STORCH  
EMPRENDIENDO EL  
VIAJE A LA NASA.





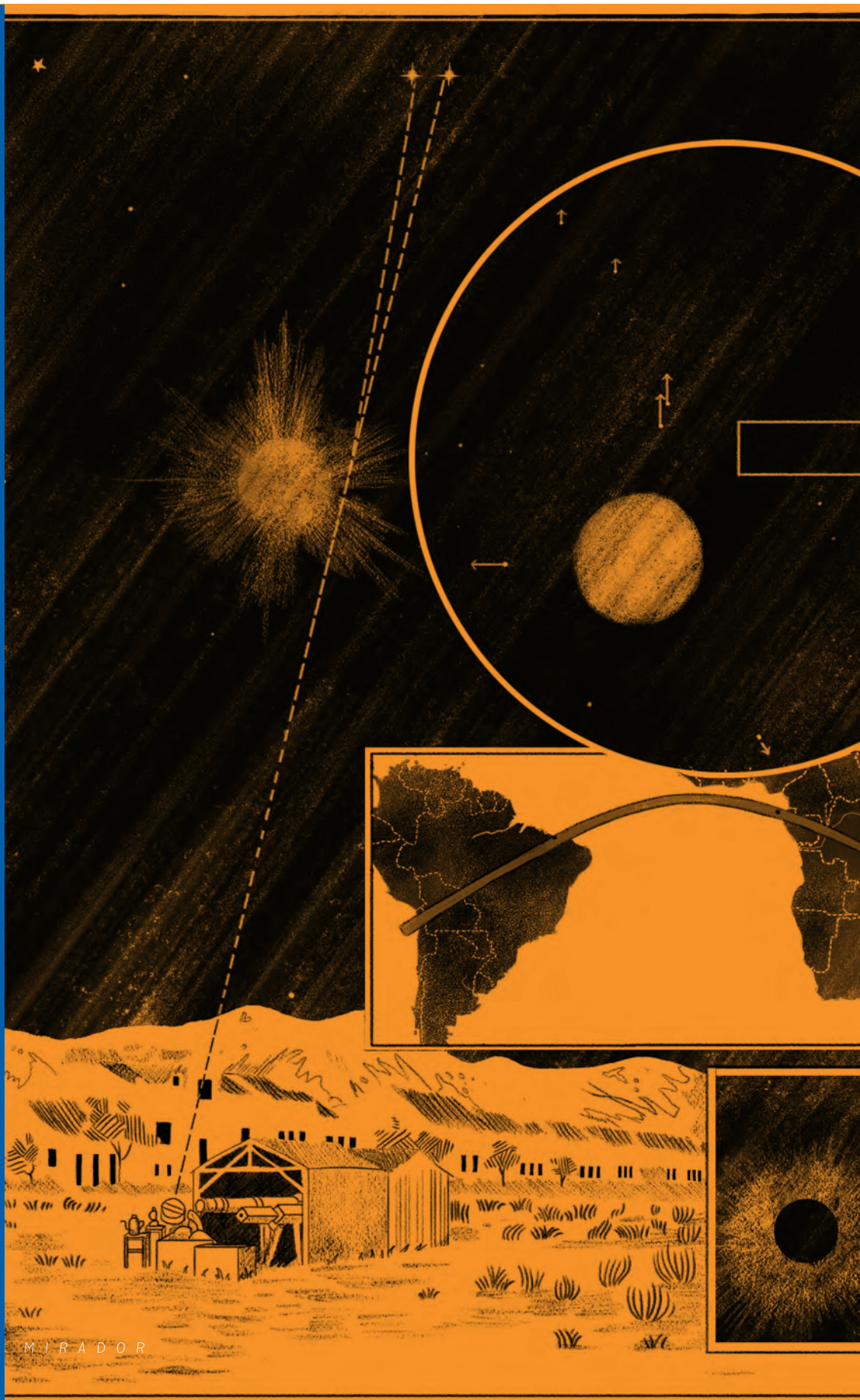




# SoMOS POLVO DE ESTReLLAS

¿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.

**Extracto de  
CANTO CÓSMICO  
Ernesto Cardenal**



MIRADOR



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.


En 1919, 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.

M I R A D O R



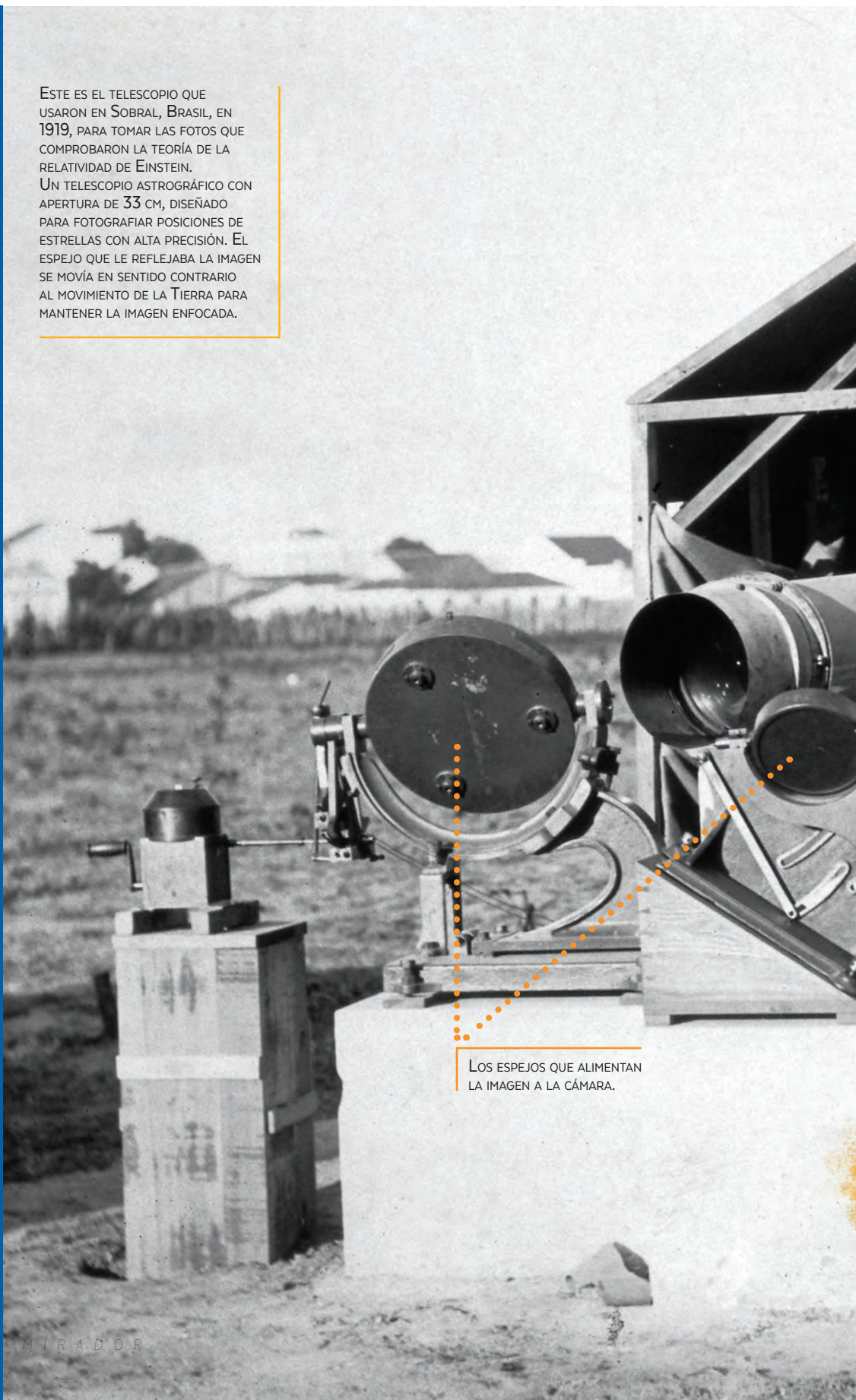




FOTOGRAFÍA DEL ECLIPSE  
DE 1919 TOMADA EN UNA  
DE LAS EXPEDICIONES DE  
SIR ARTHUR EDDINGTON.


ESTE ES EL TELESCOPIO QUE USARON EN SOBRAL, BRASIL, EN 1919, 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.



LOS ESPEJOS QUE ALIMENTAN LA IMAGEN A LA CÁMARA.

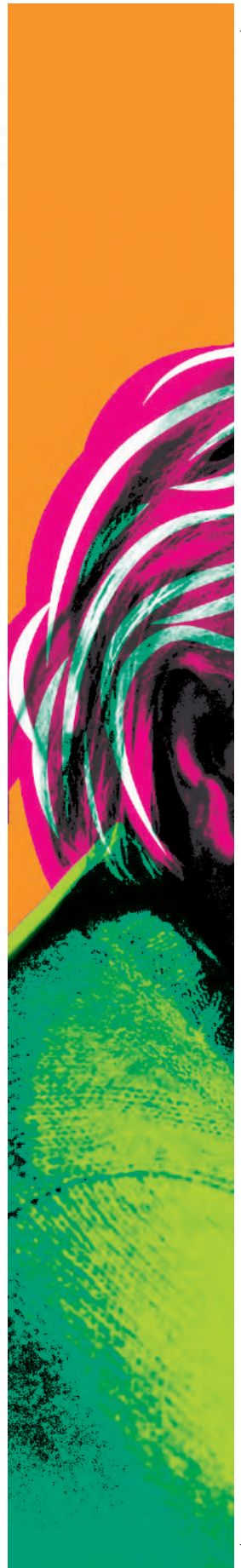
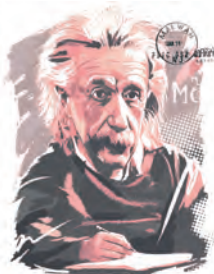
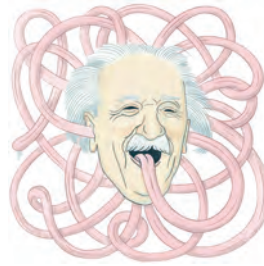




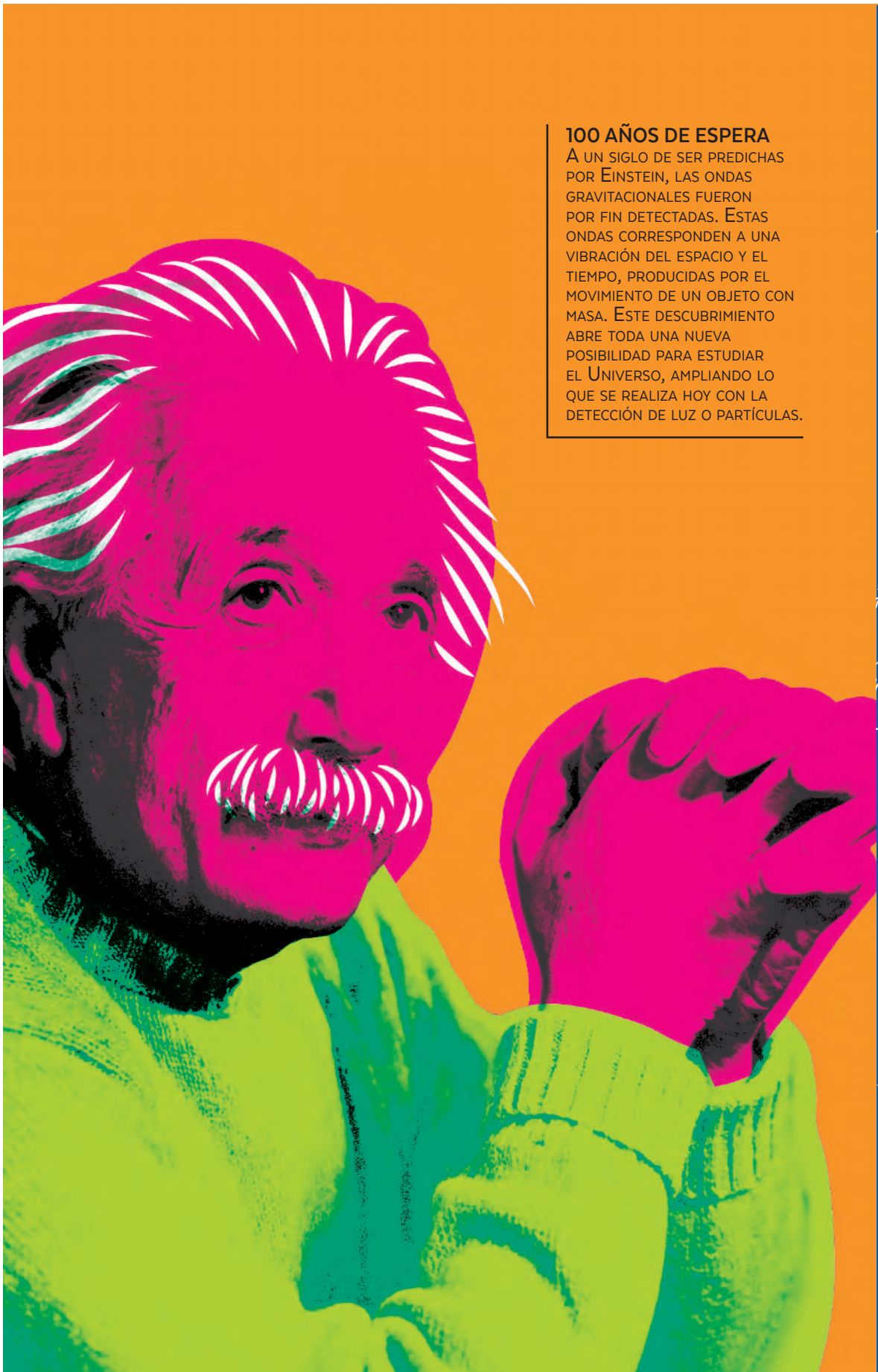
LA PLACA FOTOGRÁFICA, A UN COSTADO, FUE LA QUE TOMÓ LA FOTOGRAFÍA DEL ECLIPSE PRESENTADO EN LA PÁGINA ANTERIOR.



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 GRAVITACIONALES 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

1

P. 110

EL PREMIO NOBEL

2

P. 112

109

# 1 COLABORACIÓN

**D**urante décadas, los astrónomos chilenos José Maza y Mario Hamuy, premios nacionales de Ciencias Exactas en los años 1999 y 2015, respectivamente, han escudriñado el cielo desde distintos observatorios de Chile en busca de supernovas, aquellas 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 mediados de los noventa se desarrolló una iniciativa científica chileno-estadounidense de búsqueda sistemática de supernovas: el proyecto se denominó Calán-Tololo, un esfuerzo donde se unieron la Universidad de Chile y el Observatorio Interamericano Cerro Tololo.

Mario Hamuy, quien en ese entonces era asistente de investigación en cerro Tololo, se encargaba de tomar imágenes del cielo, las que quedaban capturadas en placas fotográficas donde se sospechaba que se podría estar produciendo la muerte fulgurante de estas estrellas, las que eran enviadas posteriormente a cerro Calán. Allí, el académico de la Universidad de Chile, 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

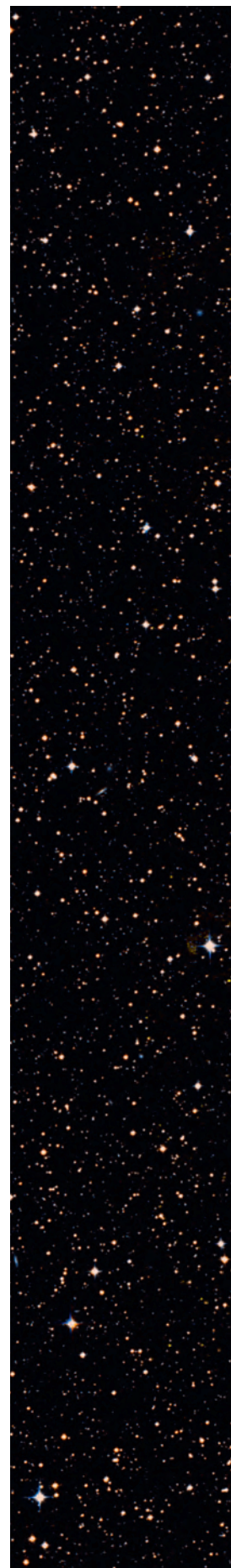
a estudiarla y registrarla, esta vez utilizando un telescopio equipado con tecnología CCD, mucho más sensible a la luz y que al tener formato digital podía guardarse en un computador y ampliarse. Con dicha metodología, el equipo Calán-Tololo logró identificar 50 supernovas en tres años.

**EL PROPÓSITO DE MAZA Y HAMUY NO ERA SOLO DESCUBRIR 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. ÉSTO 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 no permitía establecer un patrón, pues subsistía una de las grandes dudas de la astronomía.

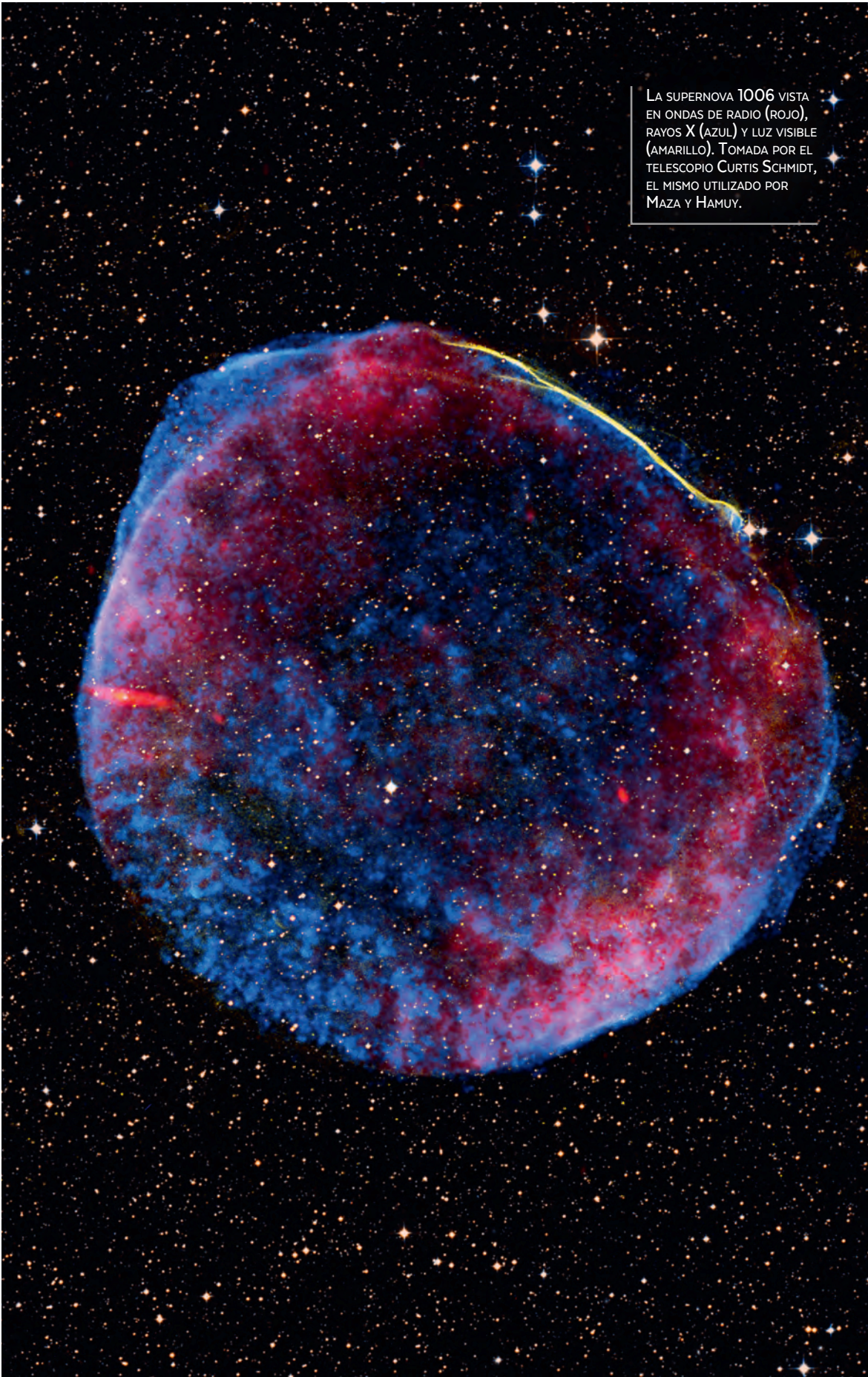
Cuando se ve algo muy brillante en el cielo, ¿es porque su luz es muy intensa o se ve así porque está más cerca? El equipo científico de Calán-Tololo, personificado esta vez en el astrónomo estadounidense Mark Phillips, luego de observar la evolución de la luminosidad de varias supernovas, lo que los astrofísicos denominan las “curvas de luz”, propuso una fórmula matemática para medir las distancias estableciendo una correlación entre el momento de máxima luminosidad y el tiempo que demoraba en extinguirse.

M I R A D O R





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 astrofísicos estadounidenses Saul Perlmutter, Brian Schmidt y Adam G. Riess, el primero líder del *Supernova Cosmology Project* de la Universidad de Berkeley, y los otros dos, respectivamente, líder y miembro asociado del *High Z Supernova Search* de la Universidad de Harvard, se apoyaron en la ecuación matemática del proyecto Calán-Tololo y los datos de las varias supernovas descubiertas en los cielos del norte chileno, lo que les permitió continuar investigando, pero esta vez buscando supernovas más lejanas. Luego de un largo proceso de estudio concluyeron lo que hasta entonces era inimaginable: el Universo se expande de manera acelerada.

Cerca de una década más tarde, el año 2011, los tres astrofísicos serían reconocidos con la máxima distinción que un científico de la disciplina puede recibir, el Premio Nobel de Física, gracias a sus aportes en el hallazgo de la expansión acelerada del Universo a través de observaciones de supernovas distantes.

En la justificación del galardón, otorgada por la Real Academia de Ciencias de Suecia se reconoció explícitamente el trabajo hecho por el proyecto Calán Tololo. A lo anterior se agregó que los dos líderes de los grupos galardonados, Saul Perlmutter y Brian Schmidt, mencionaron en sus ponencias de agradecimientos el trabajo chileno-estadounidense como un aporte en el camino que inaugura una nueva etapa para la astronomía y que abre un nuevo espacio para el conocimiento y la comprensión de nuestro Universo.

1996

PRESENTACIÓN DE  
LA CALIBRACIÓN  
FINALQUE MIDE LAS DISTANCIAS  
A LAS GALAXIASGRUPO  
CALÁN-TOLOLO

1998

APLICACIÓN DE  
LA CALIBRACIÓN  
A SUPERNOVAS  
LEJANASDESCUBRIMIENTO DE LA ACELERA-  
CIÓN DE LA EXPANSIÓNHIGH Z SUPERNOVA  
SEARCH (HARVARD)  
Y SUPERNOVA  
COSMOLOGY  
PROJECT (BERKELEY)

2011

PREMIO NOBEL  
DE FÍSICA  
BRIAN SCHMIDT,  
ADAM RIESS Y  
SAUL PERLMUTTER

70

68

125

128

162



# 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 VENIDEROS 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 ★**

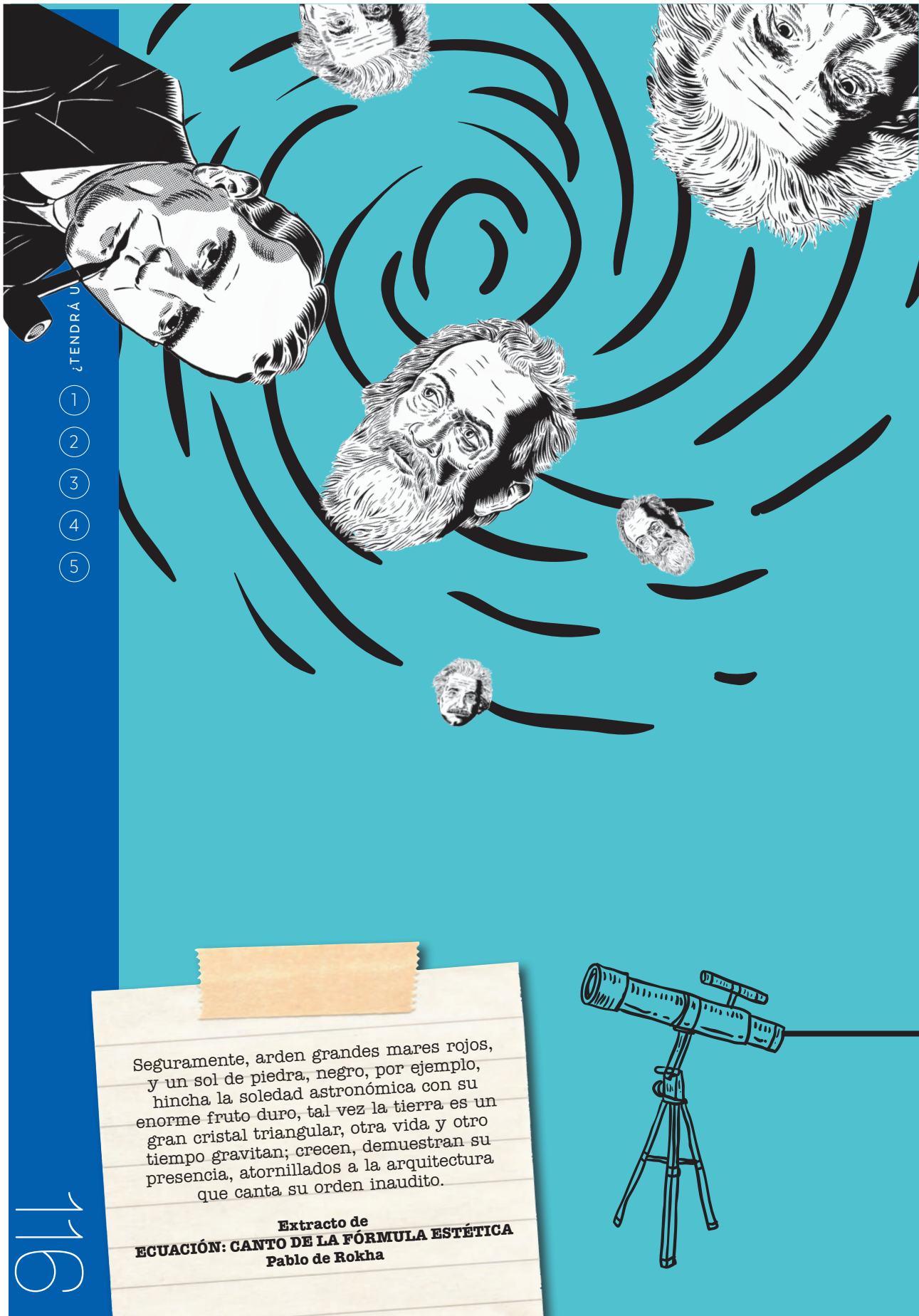






ADAM G. RIESS,  
BRIAN SCHMIDT Y  
SAUL PERLMUTTER,  
GANADORES DEL PREMIO  
NOBEL DE FÍSICA 2011.





¿TENDRÁ U

1

2

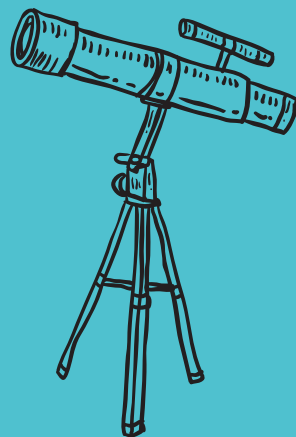
3

4

5

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 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?

LA SORPRESA DE QUE EL UNIVERSO SE MUEVE

**1**

P. 118

LOS CONFLICTIVOS INICIOS DEL BIG BANG

**2**

P. 122

LA HISTORIA ES CADA VEZ MÁS CLARA...

**3**

P. 126

¿TENDRÁ TODO UN FINAL?

**4**

P. 128

¿QUÉ VENDRÁ?

**5**

P. 130





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

**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.**

M I R A D O R





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.

M I R A D O R

**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 &amp; HUBBLE

40

58

113

266

124



# PENSANDO SOBRE LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO



1

2

3

4

5

## 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.

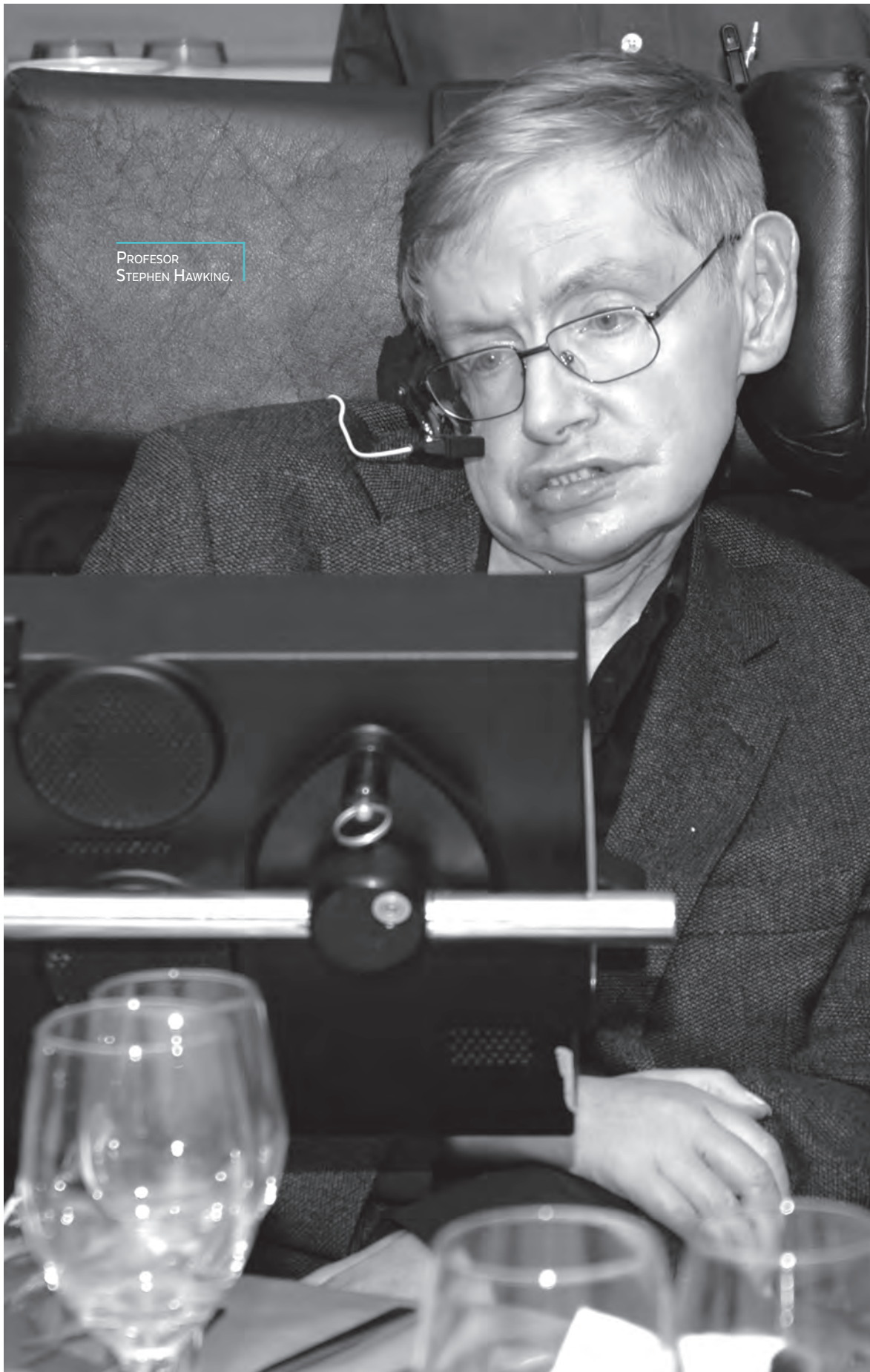
La disminución del volumen continuará, y eventualmente la masa llegará a ocupar tamaños más pequeños que un átomo. En completa analogía con el Big Bang, será necesario un tratamiento cuántico.

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 PUEBLAN NUESTROS COSMOS.**



PROFESOR  
STEPHEN HAWKING.



## 4

## ¿TENDRÁ TODO UN FINAL?

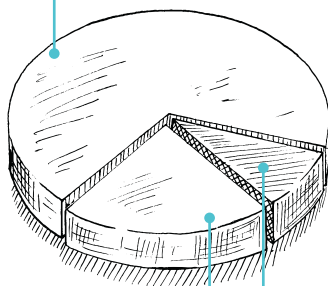
LLAMA LA ATENCIÓN QUE LA CIENCIA DEDIQUE TANTO TIEMPO A COMPRENDER EL ORIGEN DEL UNIVERSO Y MUCHO MENOS AL FUTURO, INCLUSO A SU POSIBLE FIN.

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 maléfica 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, los animales 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.

51

90

110

112





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. ★**

22

102

130

MIRADOR







EL MUNDO  
DE ALMA  
DE NOCHE.

# LANE

132

MIRADOR

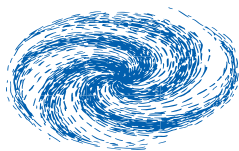


XOS

EL  
CIE  
1 LO

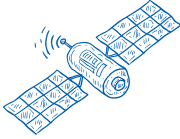
133

# ÍNDICE DE IMÁGENES



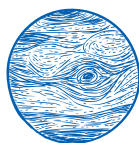
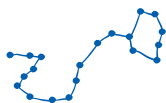
- 10-11** Una larga serie de exposición en la noche capturó estas impresionantes estrellas sobre el Observatorio de Paranal. (ESO/B. Tafreshi twanight.org)
- 12-13** Alcanzar el cielo desde Chile. Ilustración de la evolución del Chilesaurio hasta nuestra época, como siempre hemos mirado hacia el cielo. (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)
- 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 Copérnico. (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, Ganimedes 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** Grote Reber, cerca de 1937. (NRAO)
- 46** Grote 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 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 de 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** **Kelū, 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 de 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**, 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.** (NOAO/AURA/NSF)
- 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. (NOAO/AURA/NSF)
- 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 el desierto de Atacama, en Chile. (ESO/J. Girard/djulik.com)
- 76-77** **Íconos observatorios en el tiempo.** (Max Elbo)
- 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, Paranal. (ESO/A. Ghizzi Panizza [www.albertoghizzipanizza.com](http://www.albertoghizzipanizza.com))
- 82** **Imagen nocturna del Observatorio Gemini Norte,** en la cima del Mauna Kea. El Canadá-Francia-Hawaii 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](http://skysurvey.org))
- 89** **Futuro telescopio GMT,** (Giant Magellan Telescope), que se ubicará en el cerro Las Campanas en la Región de Atacama. (© 2016 GMT 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)
- 108-109** **Imagen de la zona de la supernova SN 1987A**, tomada con el NTT, a la luz de nitrógeno ionizado. (ESO)
- 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 del Llano de Chajnantor**, que abarca unos 180° de norte a sur, 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.



**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

## 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.





**Brian Schmidt,**  
Ideas sobre Astronomía.



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



**Gaspar Galaz,**  
ALMA: Los futuros descubrimientos del Universo.



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



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



**Guido Garay,**  
¿Cómo nacen las estrellas?



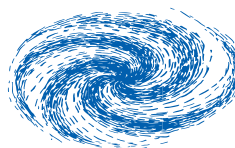
**Mario Hamuy,**  
Democratizando la Astronomía en la nueva era digital.



**María Teresa Ruiz,**  
Vida y muerte de las estrellas.



**Biblioteca del Congreso Nacional IV Congreso del Futuro.** Las encrucijadas del siglo XXI.



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



**Alejandro Clocchiatti,**  
Escalas de tiempo cósmicas.



# ÍNDICE TEMÁTICO

Academia de Ciencias de la Unión Soviética, **14, 72**

actividad orgánica, **216**

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

agricultura, **9, 66**

Aguilera, Felipe, **230, 229**

agujero negro, **48, 50, 80, 126**

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

Altazor, **8, 101**

Antú (telescopio), **45, 80, 81**

Año Geofísico Internacional, **237**

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, **32, 74, 88, 219, 217, 215, 192, 189, 153**

Atacama, desierto de, **30, 31, 36, 38, 39, 46, 47, 84**

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, 79**

Belmonte, Juan Antonio, **60**

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

Bolivia, **209**

brontosaurio, **160**

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

Cabo Cañaveral, **96**

Caicai Vilú, **171, 170**

Calbuco (volcán), **234, 226**

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

cambio climático, **257, 235, 222**

climatólogo, **235**

campo gravitacional, **48, 102**

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

Campos, Jaime, **177, 205, 206**

Canarias (archipiélago), **30**

Carbón, **233, 216, 214, 212, 210, 208**

carbono, **80, 98, 124,**

Cardenal, Ernesto, **99**

Carnegie Institution, **68, 74**

Carrán (volcán), **266**

Carrasco, Gabriel, **169**

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

Centro Sismológico Nacional, **237**

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

Cerro Ballena, **152**

cerro Calán, **68, 110**

Calán-Tololo (Proyecto), **110, 112, 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, 9, 14, 28, 30, 32, 38, 44, 49, 54, 56, 66, 70, 74, 80, 82, 88, 90, 91, 92, 102, 109, 110, 112, 118, 130, 144, 277, 257, 255, 213, 195, 172, 169,**

ciencia(s), **6, 9, 22, 24, 28, 58, 65, 86, 106, 112, 117, 118, 120, 122, 126, 128, 130, 277, 237, 229, 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, 245, 235, 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), **274, 270, 224, 221, 213, 211, 209, 177**

cordillera de Domeyko, **155,**

cordillera de la Costa, **36, 80, 215**

cordillera de los Andes, **32, 36, 238, 233, 224, 213, 211, 209, 145, 153**

cordillera Incaica, **211**

corriente Circumpolar Antártica, **209**

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

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, 163, 159**

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

de Rokha, Winétt, **53**

Descabezado Grande (volcán), **227**

descubrimiento(s), **6, 7, 56, 57, 58, 82, 107, 112, 113, 114, 120, 124, 144, 249, 183, 165, 163, 155, 145**

desintegración radioactiva, **267**



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, 55, 56, 57, 58, 59, 75**

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

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

erosión, **223, 218, 217, 211, 210**

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

Escorpio, **36**

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, 44, 48, 49, 50, 51, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 66, 72, 80, 82, 84, 88, 98, 99, 102, 104, 110, 118, 124, 126, 128, 144**

Eta Carinae, **80**

eto astronómica(o), **60**

etnográfica, **60**

exoplaneta, **44, 51, 73, 82**

extinción(es) masivas, **255, 222, 216, 213, 153**

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

falla de Atacama, **192**

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

falla de Magallanes, **191**

falla(s) geológica(s), **225, 193, 175**

fallas sísmicas, **205**

filósofo(s), **24, 26**

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, 112, 120, 123, 126, 128, 129, 184**

Galaxias Antena, **84**

Gale (cráter), **17**

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

gamma (rayos), **41, 50**

Gamow, George, **122, 124**

geofísica, **237, 235, 206, 205, 175**

geofísico(s)(as), **235, 195, 181, 180, 179, 173**

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, 214, 159**

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

GPS, **177**

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

HARPS, **72, 73**

Hawái, **30, 82**

Hawking, Stephen, **126, 127**

Henrich, Jeff, **179**

Hess, Harry, **243, 241**

hierro, **233, 223, 214, 212, 210, 208**

Historia del Reyno de Chile, **199**

Holmes, Arthur, **243**

Homo Erectus, **254**

Homo Habilis, **254**

Homo Sapiens, **255, 254**

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

Hubble (Ley de), **114, 120, 124**

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

Hudson (volcán), **226**

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

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, 80, 81**

Kumar, Shiv, **56**

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

lago General Carrera, **165**

Láscar (volcán), **229, 228, 227**

Laurasia, **257**

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

Lystrosaurus, **246**

Llaima (volcán), **227**

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

London Times (diario), **106**

Lonquimay, **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), **243, 241, 238, 233, 225, 224, 223, 181**

mapudungun, **58, 81**

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, 128**  
megacontinente; supercontinente, **271, 261, 260, 258, 257, 253, 219, 218, 217, 159**  
megapíxeles, **71, 90**  
megaterremoto, **179**  
Melipal (telescopio), **45, 81**  
mesosaurus, **246**  
meteorito (s), **51, 267, 213**  
meteorito, **51**  
meteorioide, **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 Argentino de Ciencias Naturales, **163**  
Museo de La Plata, **163**  
Museo Senckenberg de Frankfurt, **155**  
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**  
níquel, **223**  
Novas, Fernando, **163, 159**  
NTT (Telescopio de Nueva Tecnología), **72**

nubes moleculares, **50, 54**  
núcleo terrestre, **243, 224, 223, 183, 181**  
Nuyasaurus, **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, 81, 84, 107, 111**  
ondas sísmicas, **183, 181**  
ornitiscuio, **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, 201, 169, 165, 155**  
Pissis, (Pedro José) Amado, **237**  
placa Antártica, **193, 191**  
placa Continental, **218, 212, 211, 193**

placa de Nazca, **241, 238, 225, 224, 193, 188, 181, 177**  
placa Oceánica, **241, 224, 218, 216, 214, 213, 211**  
placa Sudamericana, **238, 193, 191, 181**  
placas (fotográficas), **44, 102, 110**  
placas (tectónicas), **265, 261, 243, 241, 240, 238, 225, 224, 209, 208, 195, 193**  
Planchón y Peteroa, **227**  
planeta(s), **14, 16, 20, 24, 30, 38, 44, 46, 51, 54, 56, 58, 59, 72, 73, 82, 84, 85, 96, 98, 124, 144, 274, 268, 267, 263, 255, 252, 238, 224, 222, 216, 213, 209, 194, 193, 183, 181, 161, 153**  
Planetario, **83**  
Plutón, **14, 16, 51**  
plutónico(s) (cuerpos; material), **214**  
polvo de estrellas, **99**  
premio(s) nacional(es), **57, 75, 110**  
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**  
radioastronomía, **68**  
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**  
Ristempart, Federico, **66**



robot, **14, 17**

Rosales, Diego de, **199**

Rosetta (Misión), **14, 18**

Rubilar-Rogers, David, **163, 159, 155**

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), **172**

serendipia, **58, 124**

SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería), **237**

Servicio Sismológico Nacional, **237, 179**

Silesaurio, **155, 154**

Siphler, Vestio, **120**

Sistema Solar, **48, 50, 51, 61, 64, 75, 83, 85, 90, 144**

Sobral (Brasil), **102, 104**

Sol (solar), **9, 20, 24, 48, 49, 50, 51, 54, 60, 73, 83, 102, 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**

Tautoru (Orión), **61**

Tea (planeta), **267**

Teillier, Jorge, **108**

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 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, Chillán (1939), **175**

terremoto, Concepción (1657), **199**

terremoto, Constitución 27F (2010), **195, 179, 178, 177**

terremoto, Coquimbo (2015), **236, 189**

terremoto, Santiago (1647), **201**

terremoto, Valdivia (1960), **195, 194, 188, 181, 180, 175**

terremoto, Valparaíso (1906), **237, 189**

terremoto(s), **274, 243, 238, 237, 225, 224, 223, 206, 205, 201, 199, 195, 194, 193, 191, 189, 188, 187, 181, 180, 179, 178, 177, 176, 175, 174, 171**

tiempo geológico, **225, 222**

Tierra, **7, 14, 20, 22, 24, 26, 30, 44, 48, 49, 51, 58, 73, 90, 93, 96, 98, 104, 120, 128, 144, 277, 274, 268, 267, 265, 263, 261, 259, 257, 255, 253, 245, 243, 241, 238, 237, 235, 229, 225, 224, 223, 222, 218, 213, 205, 195, 193, 188, 187, 179, 177, 175, 172, 169, 161, 159, 156, 153, 145**

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 Berkeley, **212**

Universidad de Berlín, **66**

Universidad de Chile, **64, 68, 70, 72, 74, 110, 237, 235, 205, 189, 179, 175, 155**

Universidad de Florida, **68**

Universidad de Harvard, **212**

Universidad de Texas, **179**

Universidad Nacional Autónoma de México, **235**

Universo, **6, 7, 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 Lászar, **229, 228, 227**

volcán Osorno, **231**

volcán Villarrica, **226**

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 el 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 cuántos 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 podremos 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 Antártica?
- ? En 100 millones de años seguirá existiendo la cordillera de los Andes?

CIERRA  
EL LIBRO  
Y COMIENZA  
AL REVÉS...

**ENTREVISTADOS**

Dr. **Martin Reich**, geólogo, Universidad de Chile.  
 Dr. **Sergio Barrientos**, director del Centro Sismológico (CSN).

Dr. **Jaime Campos**, director Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.  
 Dra. **Maisa Rojas**, climatóloga, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.  
 Gonzalo **Palma**, cosmólogo, Universidad de Chile.  
 Dr. **Felipe Aguilera**, vulcanólogo, Sernageomin.

Dr. **Roberto Rondanelli**, meteorólogo, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile.  
 Gabriel **Orozco**, geólogo, director regional Sernageomin - región de Los Ríos.

Dr. **Luis Chavarría**, posdoctorado, Departamento de Astronomía, Universidad de Chile.  
 Dr. **Reynaldo Charrier**, geólogo, Universidad Andrés Bello y Universidad de Chile.

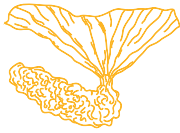
Dra. **Natalia Castillo**, ginecóloga-obstetra, Hospital El Carmen de Maipú.  
 Dr. **Ricardo De Pol Holz**, biólogo marino, oceanógrafo, Universidad de Concepción.

Dr. **Felipe Martínez**, antropología biológica, Universidad Católica.  
 Dr. **Manuel Suárez**, geólogo, director Escuela de Geología, Universidad Andrés Bello.

Dra. **María Teresa Ruiz**, astrofísica, Premio Nacional de Ciencias Exactas, directora del Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines (CATA) de la Universidad de Chile. Presidenta de la Academia Chilena de Ciencias desde el 2015.

**COLABORACIONES INSTITUCIONALES**

Dirección de Educación del MIM  
 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



Jaime Campos, La situación sísmica en Chile.



Enrique Tirapegui, Las ciencias de la Tierra como prioridad nacional.



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



Francisco Hervé, Viaje al Fondo de la Tierra.



Jaime Campos, La Amenaza Sísmica en Chile: Monitoreo Sismológico. Alerta temprana y Tsunamis.



# BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

Edward J. Tarbuck & Frederick K. Lutgens, *Ciencias de la Tierra, Una Introducción a la Geología Física*, (8va edición), Pearson y Prentice Hall, 2005.

Sofía Otero C, Editora, *La Tierra del Fuego*. Proyecto EXPLORA CONICYT de valoración y divulgación de la ciencia, tecnología e innovación, 2014.

## LINKS A SITIOS WEB

GeoVirtual2, Museo Virtual Amplia información, -textos, imágenes y apuntes- sobre aspectos de las Ciencias de la Tierra, especialmente de Atacama.

Sernageomin Organismo especializado en materias geológicas y mineras del país. Encargado de la Red de vigilancia volcánica.

Sociedad Geológica de Chile Foro para la discusión y propagación del conocimiento geológico nacional, desarrolla actividades de educación y divulgación.

Centro Sismológico Nacional Centro de información sobre los eventos sísmicos más recientes, y de divulgación de la sismología en Chile.

Programa de Detección y Establecimiento de Geositios Listado de sitios en Chile que contienen objetos de valor geológico que vale preservar.

M I R A D O R



Asociación Chilena de Paleontología Sociedad dedicada al desarrollo de la Paleontología y la protección del Patrimonio Paleontológico.



Centro de Estudios Paleontológicos de Chile Organización privada que promueve la divulgación y estudio de la Paleontología.



Sociedad Paleontológica de Chile Organiza actividades de divulgación presenciales y digitales destinadas a difundir la paleontología.



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



Reynaldo Charrier, Las ciencias de la Tierra: desafíos y oportunidades para Chile.



Donald Dingwell, Cómo funcionan los volcanes.



Programa de Detección y Establecimiento de Geositios Listado de sitios en Chile que contienen objetos de valor geológico que vale preservar.



## LINKS A ENTREVISTAS Y MATERIAL AUDIOVISUAL



- 228 **Cráter del volcán Láscar, región de Antofagasta.** (Andel/SHUTTERSTOCK)
- 227-222 **Ilustraciones línea de tiempo Erupciones y Glosario Tierra.** (Max Elbo)
- 221-208 **Ilustraciones capítulo *La Intensidad de Chile*.** (Max Elbo)
- 204 **Ilustración para *La Tierra y sus acertijos*.** (Manuel Paredes)
- 203-202 **Mapa de Santiago, 1600.** (Tomás Thayer Ojeda/ Colecciones Biblioteca Nacional de Chile)
- 200-198 **Ilustración para *Tiemblo la Colonia*.** (José Pozo)
- 197 **Microscopio.** (SHUTTERSTOCK)
- 195 **Portada *Diario La Nación* luego del terremoto de Valdivia, 1960.** (Archivo La Nación/AFP)
- 194 **Casa destrozada por el terremoto de Valdivia, 1960.** (educarchile.cl)
- 192 **Falla de Atacama, Copiapó.** (Nataliya Hora/ SHUTTERSTOCK)
- 190 **La Falla de San Andrés, a través del borde de Daily City, California.** (James L. Stanfield/ National Geographic/Getty Images)
- 187-186 **Restos de la Catedral de Concepción tras el terremoto de 1835.** (Henry Colburn, Great Marlborough Street, 1838/disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
- 182 **Muestras de corteza que levantaban desde la perforación de KOLA.** (@Andre Belozeroff / @territoarialagencia.com)
- 180 **Terremoto de Valdivia, 1960.** Tres mujeres caminan por una calle destruida. (Jack Garofalo/Paris Match/Getty Images)
- 178 **Puente destruido tras el terremoto del 27F, en Concepción.** (LatinContent Stringer/Getty Images)
- 176 **Ilustración línea de tiempo, estudio de prevención para el terremoto de 2010.** (Felipe Muhn)
- 174 **Edificio Alto Río, en Concepción, conocido por haber colapsado durante el terremoto del 27F.** (Joe Raedle/Getty Images)
- 173 **James Ussher por Sir Peter Leiy, 1680** (disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
- 173 **Ilustración alusiva a la cultura hindú, que planteaba que la Tierra era plana y sostenida por cuatro elefantes.** (Vadim Georjev/ SHUTTERSTOCK)
- 173 **Annales Veteris Testamenti,** página 1 de James Ussher. (disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
- 203-202 **Mapa de Santiago, 1600.** (Tomás Thayer Ojeda/ Colecciones Biblioteca Nacional de Chile)
- 172 **Diosa Nut y el Dios de la tierra Geb, de la cultura egipcia.** (E. A. Wallis Budge (1857-1937) - The Gods of the Egyptians Vol. II, página 96/ disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
- 171-170 **Ilustración de Calcal y Tentén, mito de la cosmología Mapuche.** (Ximena Morales Sanhueza)
- 169-168 **Ilustración primate chileno.** (Martín Chávez)
- 164 **Fósiles en roca.** (Wlad74/SHUTTERSTOCK)
- 162 **Ilustración línea de tiempo, con los actores que conformaron el descubrimiento y posterior estudio del *Chileosaurus diegosuarezi*.** (Felipe Muhn)
- 161-160 **Ilustración chiliosaurio.** (Felipe Muhn)
- 158 **Reproducción a escala del esqueleto del chiliosaurio.** (Doctor Fernando Suárez)
- 157-156 **Ilustraciones de peces y animales en el periodo prehistórico.** (Auntspray/SHUTTERSTOCK- Esteban De Armas/SHUTTERSTOCK)
- 154 **Dos *Herrerasaurus* persiguiendo a un *Silesaurus* por una corriente en el periodo Triásico.** Dos Plateosaurus están en el fondo. (Mohamad Haghani/Stocktrek Images/Getty Images)
- 152 **Excavaciones en Cerro Ballena.** (@Smithsonian Institution)
- 152 **Ilustración que representa la vida marina del Periodo Devónico, de 419 a 358 millones de años atrás.** (crédito: Auntspray/ SHUTTERSTOCK)







MIRADOR

# ÍNDICE DE IMÁGENES

273-272	Impresión artística de la Tierra y las estrellas. (Tiff/Shutterstock)
269	Dentro de los cuerpos humanos, textura de IRAS 13481-6124, estrella masiva joven donde los astónomos han sido capaces de obtener una imagen del cercano disco de polvo que la rodea. (ESO/Spitzer/NASA/JPL/S. Kraus)
269	Mapamundi cartográfico 1922. (Biblioteca Virtual del Patrimonio Bibliográfico. Gobierno de España)
267	Ilustración de la primera fase de formación de la Luna. (NASA)
266	Render de erupciones volcánicas. (Diego Barucco/Shutterstock)
264	Ilustración digital de la Magnetosfera de la Tierra desviando el viento solar y la radiación del Sol. (Aaron Rutten/Shutterstock)
262	Cianobacterias del lago Taihu, provincia de Jiangsu, China. (Jixin Yu/Shutterstock)
260	Ilustración de la superficie de Marte. (Pixabay)
260-257	Ilustraciones vectoriales de la separación de continentes a lo largo de la evolución. (Ximena Morales Sanhueza)
258	Ilustración de la era de hielo en la Tierra, alrededor de 700 millones de años atrás. (Russian Grechka/Shutterstock)
256	Repil de Tenerife, islas Canarias. (Fabio camardona/Shutterstock)
255	Proclamación y Jura de la Independencia de Chile, por Pedro Subercaseaux. (Disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)
255	Ilustración de un meteorito pegándole a la Tierra. (Bucyfon/Shutterstock)
254	Imagen conceptual que muestra cuatro etapas de la evolución humana: Australopithecus, Homo Habilis, Homo Erectus y el Homo Sapiens. (Science Picture Co/Getty Images)
252	Ilustración de como sería la Tierra en 100 millones de años. (Marcelo Pérez Dalannays)
248	Alfred Lothar Wegener (1880 a 1930). Geofísico y meteorólogo alemán. Fotografiado durante su última expedición a Groenlandia, noviembre 1930. (Ullstein Bild/Getty Images)
246	Ilustración del mapa de fósiles de Alfred Wegener. (Ximena Morales Sanhueza)
244	Alfred Wegener y su equipo, en su última expedición a Groenlandia, noviembre 1930. (Ullstein Bild/Getty Images)
244	Vehículos de Alfred Wegener, utilizados en su última expedición, en noviembre de 1930. (Archive of Alfred Wegener Institute/ disponible bajo la licencia de Dominio público vía Wikimedia Commons)
242	Ilustración línea de tiempo, teoría tectónica de placas. (Felipe Muhr)
240	Ilustración del límite de la placa convergente creada por dos placas continentales que se deslizan entre ellas. (Ximena Morales Sanhueza)
239-238	Ilustración representativa de los terremotos en Chile. (Ximena Morales Sanhueza)
237	Ilustración de James Gilliss, astrónomo, oficial de marina y fundador del Observatorio Naval de Estados Unidos. (Ximena Morales Sanhueza)
236	Sector de Avenida Baquedano, en Coquimbo, destruida e inundada por el tsunami del 16 de septiembre de 2015. (Licencia Creative Commons / Sfs90)
235-234	Volcán Calbuco en erupción, región de Los Lagos, 2015. (Licencia Creative Commons / Andiseño Estudio)
232	Chuquicamata, la segunda mina a tajo abierta más grande del mundo, región de Antofagasta. (abogdanska/Shutterstock)
231-230	Ilustración volcán. (Den Zorin/Shutterstock)



**LA TIERRA**

**SOX**

150



# ENV



GRACIAS A CERRO BALLENA,  
HOY PODEMOS IMAGINARNOS  
CON MAYOR PRECISIÓN LOS  
ANIMALES QUE PASABAN  
CERCA DE LA COSTA CHILENA.

HABLAN LAS PIEDRAS, LOS DIENTES Y LOS HUESOS



161

152





## 2 LA RIQUEZA DE CERRO BALLENA

JUNTO AL CHILESAURIO, CERRO BALLENA ES UNO DE LOS HALLAZGOS MÁS ESPECTACULARES Y DE MAYOR IMPACTO CIENTÍFICO MUNDIAL EN LA PALEONTOLOGÍA CHILENA.

En el 2010, los obreros de la empresa de construcción Sacyr Chile, trabajaban en la región de Atacama en la ampliación de la carretera Panamericana. Era una jornada laboral como cualquier otra, hasta que a pocos kilómetros del puerto de Caldera, la pala de uno de los obreros chocó con algo desconocido, similar a lo que podría ser un hueso. Meses después, los trabajadores y habitantes de la zona supieron que el objeto desconocido no correspondía a uno, sino que a decenas de restos de fósiles de animales marinos enormes que vivieron hace 6 o 9 millones de años. Cerro Ballena es el yacimiento de fósiles con mayor densidad de ejemplares de ballenas y otros mamíferos extintos en el mundo, en un espacio de apenas 240 metros de largo por 20 metros de ancho.

CON EL ESTUDIO DE LOS FÓSILES PODEMOS DAR CUENTA DE LA HISTORIA DE LA VIDA EN EL PLANETA, DONDE CADA UNO SE PRESENTA COMO UNA PEQUEÑA PIEZA DE UN ROMPECABEZAS GIGANTE QUE LA COMUNIDAD CIENTÍFICA DEL MUNDO TRATA DE COMPLETAR. SABER CÓMO VIVIERON, POR QUÉ SOBREVIVIERON O COMO SE EXTINGUIERON UNOS Y OTROS LINAJES EN EL PASADO, PERMITE CONOCER MEJOR EL PRESENTE Y PROYECTAR EL FUTURO DE LAS ESPECIES QUE HABITAN LA TIERRA. ★

Los fósiles encontrados hasta la fecha han sido trasladados a museos en Caldera y Santiago, pero se piensa que todavía quedan cientos de piezas por descubrir en un lugar que ofrece una de las mejores ventanas conocidas para observar cómo era la vida en los océanos hace 6 o 9 millones de años.

Los especialistas sostienen que la causa de la muerte de los mamíferos fue la ingesta de un alga tóxica que se reproducía a gran velocidad en la zona debido a los sedimentos ricos en hierro que arrastraban los ríos desde la cordillera de los Andes. Los estudios del terreno sugieren que no se trató de una sola extinción masiva sino de cuatro que ocurrieron en un lapso de entre 10 mil y 16 mil años. Los animales envenenados murieron en el mar y sus cadáveres fueron arrastrados por las corrientes flotando hacia la costa, donde fueron cubiertos por la arena, para reaparecer millones de años más tarde.

HERRERASAURUS  
PERSIGUIENDO AL  
SILESARUS POR UNA  
CORRIENTE EN EL  
PERIODO TRIÁSICO.



HABLAN LAS PIEDRAS, LOS DIENTES Y LOS HUESOS



165

154





No se sabe la fecha ni el lugar exacto del descubrimiento del *Pelecanopterus chilensis*, un ejemplar que con una envergadura alar de entre unos 5,25 y 6,10 metros es uno de los más grandes y a la vez mejor conservados encontrados en el mundo.

**EL AVE PREHISTÓRICA FUE VENDIDA DE MANERA ILEGAL, TRASLADADA A ALEMANIA Y DONADA A UN MUSEO REGIONAL DONDE FUE DESCUBIERTA POR EL PALEONTÓLOGO GERALD MAYR. LUEGO, GRACIAS A LA COOPERACIÓN DEL MUSEO SENCKENBERG DE FRANKFURT, LOS HUESOS FUERON REPARADOS A CHILE Y EL VIAJERO PREHISTÓRICO FUE BAUTIZADO EN CONJUNTO CON EL PALEONTÓLOGO DAVID RUBILAR.**

Fue encontrada supuestamente en Chile, en el morro de Bahía Inglesa, de acuerdo a las historias de lugareños. Forma parte de la Familia de los Pelecanopteridae, cuyos restos se han descubierto en casi todo el mundo, y habitaba entre 60 y 3 millones de años atrás.

Los pelecanoptidos, también llamados "pájaros diente de hueso", tienen ese nombre por su pico con largos y delgados dientes que les permitía cazar a mar abierto. El *Pelecanopterus chilensis* vivía en Bahía Inglesa, entonces un lugar de aguas tranquilas y de mediana profundidad, donde habitaban especies marinas como peces, mantarrayas, tiburones, delfines, ballenas, orcas y lobos marinos, además de diversas aves costeras.

## UN TESORO ESCONDIDO, EL SILESAURIO OCULTO

Encontrar fósiles es apasionante pero sin alguien que los interprete, son tan silenciosos como cualquier piedra. Una roca que guardaba historia era la que contenía al Silesaurio, un antepasado de los dinosaurios que habitó Chile entre 238 y 240 millones de años atrás. El bloque, de unos 30 x 30 cm, dormía en una de las colecciones del Museo Nacional de Historia Natural, en Santiago, hasta que fue redescubierto en 2010 por David Rubilar, jefe de Paleontología del Museo, junto a paleontólogos de la Universidad de Chile.

La roca había llegado al Museo en 1980, proveniente de la cordillera Domeyko, al sureste de Calama. Luego de investigarla durante 3 años reveló su precioso contenido: los restos de 10 vértebras, de algunas costillas y de otros huesos del que pareciera ser uno de los silesaurios más antiguos del mundo.

El protodinosaurio habría medido poco más de un metro de largo y habitaba un lugar cubierto de grandes helechos y lagunas, mucho más tropical que el escenario actual de esa zona. Se cree que fue bípedo facultativo, o sea, que a veces se sostenía en las patas traseras, lo que constituye un antecedente de evolución que más tarde parecería en los dinosaurios.



P. 155 P. 153

1  
2

UN TESORO  
ESCONDIDO,  
EL SILESAURIO  
OCULTO  
LA RIQUEZA DE  
CERRO BALLENA

LAS PIEDRAS, LOS DIENTES Y LOS HUESOS

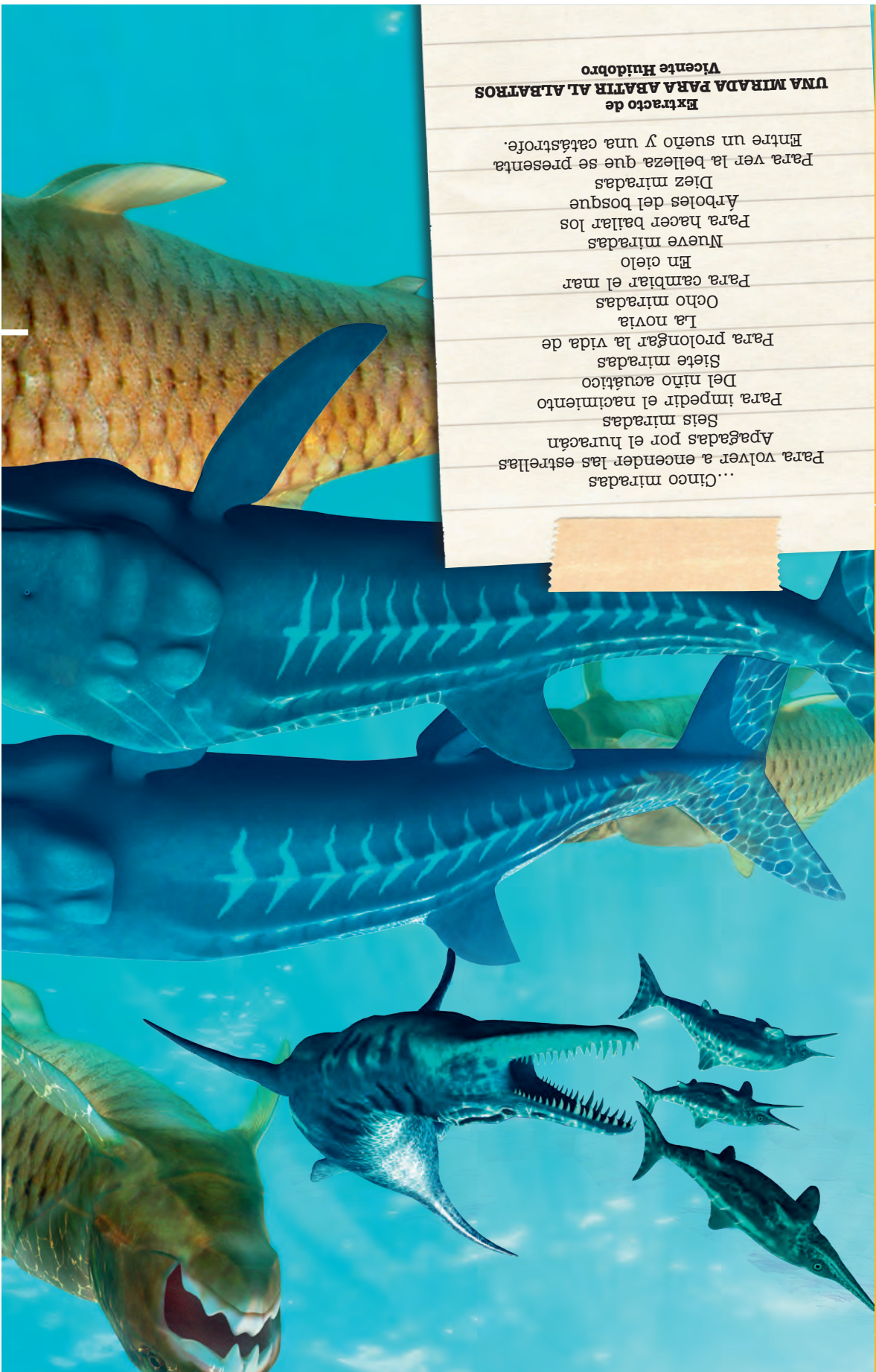
# HABLAN

LAS PLANTAS, LOS  
ANIMALES, EL RELIEVE Y  
EL CLIMA HAN CAMBIADO  
MUCHAS VECES EN LA  
HISTORIA DE LA TIERRA.  
LO QUE HOY ES UN  
DESIERTO ANTES FUE UN  
FONDO MARINO, DONDE  
HOY CAMINAN LOS  
PUMAS ANTIGUAMENTE  
PASEABAN LOS  
GONFOTERIOS, DONDE  
HAY UNA MONTAÑA  
ROcosa HUBO UN LAGO  
EN MEDIO DE LA SELVA,  
DONDE HOY APENAS  
SOBREVIVEN LAS  
HORMIGAS EN LA ARENA  
AYER NADABAN LOS  
DELFINES.

HABLAN LAS PIEDRAS, LOS DIENTES Y LOS HUESOS







**Extracto de  
UNA MIRADA PARA ABATIR AL ALBATROS**  
Vicente Huidobro

Para volver a encender las estrellas  
...Cinco miradas  
Para apagar por el huracán  
Seis miradas  
Para impedir el nacimiento  
Del niño acuático  
Siete miradas  
Para prolongar la vida de  
La novia  
Ocho miradas  
Para cambiar el mar  
En cielo  
Nueve miradas  
Para hacer bailar los  
Arboles del bosque  
Diez miradas  
Para ver la belleza que se presenta  
Entre un sueño y una catástrofe.

UNA REPRODUCCIÓN A  
ESCALA DEL ESQUELETO  
DEL CHILESOURIO.



DIEGO Y SU DINOSAURIO

1

2

3

158





# 3 IMPACTO CIENTÍFICO MUNDIAL

En junio de 2015, *Nature*, la revista de ciencia más prestigiosa del mundo, dedicó su portada al chilésaurio, publicando el artículo "El enigmático terópodo comedor de plantas del Jurásico Tardío en Chile", cuyos autores son Fernando Novas, Manuel Suárez, Rita de la Cruz, Marcelo Isasi y David Rubilar-Rogers, entre otros.

Actualmente Manuel Suárez y Rita de la Cruz siguen investigando y recolectando restos fósiles e información geológica en búsqueda de nuevas pistas para reconstruir la época jurásica y la vida del chilésaurio. Suponen que pudo tratarse de una especie endémica que solo se desarrolló en islas volcánicas en el suroeste del supercontinente de Gondwana, y que los cuatro especímenes que encontraron correspondían a una familia que quedó aislada en un pedazo de tierra que fue rodeado por agua durante una gran inundación...

La historia del chilésaurio es otro éxito de la colaboración multidisciplinaria e internacional de la ciencia para resolver los rompecabezas más difíciles y reescribir la historia de nuestra Tierra. Y también de los beneficios de abrirse a actitudes entusiastas como la de Diego, el niño de 7 años que encontró su dinosaurio. ★

M I R A D O R

# DINOSAURIO CHILESAURUS DIEGOSUAREZI

**Patas cortas y anchas,** una característica de los saurópodos tempranos como el Brontosaurio.

**Pubis totalmente retrovertido** como los ornitíscuos, conocidos como dinosaurios de cadera de ave.

**Brazos robustos**

**Cráneo pequeño** proporcional a su tamaño.

**Dientes de espátula.**

**La extremidad delantera es semejante a la de los dinosaurios herbívoros de cuello largo.**

**1,20 m de altura**

**T-REX:** 4 a 5 m de altura  
**VELOCIRAPTOR:** 2 m de altura  
**CHILESAURIO:** 1,20 m de altura



**HABITÓ EL PLANETA TIERRA** en la etapa jurásica, cuando los dinosaurios dominaban la Tierra.

**DIFÍCIL IDENTIFICACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN** debido a que constituye una especie de "ornitorrinco de los dinosaurios", con características pertenecientes a los tres linajes principales: los terópodos, los sauropodos y los ornitíscuicos.

**ESTE HALLAZGO ES MUY IMPORTANTE PARA CHILE** porque hasta ahora no había registros de dinosaurios del periodo Jurásico en el país.

**LOS INVESTIGADORES LOGRARON RECONSTRUIR CUATRO ESPECIMENES** que representan distintas etapas de desarrollo, desde juveniles hasta adultos.



**ALIMENTACIÓN HERVÍBORA**  
Por la estructura dental.

**El tobillo es semejante al de los lagartos actuales,** ya que su proceso ascendente del astrágalgo es bajo.



# COLABORACIÓN NIVEL: CONO SUR





# 2

## COLABORACIÓN INTERNACIONAL PARA RESOLVER EL ROMPECABEZAS

Desde el 2004 hasta el 2010, los Suárez De la Cruz junto a otros científicos siguieron excavando en la zona en búsqueda de nuevas piezas. Para identificar las especies y determinar la antigüedad de los nuevos descubrimientos establecieron una estrecha colaboración con distintos investigadores y técnicos en Argentina, expertos en paleontología.

Suponiendo que se trataba de reptiles marinos, enviaron los primeros huesos al Museo de La Plata en la Provincia de Buenos Aires. Luego de investigarlos surgió la primera sorpresa: los primeros huesos que Diego descubrió correspondían a una vértebra y una costilla pertenecientes a un dinosaurio de un cierto tipo, pero los huesos encontrados con posterioridad parecían ser de otra especie de dinosaurio.

A partir de entonces se estableció una nueva cooperación científica con el laboratorio de paleontología del Museo Argentino de Ciencias Naturales, a cargo de Fernando Novas, y donde se contó con la ayuda de Marcelo Isasi, quienes determinaron que a pesar de que los restos parecían pertenecer a especies diferentes, en realidad formaban parte de un mismo extraño dinosaurio. Debían encontrar más piezas para completar el rompecabezas.

## DESCUBRIMIENTO 2004

**DIEGO SUÁREZ**  
DINOSAURIO CHILENO

## COLABORACIÓN CIENTÍFICA 2010

**FERNANDO NOVAS, MARCELO ISASI Y DAVID RUBILAR**  
LOS PALEONTÓLOGOS ARGENTINOS Y CHILENOS DETERMINAN QUE SON PIEZAS DE UN MISMO DINOSAURIO

En geología las fronteras nacionales no existen. A las expediciones de Suárez y De la Cruz se sumaron expertos argentinos. Lograron identificar cuatro especímenes de distintas edades, algunos pequeños que miden entre 1,6 y 3,2 m de altura, los que permitieron descifrar con certeza el rompecabezas.

## CONCLUSIÓN 2015

Se trataba del primer dinosaurio del período Jurásico encontrado en Chile, vivió hace aproximadamente 149 millones años, y fue bautizado como *Chilesaurus diegohuarezi* en honor al país de origen y a su entusiasta descubridor.









# UNA GRAN TENTACIÓN

**E**n las vacaciones de 2004, junto a su padre, Manuel Suárez y su madre, Rita de la Cruz, ambos

geólogos, se dirigieron al lago General Carrera en la región de Aysén, a buscar huellas y rastros que les permitieran conocer mejor cómo se formó esa parte de Chile. A diferencia de años anteriores, Diego no estaba motivado por salir a buscar piedras, moluscos o vegetales; su objetivo era encontrar un dinosaurio.

Pasaron varios días en una cabaña en Mallín Grande, pequeño pueblo ubicado al sur del lago General Carrera. Esa mañana del 4 de febrero se levantaron muy temprano, habían planificado pasar el día estudiando y excavando rocas conocidas como la Formación del Toqui. Manuel y Rita iniciaron su trabajo estudiando rocas que una vez fueron arenas y ripio arrastrados por torrentes de agua y barro, que les entregarían valiosas informaciones sobre lo sucedido en esa región hace millones de años.

Diego dio un golpe sobre la tierra húmeda y escuchó el choque contra algo sólido. Casi en la superficie, aparecieron dos “pedazos de roca”. Abrió unos enormes ojos: supo que había encontrado huesos fósiles y quién

sabe si a lo mejor los de un dinosaurio. Corrió donde su hermana y le mostró las dos “piedras”:  
— ¡Mira, Macarena! Son huesos fósiles! Ella los examinó y validó el hallazgo.  
— ¿Qué vas a hacer? —le preguntó.

**DIEGO SABÍA QUE LA LEY DICTA QUE TODOS LOS FÓSILES SON PROPIEDAD DEL ESTADO DE CHILE Y QUE AUNQUE ÉL LOS HUBIESE DESCUBIERTO NO SE LOS PODÍA QUEDAR. PERO INCLUIR EN SU COLECCIÓN DE PLÁSTICO DEL JURÁSICO, LO QUE ÉL ESTABA CONVENCIDO QUE ERAN DOS HUESOS REALES DE DINOSAURIO, ERA UNA GRAN TENTACIÓN.**

Dudó unos minutos y luego decidió mostrar su descubrimiento. Manuel Suárez, su padre, confirmó de inmediato que se trataba de huesos fósiles, pero pensó en algún mamífero de unos pocos millones de años. Rita de la Cruz, observó las rocas que lo cubrían, examinó las piedras que había alrededor del lugar y dedujo que los fósiles debían tener varios millones de años más de los que calculaba Manuel. Ninguno se imaginó cuántos. Diego entregó los huesos a sus padres, con la promesa de que luego de examinarlos se los devolverían, promesa que no pudieron cumplir porque hoy son parte de un museo. La familia siguió excavando y ese mismo día a los dos huesos pequeños se sumaron un fémur y una mano completa. Diego había encontrado algo extraordinario.



- 1
- 2
- 3

# DIEGO y su DINOSAURIO

EN EL 2004, DIEGO TENÍA 7 AÑOS Y ESTABA CONVENCIDO QUE DESCUBRIRÍA UN DINOSAURIO. COMO MUCHOS NIÑOS DE SU EDAD, HABÍA LEÍDO DECENAS DE VECES EL LIBRO *PIE PEQUEÑO*, QUE NARRA LAS AVENTURAS DE UN JOVEN DINOSAURIO, VELA PELÍCULAS SOBRE LOS GIGANTESCOS ANIMALES PREHISTÓRICOS Y ENTRE SUS JUGUETES FAVORITOS ESTABAN LOS TIRANOSAURIOS, SAURÓPODOS, BRAQUIOSAURIOS Y TRICERATOPS EN FORMATO PLÁSTICO Y DE 5 CM DE ALTURA.

1

UNA GRAN TENTACIÓN

P. 165

2

COLABORACIÓN PARA RESOLVER EL ROMPECABEZAS

P. 163

3

IMPACTO CIENTÍFICO MUNDIAL

P. 159



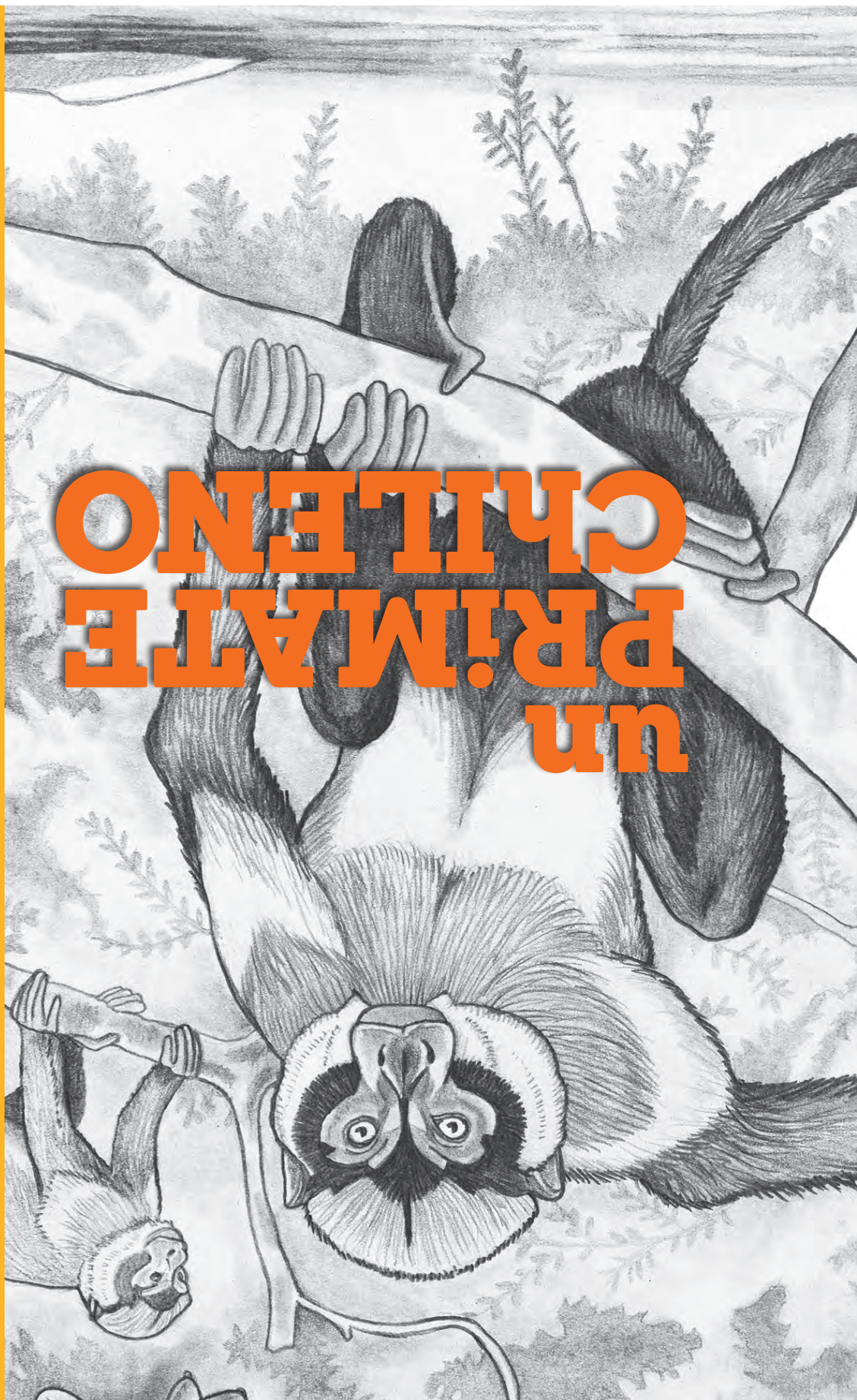
**Extracto de  
DÍAS TRISTES / DÍAS FELICES**  
Efraín Barquero

Quando los niños o los animales me olvidan  
yo también me olvido  
por qué la lluvia y la nieve  
me hacían tan feliz  
yo también me olvido por qué he vivido  
hasta ahora.

16 / 19

UN PRIMATE CHILENO

# un PRIMATE CHILENO



168



**H**ace más o menos 20 millones de años, en medio de una gran zona pantanosa un pequeño

primate buscaba refugio entre los árboles. Estaba asustado por las continuas explosiones y la oscuridad del cielo.

Hacia varios días que otro de los

grandes volcanes de la actual zona central estaba en erupción dibujando en el cielo una enorme columna de ceniza, lanzando rocas y material

incandescente a su alrededor. De pronto, cesó la presión desde el interior de la Tierra y la columna eruptiva del volcán se desplomó dejando caer una avalancha de cenizas, matando a miles de animales cubriéndolos bajo varios

centímetros de residuos.

**EL PEQUEÑO MONO MURIÓ EN EL ACTO, LAS CENIZAS ENVOLVIERON SU CUERPO DESTRUENDO LAS PARTES BLANDAS Y SOLDIFICÁNDOSE RÁPIDAMENTE, CREANDO UN AMBIENTE IMPERMEABLE Y DE POCA OXIDACIÓN. LAS MEJORES CONDICIONES PARA QUE COMENZARA LA FOSILIZACIÓN. EN UN PROCESO DE MINERALIZACIÓN QUE DURÓ MILLONES DE AÑOS, LA MATERIA ORGÁNICA DEL MONO, COMO EL HUESO, FUE REEMPLAZADA POR SILICE, MÁS DURA Y RESISTENTE, PERO CONSERVANDO LA ESTRUCTURA ORIGINAL DEL CRÁNEO.**

## EN LA ACTUALIDAD: CHILLECEBUS CARRASCOENSIS

En 1995, un equipo de investigadores compuesto por el geólogo Reynaldo Charrier, el paleontólogo Gabriel Carrasco, y los investigadores de Estados Unidos, John Flynn, André Wyss y Carl Swisher, recorrieron una

zona rica en fósiles, ubicada en las quebradas alrededor del río Las Leñas, al interior de Rancagua.

De pronto apareció frente a

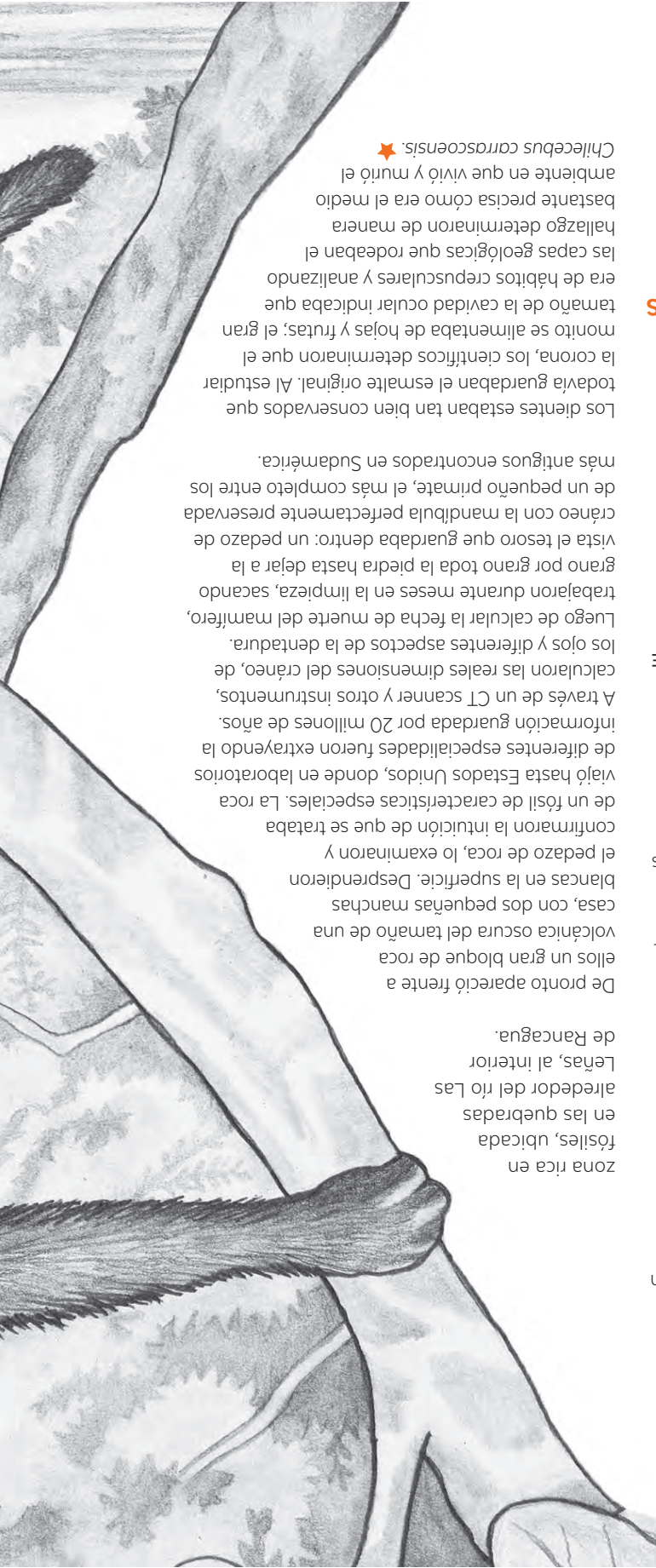
ellos un gran bloque de roca volcánica oscura del tamaño de una casa, con dos pequeñas manchas blancas en la superficie. Desprendieron el pedazo de roca, lo examinaron y

confirmaron la intuición de que se trataba

de un fósil de características especiales. La roca viajó hasta Estados Unidos, donde en laboratorios de diferentes especialidades fueron extraendo la información guardada por 20 millones de años. A través de un CT scanner y otros instrumentos, calcularon las reales dimensiones del cráneo, de los ojos y diferentes aspectos de la dentadura.

Luego de calcular la fecha de muerte del mamífero, trabajaron durante meses en la limpieza, sacando grano por grano toda la piedra hasta dejar a la vista el tesoro que guardaba dentro: un pedazo de cráneo con la mandíbula perfectamente preservada de un pequeño primate, el más completo entre los más antiguos encontrados en Sudamérica.

Los dientes estaban tan bien conservados que todavía guardaban el esmalte original. Al estudiar la corona, los científicos determinaron que el tamaño de la cavidad ocular indicaba que era de hábitos crepusculares y analizaban el hallazgo determinaron de manera bastante precisa cómo era el medio ambiente en que vivió y murió el *Chillecebus carrascoensis*. ★





EN LA TRADICIÓN MAPUCHE,  
LA LEGENDA DE LAS TITÁNICAS  
SERPIENTES CAICAI Y TENTÉN  
CUENTA CÓMO SE FORMÓ LA  
GEOGRAFÍA DEL SUR DE CHILE Y CUAL  
ES EL ORIGEN DE LOS MAREMOTOS Y  
LAS ERUPCIONES VOLCÁNICAS.

EL AGUA Y  
LA TIERRA

# CAICAI Y TENTÉN,

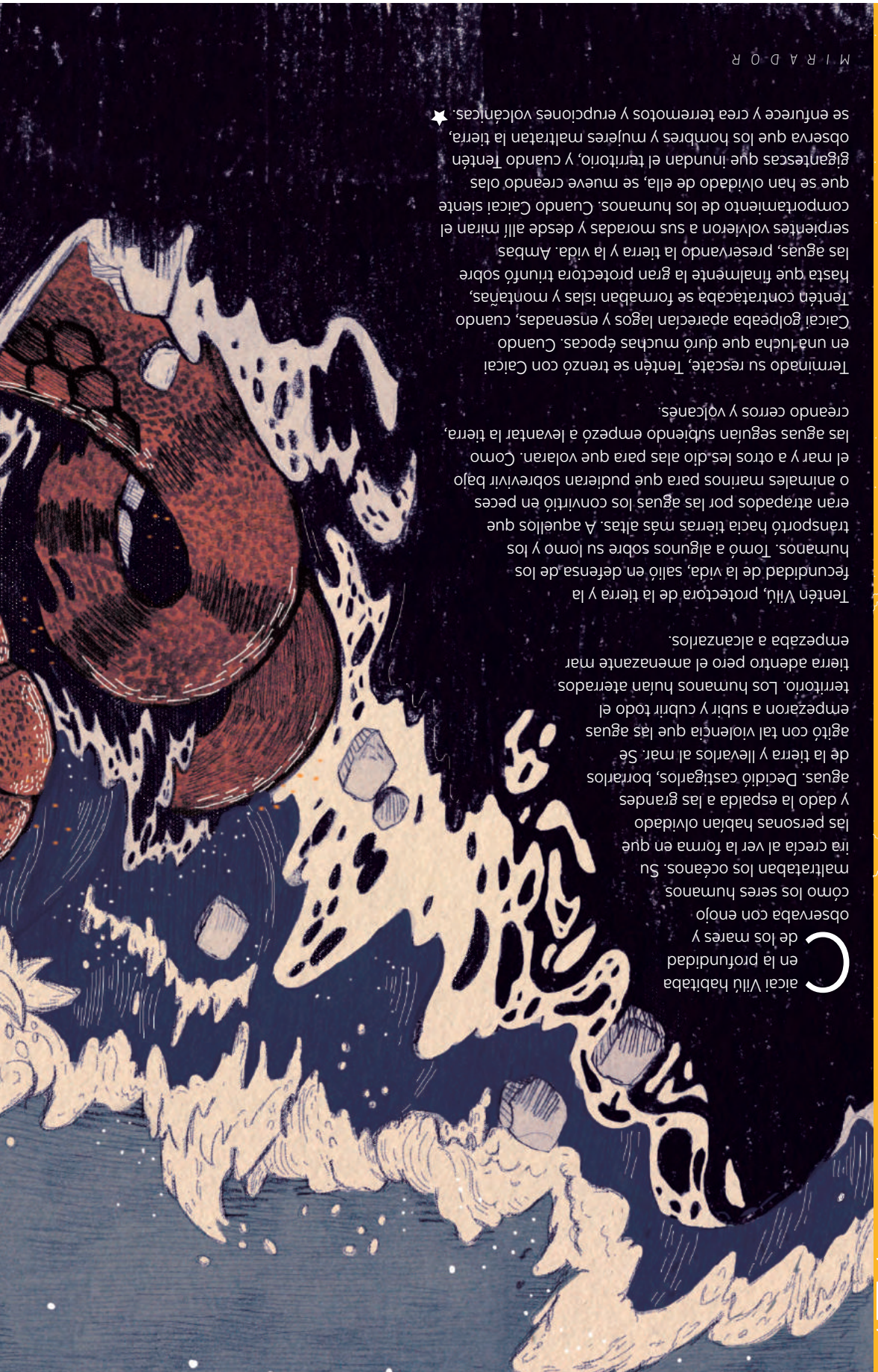




Caicai Vilú habitaba en la profundidad de los mares y observaba con enojo cómo los seres humanos mataban los océanos. Su ira crecía al ver la forma en que las personas habían olvidado y dado la espalda a las grandes aguas. Decidió castigarlos, borrarlos de la tierra y llevarlos al mar. Se agitó con tal violencia que las aguas empezaron a subir y cubrir todo el territorio. Los humanos huían aterrados tierra adentro pero el amenazante mar empezaba a alcanzarlos.

Tentén Vilú, protectora de la tierra y la fecundidad de la vida, salió en defensa de los humanos. Tomó a algunos sobre su lomo y los transportó hacia tierras más altas. A aquellos que eran atrapados por las aguas los convirtió en peces o animales marinos para que pudieran sobrevivir bajo el mar y a otros les dio alas para que volaran. Como las aguas seguían subiéndolo empezó a levantar la tierra, creando cerros y volcán.

Terminado su rescate, Tentén se trenzó con Caicai en una lucha que duró muchas épocas. Cuando Caicai golpeaba aparecían lagos y ensenadas, cuando Tentén contrataba se formaban islas y montañas, hasta que finalmente la gran protectora triunfó sobre las aguas, preservando la tierra y la vida. Ambas serpientes volvieron a sus moradas y desde allí miran el comportamiento de los humanos. Cuando Caicai siente que se han olvidado de ella, se mueve creando olas gigantes que inundan el territorio, y cuando Tentén observa que los hombres y mujeres maltratan la tierra, se enfurece y crea terremotos y erupciones volcánicas. \*







# MITOS, LEYENDAS Y OTRAS EXPLICACIONES

El conocimiento científico no es la única manera que tienen los seres humanos para comprender y dar sentido a los fenómenos que los envuelven. En diferentes épocas y lugares, de acuerdo a sus religiones y culturas, las comunidades han elaborado métodos para explicar su entorno o para relacionarse con él, creando relatos, mitos y leyendas.

A través de la historia, los mitos relacionados con el origen de la Tierra y con el significado o causas de temblores, volcanes o inundaciones, han tranquilizado o inquietado a casi todas las culturas.

En el siglo XVII, James Ussher, arzobispo anglicano, reconstituyendo los hitos indispensables para el desarrollo de la vida. ★

En el antiguo Egipto, el dios Seb, coronado con un gancho y pintado de colores verde oscuros en alusión al Nilo y a la vegetación, representaba a la Tierra. Seb fue engendrado por Shu y Tefnut, junto a su gemela Nut, la bóveda celeste, el techo del mundo. Shu, es el aire entre el Cielo y la Tierra y Tefnut, la humedad y el agua, ambas fuentes indispensables para el desarrollo de la vida. ★

Para los mayas, en el comienzo, la oscuridad y el agua cubrían todo el globo terráqueo, y los dioses decidieron hacer la luz y retirar las aguas para que emergiera la tierra sobre la que podrían crecer las plantas, los animales y los seres humanos.

En el antiguo Egipto, el dios Seb, coronado con un gancho y pintado de colores verde oscuros en alusión al Nilo y a la vegetación, representaba a la Tierra. Seb fue engendrado por Shu y Tefnut, junto a su gemela Nut, la bóveda celeste, el techo del mundo. Shu, es el aire entre el Cielo y la Tierra y Tefnut, la humedad y el agua, ambas fuentes indispensables para el desarrollo de la vida. ★

Tierra el 23 de octubre del año 4004 a.C. bíblicos, calculó que Dios había creado la

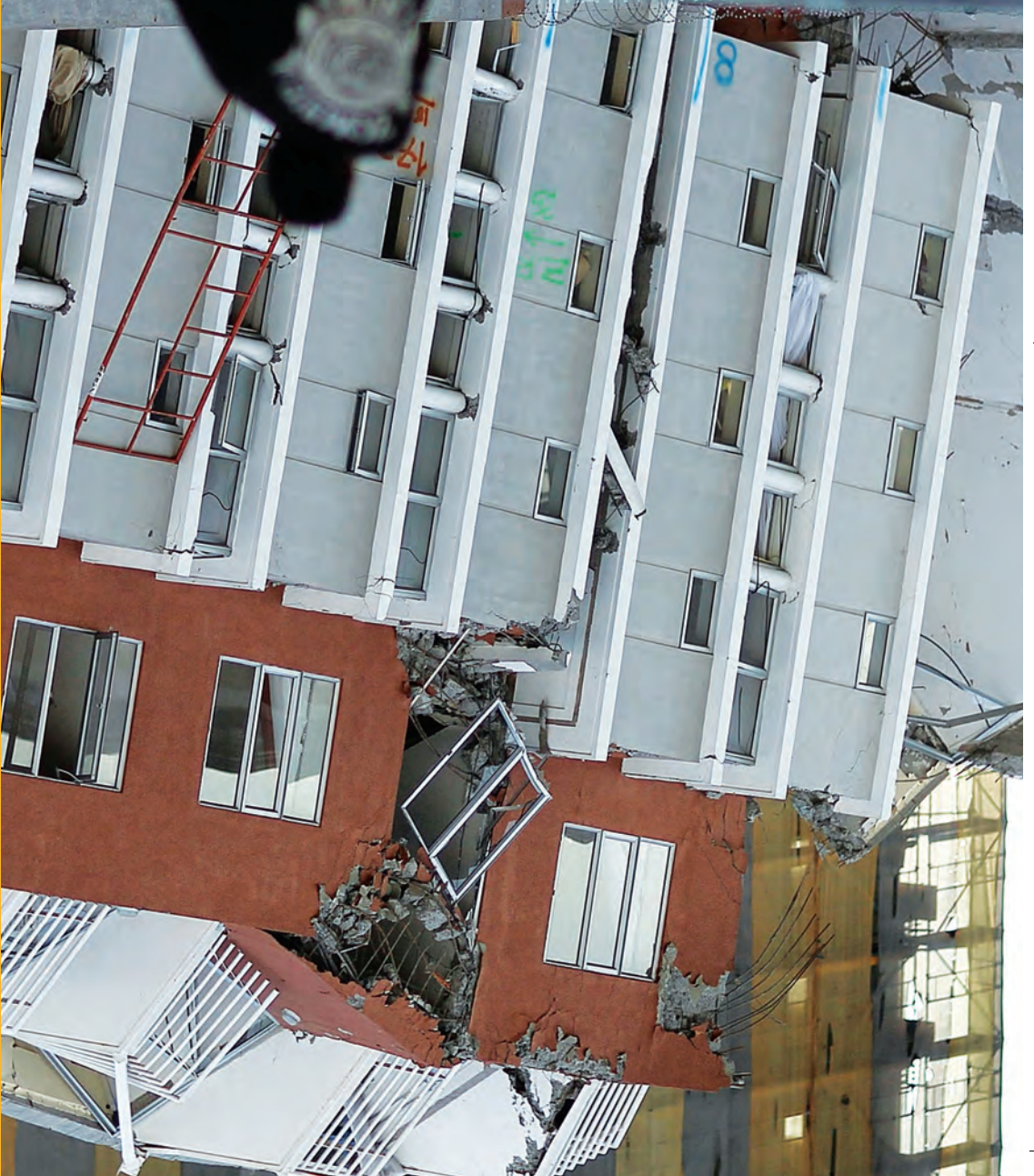








TERRREMOTO 27/F, EDIFICIO ALTO RÍO. NO ES HABITUAL QUE UN SISMO DESPLOME UN EDIFICIO EN CHILE, COMO LO DEMUESTRA ESTE ÚNICO CASO EN LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN, QUE ARROJÓ DECENAS DE HERIDOS Y OCHO MUERTOS.





Con este propósito, en el departamento de Geofísica de la Universidad de Chile trabajan conjuntamente equipos de sismólogos, geólogos e ingenieros civiles estructurales. El geofísico y el geólogo generan el conocimiento científico, identificando el tipo de amenaza que existe en un territorio; estudian el tipo de suelo, cuán cerca está de una falla geológica,

**TODAVÍA ES IMPOSIBLE DETERMINAR CON EXACTITUD CUÁNDO OCURRIRÁ UN EVENTO CATASTRÓFICO Y HAY QUIENES DUDAN QUE ESA DEBA SER UNA PRIORIDAD EN LAS INVESTIGACIONES. EN CAMBIO, LO QUE PUEDE SALVAR MUCHAS VIDAS Y EVITAR GRANDES PÉRDIDAS MATERIALES, ES SABER DÓNDE SE ESTÁ PREPARANDO UN GRAN TERREMOTO Y CUALES SON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN QUE AYUDARÍAN A PREVENIR DESPLOMES DE VIVIENDAS E INFRAESTRUCTURA.**

Comprobar una teoría es quizás el mayor logro de un científico. Para un sismólogo anticipar dónde se va a producir un terremoto y qué magnitud va a tener es la confirmación de que se ha realizado un trabajo de investigación dedicado y riguroso.

## PREVENIR PÉRDIDAS Y MATERIALES



Los grandes terremotos son eventos inusuales en el mundo, pero frecuentes en Chile. La geología, la geofísica y la sismología cuentan con un territorio privilegiado para la observación y estudio de la Tierra y la prevención de los desastres que pueden ocasionar sus movimientos. ★

los movimientos que se pueden producir y la magnitud que podrían alcanzar. Una vez que se ha identificado el posible escenario, un ingeniero estructural transforma esa información científica en una respuesta tecnológica apropiada para hacer frente a esa amenaza, y establece las características que debe tener una estructura para resistir el movimiento esperado. En Chile las normativas de construcción antisísmica se han ido perfeccionando luego de los grandes terremotos. Después del terremoto de Chillán de 1939, se creó por primera vez una normativa que rigiera el estándar mínimo que debían cumplir las construcciones para resistir un sismo de gran magnitud. Esa normativa se perfeccionó en 1969, después del terremoto de Valdivia y volvió a ser revisada en 2010, después del terremoto del Maule. Esta última normativa no solo establece los requisitos mínimos que debe cumplir una construcción en función de la magnitud de los terremotos, sino que también distingue según el tipo de suelo en que se ubica.



# ?PREDICIENDO TERREMOTOS?



Edgar Kausel V.  
Premio Nacional de  
Ciencias Aplicadas y  
Tecnológicas 2006.

CONOCER Y PREVENIR

- 1
- 2
- 3
- 4

206

218

224

240



Pero no toda la investigación se hace después de los eventos sísmicos. De hecho, una de las grandes aspiraciones de los científicos es prever la zona de posible ocurrencia de un gran sismo y anticipar la posibilidad de un terremoto. Eso es lo que habían logrado los sísmólogos chilenos Edgar Kausel, Sergio Barrientos y Jaime Campos antes del terremoto del 27/F. Los científicos chilenos junto a un equipo de colegas franceses estudiaban la zona centro sur desde mediados de los años noventa, gracias a fondos de un proyecto de la Comunidad Europea. A partir del análisis de esos datos históricos, publicados en la prestigiosa revista científica *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, el año 2002 identificaron una laguna sísmica. Los datos GPS de la red instalada en 2007 permitían inferir que la corteza continental se estaba comprimiendo como un resorte, desde la costa hacia la cordillera, a una tasa elevada, y que la tierra se estaba levantando, produciendo lo que los sísmólogos llaman una situación de deformación crítica.

2002

KAUSEL, BARRIENTOS

&amp; CAMPOS

IDENTIFICARON

UNA LAGUNA SÍSMICA

Frente a las costas de las regiones del Maule y Biobío. Desde 1835 no habían sucedido grandes terremotos, lo que permitía pensar en una gran acumulación de energía producto de la subducción de la placa de Nazca.

2007

INSTALARON

En la zona, un sistema de monitoreo compuesto por diferentes equipos que fueron complementando con los años hasta quedar constituido por una sofisticada red de sísmógrafos y sistemas de posicionamiento global, o GPS, capaces de percibir los movimientos milimétricos que experimenta un punto sobre la Tierra.

30 DE JUNIO

ENVIARON

Los resultados de esta investigación se enviaron a la revista *Physics of the Earth and the Planetary Interiors*, los que declaran: "En el peor de los casos, la zona entre Constitución y Concepción tiene el potencial de un terremoto de magnitud tan grande como 8-8,5, que debería producirse en el futuro próximo".

2009

SE PUBLICÓ

El artículo fue publicado en junio de 2009, algunos meses antes de que ocurriera el gran terremoto de febrero de 2010.



PUENTE DESTRUÍDO  
TRAS EL TERREMOTO DEL  
27F, EN CONCEPCIÓN.

CONOCER Y PREVENIR

- 1
- 2
- 3
- 4

205

189

178





# 3 LA CIENCIA Y EL TERREMOTO DEL MAULE

Los sismólogos y geofísicos constituyen redes de colaboración que complementan sus estudios, observaciones y verificaciones y constituyen el pensamiento científico para conocer mejor la Tierra y su dinámica interna. Los terremotos cercanos a nueve grados no suman más de una decena en los últimos 100 años, por eso los científicos del mundo están atentos a su ocurrencia y a las enseñanzas que puedan dejar.

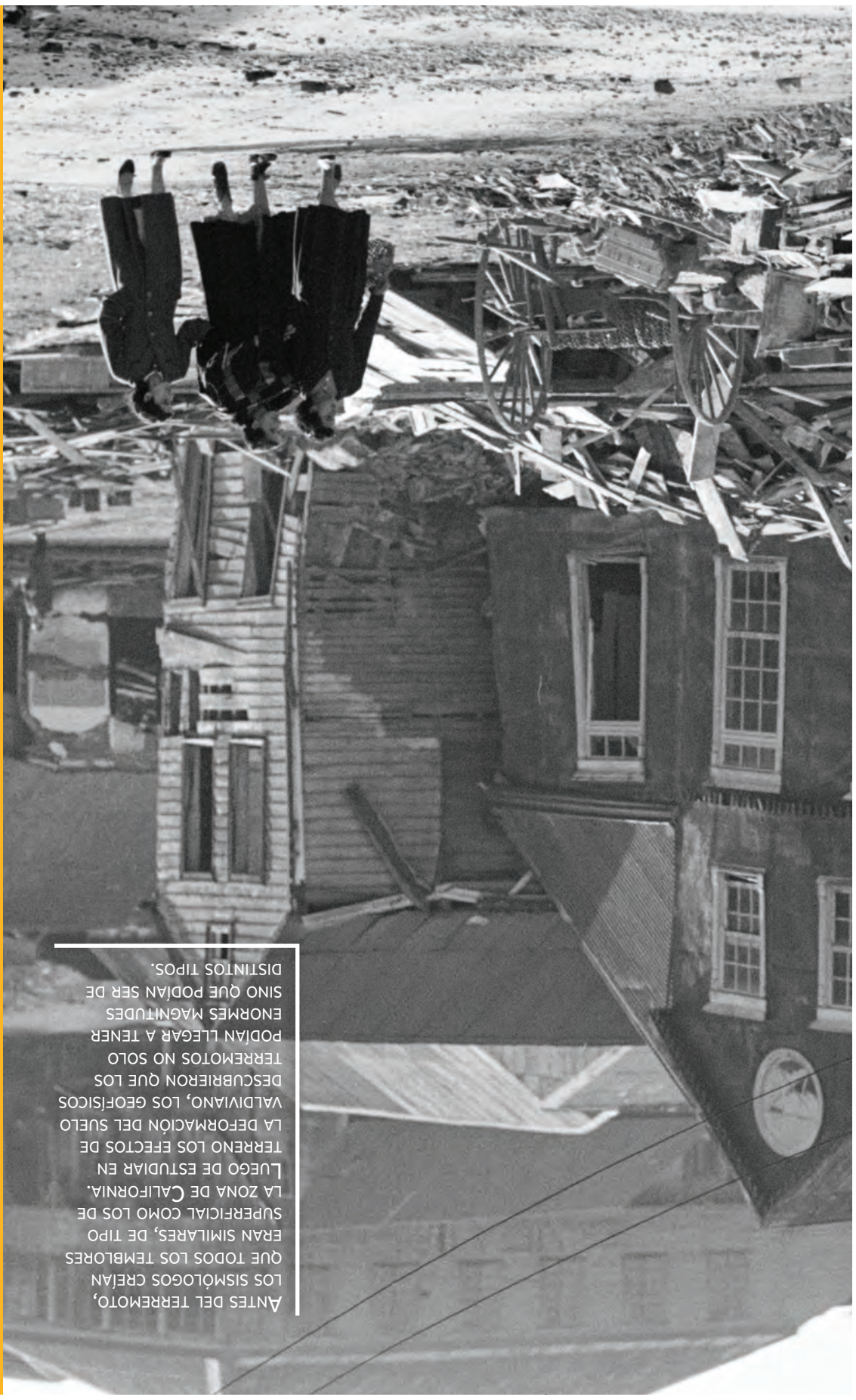
El 27 de febrero de 2010, cuando durante cuatro minutos un terremoto de 8,8 grados de magnitud azotó la región del Maule, la atención de los sismólogos del mundo se enfocó otra vez en Chile. Una semana después, llegaron desde distintos países a instalarse con carpas y sacos de dormir a lo largo de los más de 500 km de zona de ruptura sísmica; desde Constitución a Tirúa, la región más afectada por el terremoto y posterior tsunami. El griego Nikos Kalligaris, estudiante de doctorado de ingeniería medioambiental; el geólogo suizo Herman Fritz, del Institute of Technology de California; el alemán Robert Weis, profesor de geología de la Universidad de Texas que estaba estudiando los efectos del terremoto en Haití; y el geofísico Jeff Henrich, llegaron a reunirse con el director del Servicio Sismológico Nacional en la Universidad de Chile, Sergio Barrientos. Un megaterremoto transforma el territorio en un laboratorio activo y es uno de los pocos momentos en que la teoría se confronta con la vida real.

M I R A D O R





- 1
- 2
- 3
- 4



ANTES DEL TERREMOTO, LOS SISMÓLOGOS CREÍAN QUE TODOS LOS TEMBLORES ERAN SIMILARES, DE TIPO SUPERFICIAL COMO LOS DE LA ZONA DE CALIFORNIA. LUEGO DE ESTUDIAR EN TERRENO LOS EFECTOS DE LA DEFORMACIÓN DEL SUELO VALDIVIANO, LOS GEOFÍSICOS DESCUBRIERON QUE LOS TERREMOTOS NO SOLO PODÍAN LLEGAR A TENER ENORMES MAGNITUDES SINO QUE PODÍAN SER DE DISTINTOS TIPOS.

- 189
- 194
- 240







# 2 EL TERREMOTO DE VALDIVIA Y LA MÚSICA DE LA TIERRA

MIRADOR

A comienzos de 1960, los geofísicos y sismólogos habían desarrollado los modelos teóricos y los instrumentos sismológicos para observar la composición interna de la Tierra, a partir de los registros de oscilaciones provocadas por la liberación súbita de energía en algún punto del globo. Estos registros funcionan de manera similar al fenómeno que se produce cuando un músico golpea una campana: dependiendo de su geometría y de qué está compuesta, o sea, cuánto hierro, cobre o estaño se utilizó en su fundición, será el sonido de la campana ante un determinado golpe. Los sismólogos detectan el sonido de la Tierra, o sea, las ondas del terremoto y, a partir de eso, intentan deducir la estructura interna de la Tierra, el comportamiento de sus distintas capas al ser atravesadas por las ondas y su posible composición interna.

En esos años, los científicos conocían la geometría, el tamaño y la estructura básica de las tres capas de la Tierra y tenían estimaciones sobre la composición de la corteza, el manto y el núcleo, pero para confirmarlas o refutarlas, necesitaban un golpe que hiciera “vibrar el planeta” como una campana para captar sus ondas y medir sus tonos y notas, o sea, su “sonido”. Pero se necesitaba un golpe

fuerte y que durara el tiempo suficiente para medir el tono fundamental de la Tierra y sus modos superiores. Y ese golpe llegó el 22 de mayo de 1960. Un terremoto con epicentro cerca de Valdivia y con una ruptura sísmica de más de mil kilómetros de largo alcanzó una magnitud de 9,5 Richter, el mayor registrado en la historia de la humanidad. Durante los cinco minutos que duró el sismo, la placa de Nazca se deslizó más de 20 metros bajo la placa Sudamericana y varias zonas del sur de Chile sufrieron hundimientos de decenas de centímetros y hasta de un par de metros. Murieron cerca de 2 mil personas y hubo 2 millones de damnificados.

**EL TERREMOTO DE 1960 LIBERÓ TANTA ENERGÍA QUE EL PLANETA QUEDÓ VIBRANDO CERCA DE UN AÑO, LIBERANDO ONDAS SÍSMICAS QUE AL PASAR POR LAS DISTINTAS CAPAS DE LA TIERRA CAMBIABAN SU TRAYECTORIA Y VELOCIDAD ENTREGANDO INFORMACIÓN SOBRE LA CAPA TERRESTRE QUE CRUZABAN.**

Los instrumentos instalados en distintos lugares del mundo registraron esas vibraciones y los científicos dedujeron y cuantificaron las propiedades de los materiales que componen la estructura interna de la Tierra. Confirmaron que el Núcleo de la Tierra tiene una envoltura líquida, que rodea a un núcleo sólido y metálico, que el Manto está constituido por material silicatado más denso que el de la Corteza, y se confirmaron y ajustaron los modelos de composición química de cada capa de nuestro planeta.



REGISTRO DEL  
ABANDONADO  
PROYECTO KOLA.

CONOCER Y PREVENIR

- 1
- 2
- 3
- 4







Todavía no existen las tecnologías para penetrar mucho más allá de lo realizado por el proyecto KOLA y no se vislumbrará, en un futuro cercano, la posibilidad de llegar al núcleo de la Tierra. Por eso hoy, una manera de conocer la estructura y composición de nuestro planeta es el estudio de las ondas sísmicas.

de años atrás. Encontraron rocas de 2.700 millones 180 °C en lugar de los 100 previstos: temperaturas eran demasiado altas: pero tuvo que detenerse porque las rocas, algunas de ellas ubicadas a 6,7 km de profundidad. Al principio, el proyecto pretendía llegar más adentro, y el hallazgo de 24 especies de microfósiles de plancton unicelular moléculas atrapadas en los minerales, que probablemente proviene de sorprendentes como encontrar agua, exploración logró descubrimientos Aunque fue "superficial", aquella

**APENAS LOGRARON PENETRAR UN 0,2% DEL CAMINO HACIA EL CENTRO DE LA TIERRA, QUE ESTÁ A 6.370 KM.**

El proyecto Kola en la Unión Soviética es hasta ahora la mayor exploración científica de perforación de la Tierra. En 1989, luego de reparar la corteza durante 19 años, alcanzó los 12.262 metros de profundidad; con un agujero similar en tamaño al de un pozo de petróleo.

## EL PROYECTO KOLA



- 1
- 2
- 3
- 4



P. 183

1

EL PROYECTO  
KOLA

P. 181

2

EL TERREMOTO  
DE VALDIVIA Y  
LA MÚSICA DE  
LA TIERRA

P. 179

3

LA CIENCIA Y  
EL TERREMOTO  
DEL MAULE

P. 175

4

PREVENIR PÉRDIDAS  
HUMANAS Y  
MATERIALES



# CONOCER y PREVENIR

PODEMOS VER MOLÉCULAS  
EN GALAXIAS DISTANTES  
A MILLONES DE AÑOS LUZ  
PERO HASTA AHORA NOS  
ESTÁ VEDADO CONOCER LO  
QUE SE ESCONDE A UNOS  
MILES DE METROS BAJO  
NUESTROS PIES.







Entre resplandores y humos,  
exorcismos olvidados,  
la indada secreta va  
y viene, brazos en alto,  
o se calla en piedra atónita,  
en la compunción antigua;  
porque el Pillán va cruzando  
y la tierra araucana  
reverbera de mirarlo,  
viejo Pillán que gestea  
con relámpagos y truenos.

De pronto, le salen grandes  
voces y por sus costados  
baja un caupolicánico  
furor de Dios embriado  
y colérico y su bullo  
parpadas de relámpagos  
y el genio de su reino,  
que lo tenía olvidado,  
se acuerda de su demiturgo  
y el hervor de su Centauro.

**Extracto de  
VOLCAN DE VILARRICA**  
Gabriela Mistral

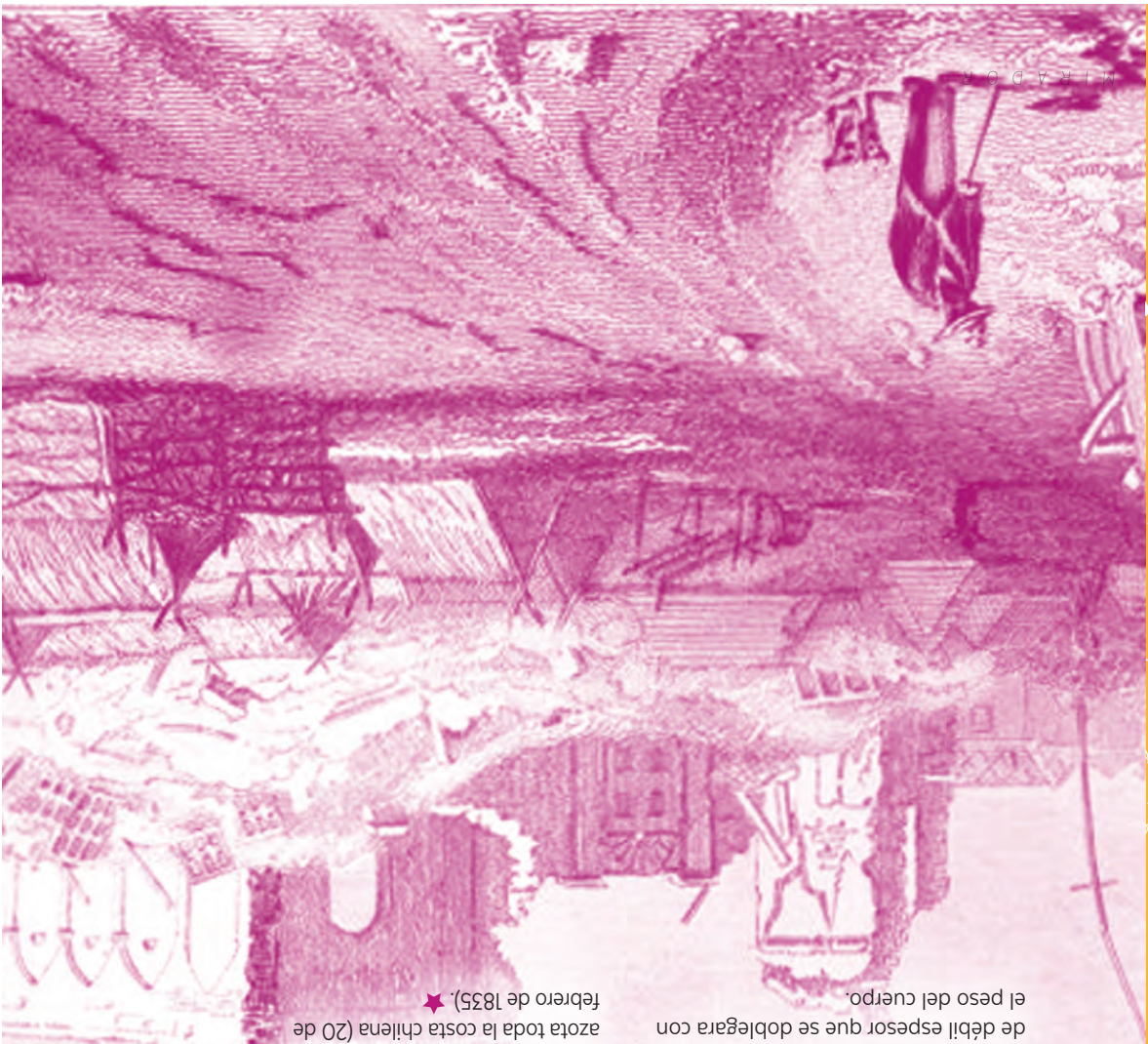
# DARWIN Y SU TERREMOTO EN CHILE

EXTRACTOS DE VIAJE  
DE UN NATURALISTA  
ALREDEDOR DEL MUNDO,  
CHARLES DARWIN.

237

186





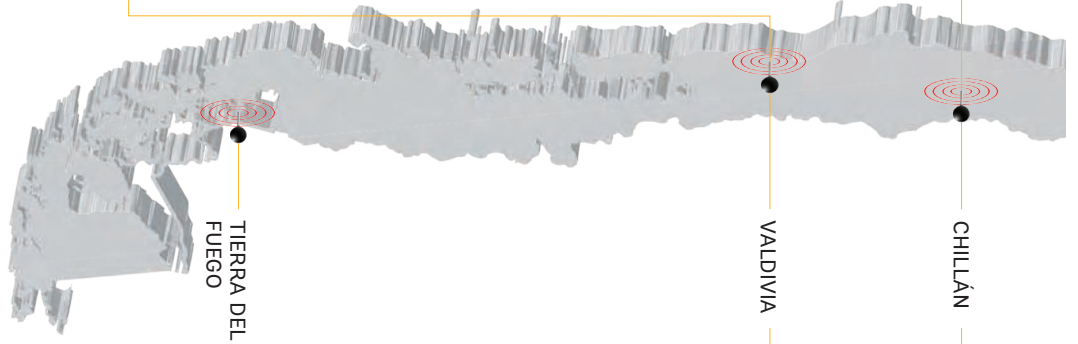
*Viaje de un naturalista alrededor de azota toda la costa chilena (20 de febrero de 1835).* ★

UN TERREMOTO TRASTRUCA EN UN INSTANTE LAS MÁS FIRMES IDEAS; LA TIERRA, EL EMBLEMA MISMO DE LA SOLIDEZ, HA TEMBLADO BAJO NUESTROS PIES COMO UNA COSTRA DELGADA PUESTA SOBRE UN FLUIDO; UN ESPACIO DE UN SEGUNDO HA BASTADO PARA DESPERTAR EN LA IMAGINACIÓN UN EXTRAÑO SENTIMIENTO DE INSEGURIDAD QUE HORAS DE REFLEXIÓN NO HUBIERAN PODIDO PRODUCIR.

El terremoto empezó de pronto y duró dos minutos. Pero a mi compañero y a mí ese tiempo nos pareció mucho más largo. El movimiento del suelo era muy perceptible y, al parecer, las ondulaciones venían del Este, otras personas sostienen que venían del Sudoeste, lo cual prueba cuán difícil es en ocasiones determinar la dirección de las vibraciones. No se experimentaba dificultad alguna para sostenerse de pie, pero el movimiento me produjo casi un mareo semejante al mal de mar; se parecía en efecto mucho al movimiento de un buque en medio de olas muy cortas o, mejor aún, se hubiera dicho patinar por encima de una capa de hielo de débil espesor que se doblégará con el peso del cuerpo.

# TERREMOTOS

DE LOS ÚLTIMOS 110 AÑOS

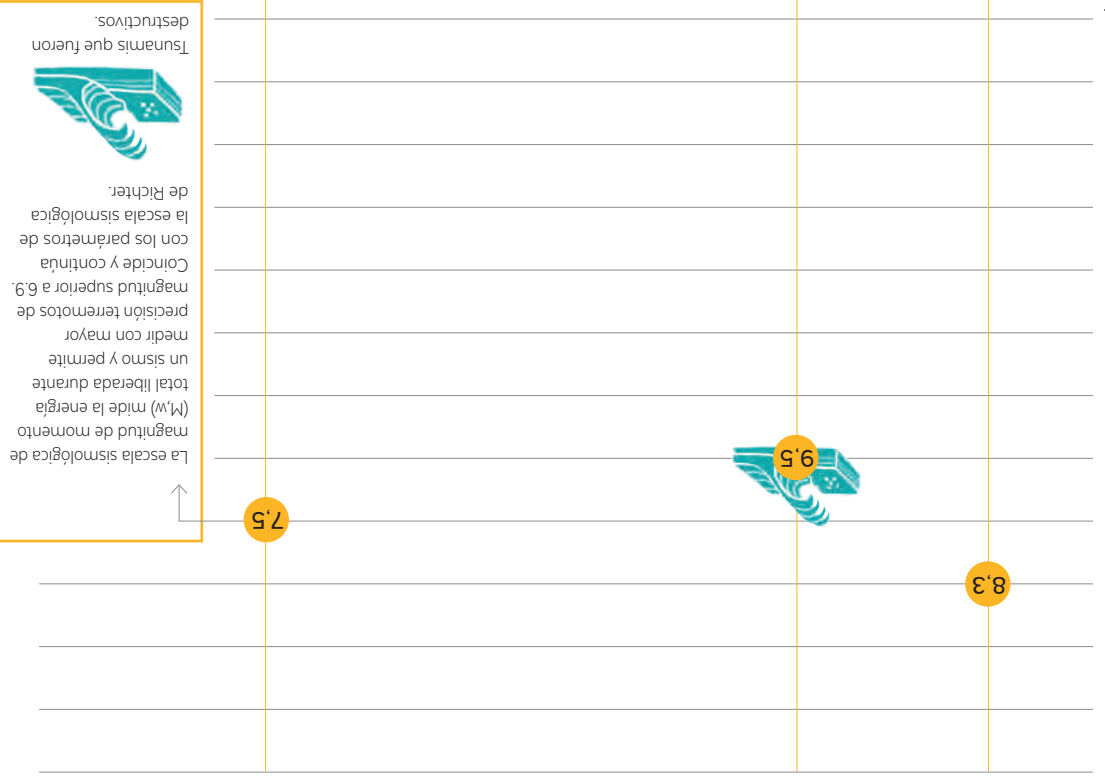


**MAULE 2010:** 125 muertos por tsunami y 422 muertos por terremoto (Fuente: Servicio Médico Legal de Chile). El terremoto desplazó varios metros la placa de Nazca hacia el interior del continente. El eje del momento de inercia de la Tierra se desplazó 8 cm.

**CHILLÁN 1939:** 24 mil muertos. Creación de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

**VALDIVIA 1960:** 2 mil muertos (Fuente: Comité Oceanográfico Nacional de Chile). Es el mayor registrado en la historia del mundo. En algunas zonas la altura de tsunamis alcanzó más de 30 metros.

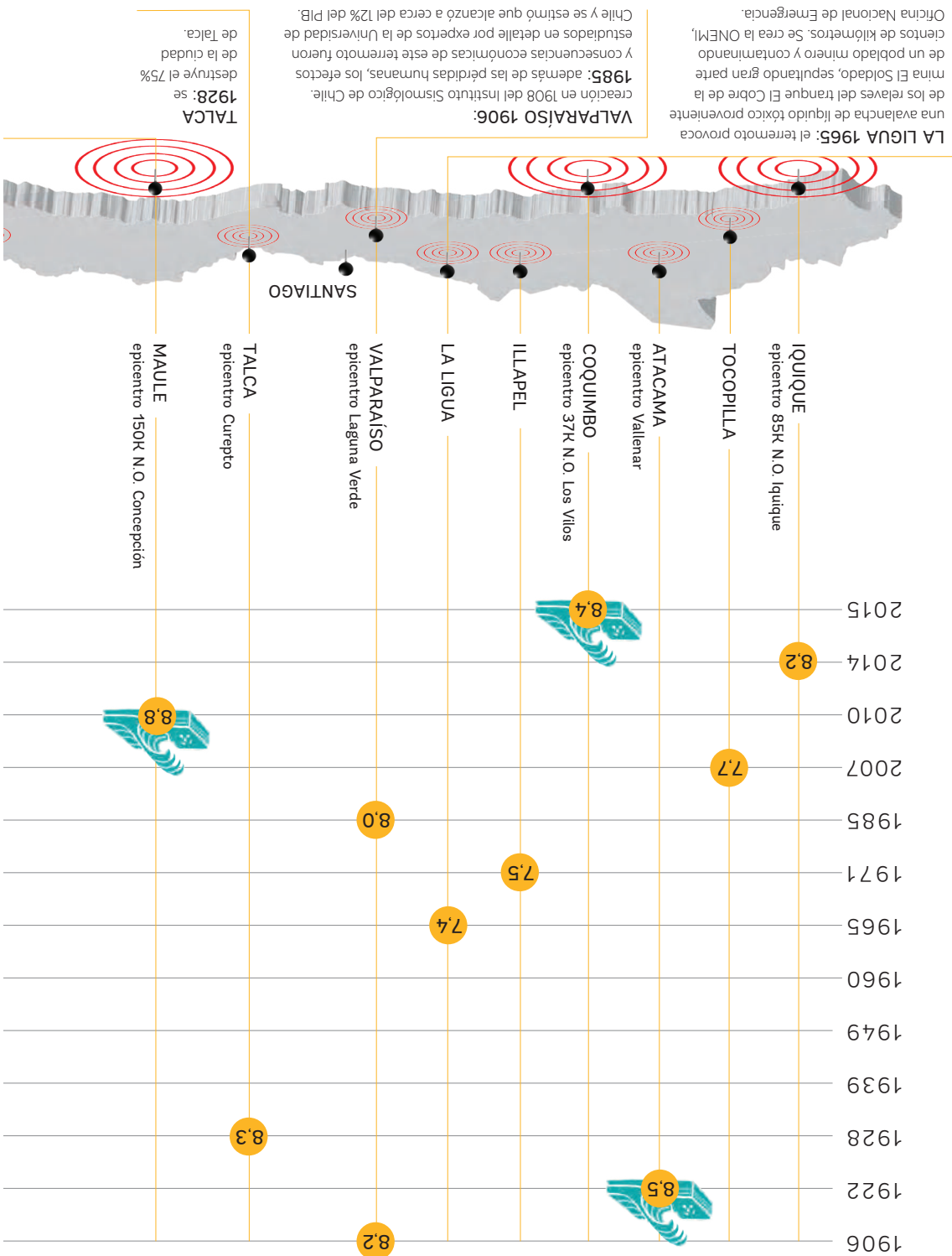
N.O. = Noroeste



- 205
- 195
- 181
- 179



# EPICENTROS / CIUDADES



**LA LIGUA 1965:** el terremoto provoca una avalancha de líquido tóxico proveniente de los relaves del tranque El Cobre de la mina El Soldado, sepultando gran parte de un poblado minero y contaminando cientos de kilómetros. Se crea la ONEMI, Oficina Nacional de Emergencia.

**VALPARAÍSO 1906:** creación en 1908 del Instituto Sismológico de Chile. **1985:** además de las pérdidas humanas, los efectos y consecuencias económicas de este terremoto fueron estudiados en detalle por expertos de la Universidad de Chile y se estimó que alcanzó a cerca del 12% del PIB.

**1928:** se destruye el 75% de la ciudad de Talca.

681

AÑOS

TRAZA DE LA FALLA DE SAN  
ANDRÉS A LO LARGO DEL  
ACANTILLADO COSTERO QUE  
BORDEA LA CIUDAD DE DALY CITY,  
EN CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS.

LABORATORIO DE TERREMOTOS

224

212

190





EN EL EXTREMO SUR, LA INTERACCIÓN DE LAS PLACAS ANTÁRTICA, SUDAMERICANA Y DE SCOTIA ES MUCHO MÁS SUAVE QUE LA **SUBDUCCIÓN DE TIPO CHILENA** QUE SE DA ENTRE LAS PLACAS DE NAZCA Y LA SUDAMERICANA. EL MOVIMIENTO DE LAS TRES PLACAS DEL SUR SUMA CERCA DE 2 CM AL AÑO, PERO PUEDE PRODUCIR TERREMOTOS SUPERFICIALES DE GRAN INTENSIDAD COMO EL TERREMOTO DE MAGNITUD 7,5, OCURRIDO EN 1949 CON EPICENTRO EN LA FALLA DE MAGALLANES, QUE ES DE UN TIPO SIMILAR A LOS QUE PRODUCE LA FALLA DE SAN ANDRÉS, EN ESTADOS UNIDOS. \*

MIRADOR





LA FALLA DE ATACAMA  
ESTÁ AL LADO DEL CERRO  
PARANAL Y SE ENCUENTRA  
EN LA PROVINCIA DE  
ANTOFAGASTA.

240

93

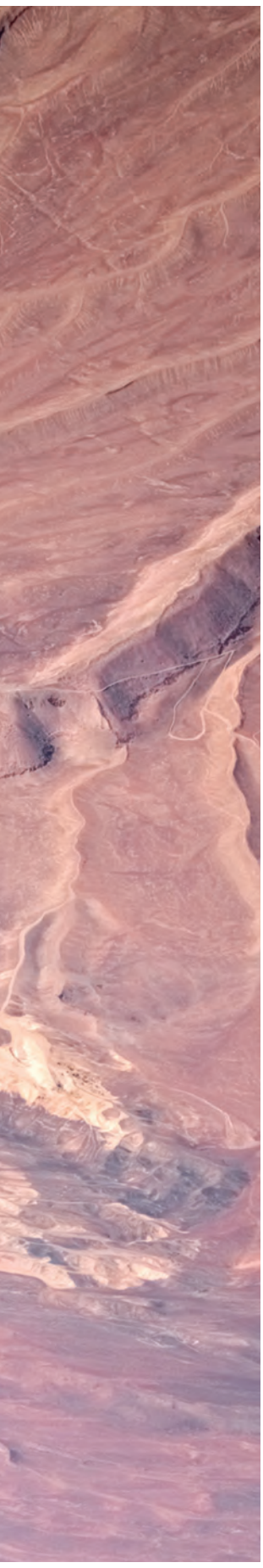
192





La mayoría de los terremotos de Chile se producen en el contexto de la subducción andina, donde interactúan dos o más placas tectónicas: Nazca y Sudamericana para la zona comprendida desde Arica y la Península de Taitao, y las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia para la zona al sur de Taitao hasta Punta Arenas y la Antártica. Esas interacciones generan una gran diversidad de sismos de diferentes magnitudes, intensidades y efectos. Los temblores más frecuentes y los mayores terremotos se producen en la zona que va de Arica a Aysén donde convergen las placas de Nazca y Sudamericana, que se desplazan la una hacia la otra con velocidades entre 3 y 4 cm al año, lo que suma una velocidad de convergencia de casi 7 cm por año, una de las mayores en el mundo. La placa de Nazca, mucho más densa y por lo tanto pesada, se desliza bajo la placa Continental generando frecuentes movimientos sísmicos a diferentes profundidades, desde unos pocos kilómetros de la superficie hasta unos 300 km de profundidad, muchos de ellos de gran intensidad, es decir, sobre 6 de magnitud Richter. En Chile, entre el 2010 y el 2015 se produjeron tres de los seis terremotos sobre magnitud 8 que sacudieron el mundo y los tres fueron producto del choque de esas dos gigantes placas.

En la península de Taitao, en la zona conocida como Punto Triple, convergen las placas de Nazca, Sudamericana y Antártica. El movimiento relativo a lo largo de esta falla es como en la falla de San Andrés, es decir, el bloque al oeste de la falla se mueve hacia el norte, mientras que el bloque al este se mueve hacia el sur. Los sismos que se generan con este tipo de fallas suelen ser muy destructivos porque se producen a escasas profundidades (15 a 20 km), similares a los de Turquía e Italia; los que ocurren al norte de la península son como los típicos de México o Japón. En las zonas de islas y fiordos de la Patagonia los temblores se parecen a los de Suecia y Noruega. Además de observar todos los tipos de interacción entre las placas y los temblores asociados a ellas, en Chile es posible observar cómo reaccionan los distintos tipos de suelo según el lugar donde se haya originado el sismo: en el mar o hacia el interior, a nivel superficial, intermedio o profundo de la Tierra. Estudiar y comprender estos fenómenos es vital para prever el impacto de los sismos en las construcciones que se han levantado sobre cada tipo de suelo. En Chile, la geología, la geografía y la ingeniería cuentan con un laboratorio natural para observar y estudiar los movimientos de la Tierra, y así aprender a construir infraestructura más resistente que pueda salvar vidas; y también para conocer mejor cómo se formó nuestro planeta.





EL TERREMOTO DE  
VALDIVIA EN 1960 HA  
SIDO EL MÁS INTENSO  
DESDE QUE EXISTEN  
REGISTROS EN EL PLANETA.

LABORATORIO DE TERREMOTOS

189

180

194





Chile es un lugar privilegiado para la observación del cielo y también para investigar la Tierra a través de los terremotos. Grandes sismos como el de Valdivia de 1960 o el de Constitución de 2010, son referentes en los estudios geológicos y geofísicos sobre el interior de la Tierra, su estructura, y las variaciones de temperatura en profundidad. En Chile se produce la mayor cantidad de temblores en el mundo y son generados tanto por el choque de las placas tectónicas como por la actividad volcánica. Los sismos relacionados con los volcanes, menos frecuentes, liberan la energía que se acumula en la zona próxima al magma; son de menor intensidad y abarcan el territorio del volcán y sus alrededores. En Chile hay más de 500 volcanes activos.



DIARIO LA NACIÓN,  
1960.

MIRADOR

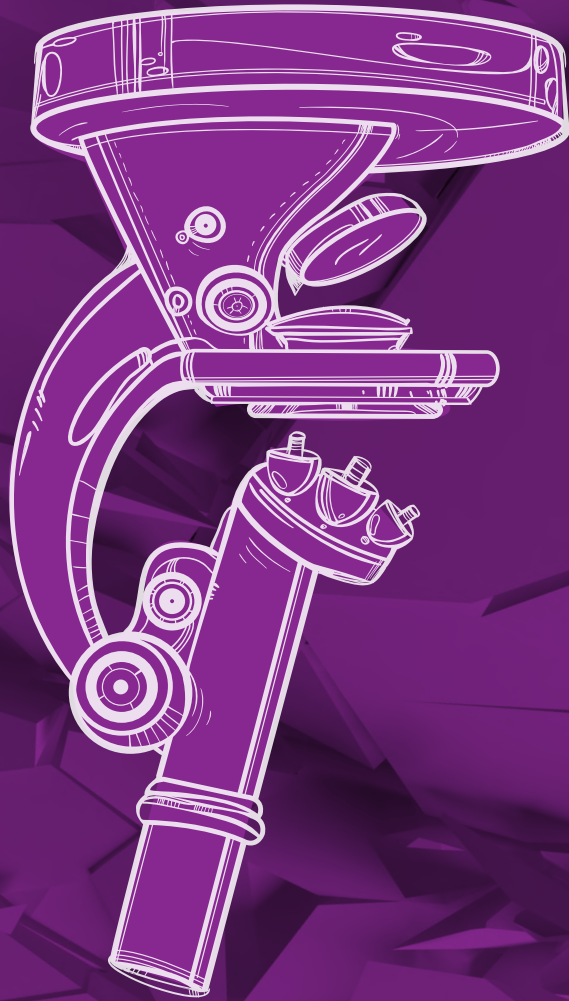
# LABORATORIO de TERREMOTOS

*Terremoto*  
(Del latín terra  
'tierra', y motus  
'movimiento').

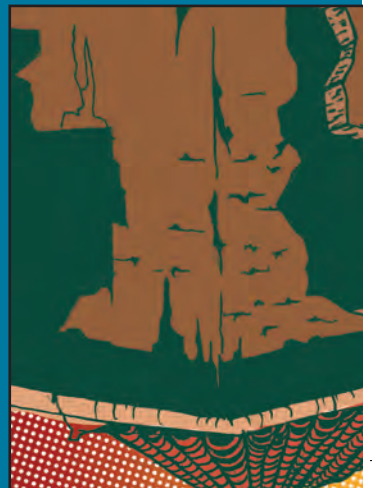
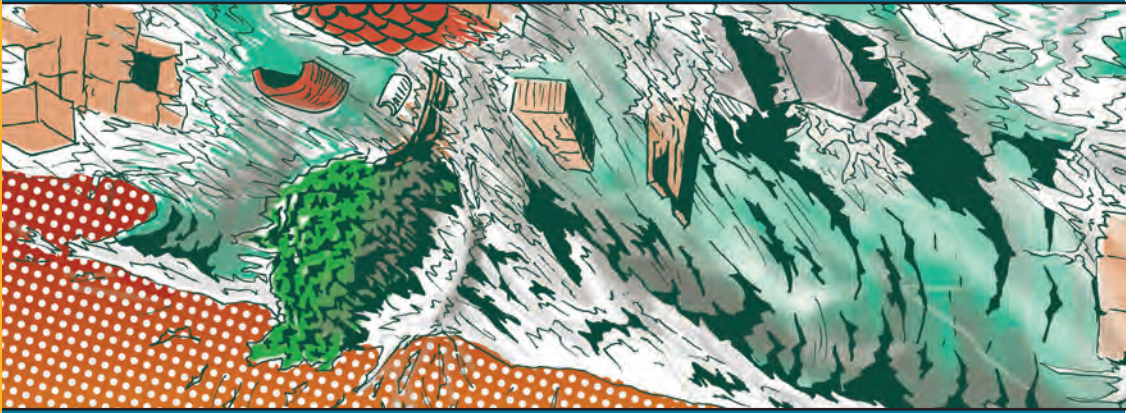
**Extracto de  
PUERTO MONTE ESTÁ TEMBLANDO**  
Violeta Parra

Puerto Monte está temblando  
Con un encono profundo  
Es un acabo de mundo  
Lo que yo estoy presentando  
A Dios le voy preguntando  
Con voz que es como un bramido  
Por qué mandó este castigo  
Responde con elocuencia  
Se me acabó la paciencia  
Y hay que limpiar este trigo.





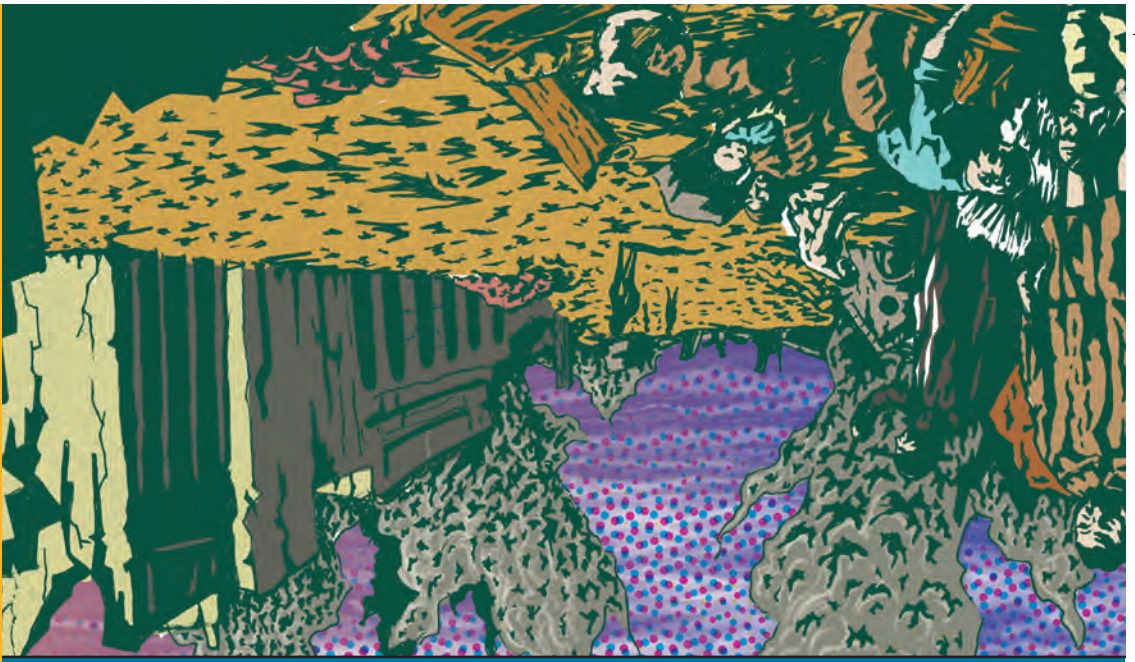
















CERCA DEL CONVENTO DE SANTA CLARA ESTÁ UN PEÑASCO QUE SE DERRUMBÓ DEL CERRO DE SANTA LUCÍA, QUE ESTÁ JUNTO A LA CIUDAD, Y VINO RODANDO HASTA LLEGAR A UNA CASA, Y ES TAL SU GRANDEZA QUE NO HAY FUERZAS PARA MENEARLE, AUNQUE SE JUNTE TODA LA GENTE DE LA CIUDAD.

*ABRÍOSE LA TIERRA POR MUCHAS PARTES Y VOMITABA NEGRAS Y PESTÍFERAS AGUAS. LOS RISCOS SE DERRUMBARON Y ABRIERON POR DIFERENTES PARTES, DESCOLGANDO DESDE SUS CUMBRES GRANDES PEÑASCOS QUE SE LLEVABAN POR DELANTE QUANTO ENCONTRABAN.*

SE RESERVÓ DE SU RIGOR, AUNQUE LA MALTTRATÓ MUCHO Y DERRIBÓ LA TORRE CON SUS CAMPANAS, QUE ERA DE PIEDRA, MUY HERMOSA Y BIEN ACABADA.

EN LA CIUDAD DE SANTIAGO, CABEZA DESTE REYNO, FUE MÁS FUNESTO EL TEMBLOR QUE A TRECE DE MAYO, AÑO DE 1647, SOBREVINO ENTRE LAS DIEZ Y ONCE DE LA NOCHE, CON SUMO SILENCIO Y SIN PRECEDER ESTRUENDO NI EL BULLICIO QUE SUELE SER AVISO DE SU VENIDA: DEMOLIÓ LOS EDIFICIOS HASTA LOS CIMIENTOS, VOLTEABA LAS PAREDES Y VOLVIA LO DE ARRIBA ABAJO, SEPULTANDO LA GENTE EN SUS RUINAS; Y FUERON MÁS DE MIL LOS QUE MATÓ, SIN CONTAR OTROS HERIDOS Y MALTTRADOS. ERA UNA NOCHE DE JUICIO, Y LASTIMOSO ESPECTÁCULO OÍR LOS CLAMORES Y LA VOCERÍA DE LA GENTE PIDIENDO A DIOS MISERICORDIA Y LA TIERRA TEMBLANDO Y FLUCTUANDO COMO MAR, CAUSANDO ESPANTO EL RUIDO DE LAS CASAS E IGLESIAS QUE SE CAÍAN: SOLO LA DE SAN FRANCISCO

## TERREMOTO DE SANTIAGO. 13/05/1647

# TIEMBLA en la COLONIA

2

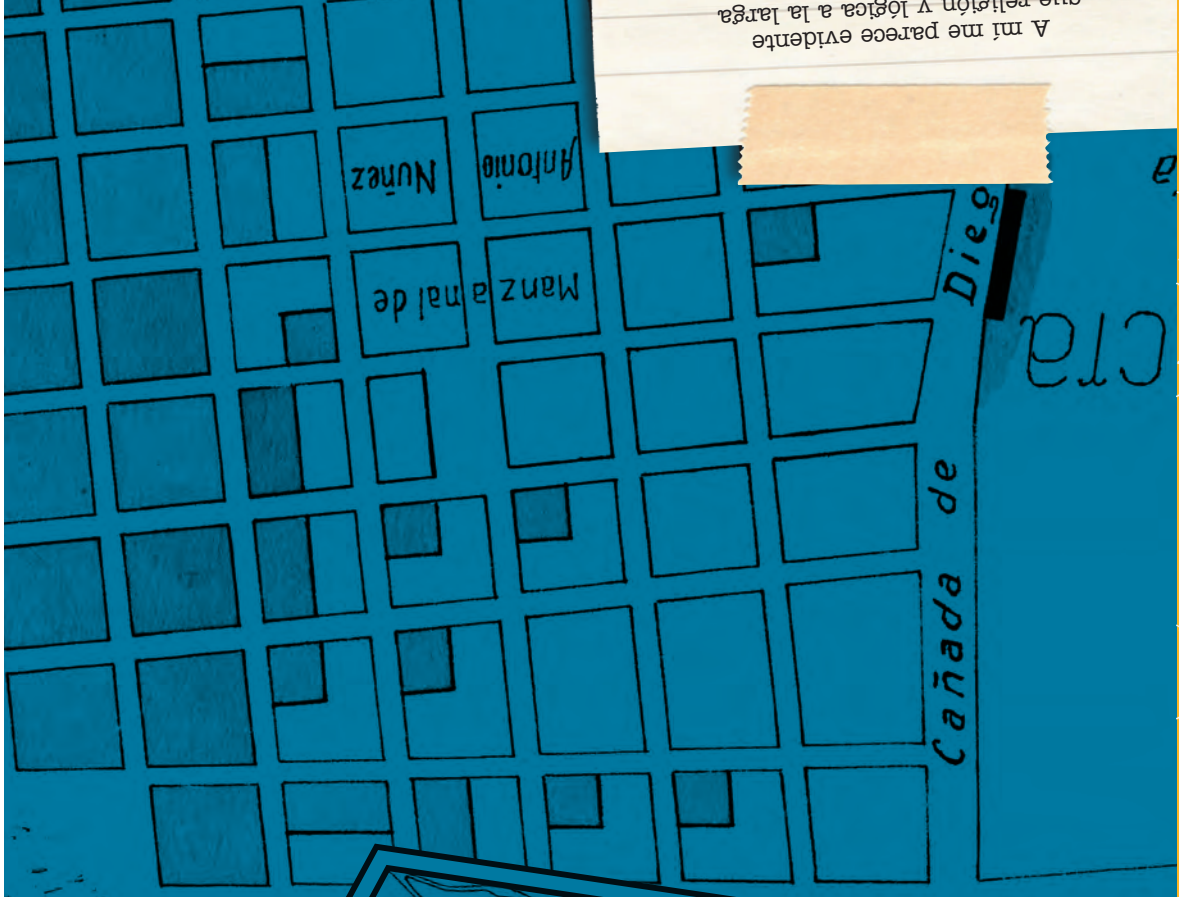
TERREMOTO DE CONCEPCIÓN 1657

1

TERREMOTO DE SANTIAGO 1647



Segun croquis  
del señor  
TOMAS THAYER OJEDA



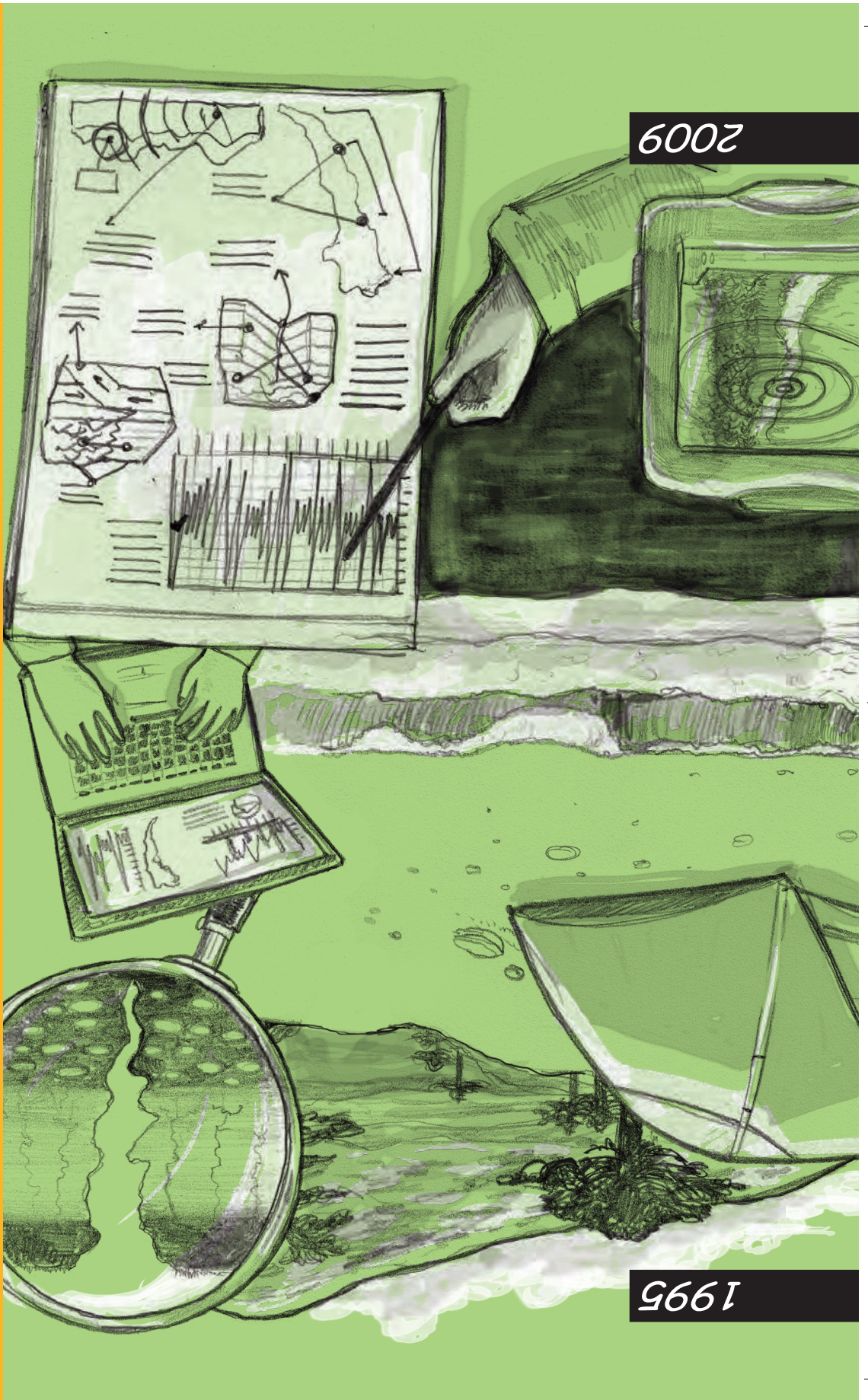
Extrato de  
**SERMONES Y PREDICAS DEL CRISTO  
DE ELQUI XVI**  
Nicanor Parra

A mi me parece evidente  
que religión y lógica a la larga  
vienen a ser prácticamente lo mismo  
se debiera sumar  
como quien reza un ave maría  
se debiera rezar  
como quien efectúa una operación matemática  
ceremonias y ruegos claro que si  
humillémonos ante el grandioso  
para que se ría. Satanás.





6007



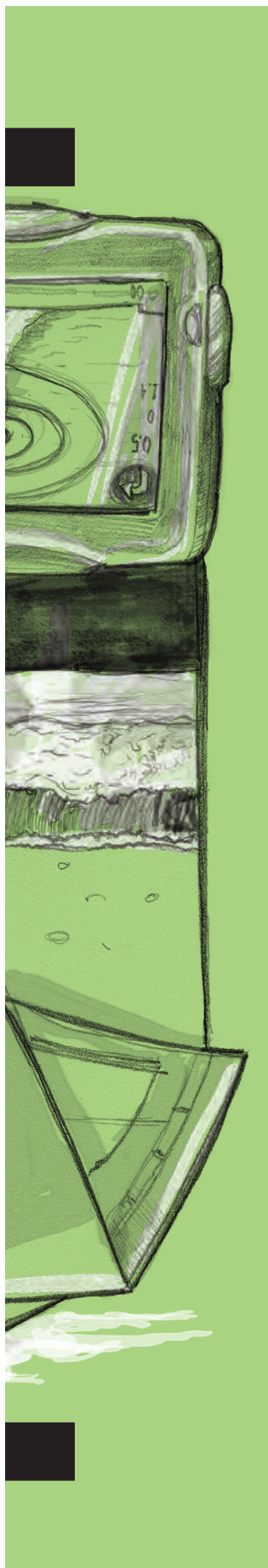
1995

189

179

204





se desplazaba el territorio con cada movimiento. Ese día entró al mundo de la sismología y nunca más lo abandonó.

Fue así que más tarde, después de años de estudiar la Tierra,

dividiendo su vida entre el terreno y el escritorio, saliendo con equipos de científicos a buscar fallas sísmicas,

instalando estaciones sísmológicas de monitoreo, durmiendo en carpas, reconociendo empíricamente el

comportamiento del terreno, en el año 2009, él, junto a Sergio Barrientos y Edgar Kausel, premio nacional de Ciencias, más un grupo de científicos franceses, midieron cuánto se estaba contrayendo la Tierra en las regiones del Maule y del Biobío y anticiparon la posibilidad de que se produjera un terremoto del 27/F, ubicando las Ciencias de la Tierra en Chile como un referente a nivel mundial.

**EL 27 DE FEBRERO DE 2010 A LAS 3.34 DE LA MADRUGADA, SUPO QUE ESE GRUPO DE INVESTIGADORES CHILENOS Y FRANCESES HABÍAN DADO UN NUEVO PASO PARA DESCIFRAR EL ACERTIJO DE LA TIERRA. ★**

¡**J**aime Campos no es adivino. Como sismólogo especializado en las herramientas de la física puede describir y entender cómo se originan los terremotos, es decir, qué sucede en el lugar de la corteza donde se produce la liberación de energía durante un sismo.

Su pasión por la sismología comenzó con otro regreso de un viaje... y otro terremoto: el del 3 de marzo de 1985. Ese día volvía en avión desde Punta Arenas, luego de terminar su práctica de ingeniero en minas. Había pasado el verano realizando exploraciones para encontrar petróleo en Tierra del Fuego y sobre las plataformas petroleras ubicadas en los agitados mares australes. Pero poco antes de aterrizar en Santiago el piloto advertía que en tierra firme estaba sucediendo un terremoto y que el avión tendría que sobrevolar sobre la ciudad hasta que la tierra se calmara.

Al día siguiente fue al departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, donde requerían estudiantes que fueran a instalar instrumentos en distintos lugares de la zona central de Chile para medir cuánto

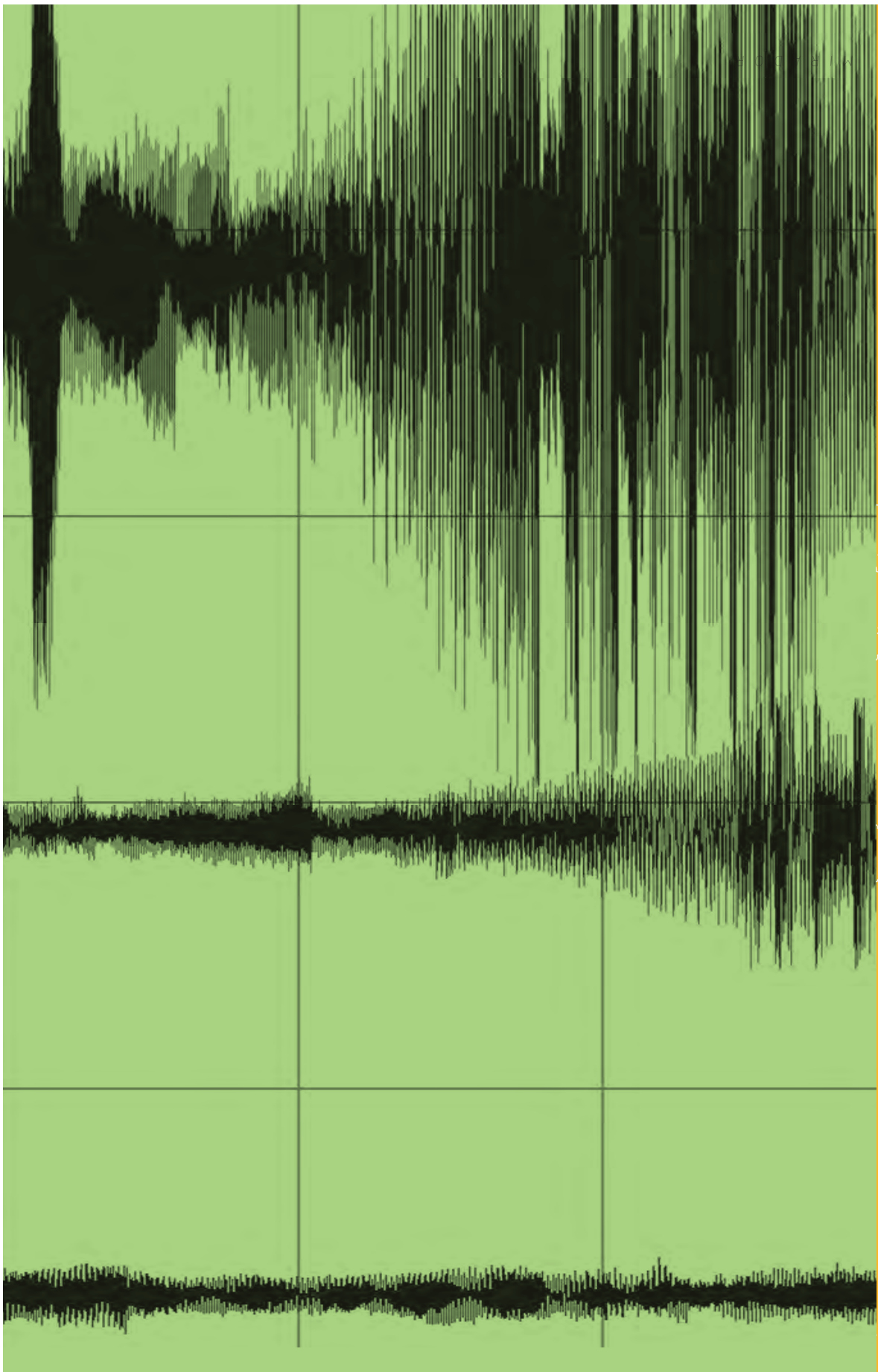
LA MADRUGADA DEL 27 DE FEBRERO DE 2010, EL DOCTOR EN GEOFÍSICA Y ACADÉMICO DEL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA U. DE CHILE, JAIME CAMPOS, REGRESABA A SANTIAGO LUEGO DE LAS VACACIONES FAMILIARES. DE PRONTO SINTIÓ QUE UNA ENERGÍA ENORME ESTABA ENTRANDO A SANTIAGO. SUPUSO DE INMEDIATO QUE SE TRATABA DE UN TERREMOTO DE MÁS DE 8 GRADOS RICHTER, CON UN ALTO RIESGO DE MAREMOTO Y SABLA QUE EN POCOS MINUTOS MÁS, LAS TELECOMUNICACIONES SE VENDRIAN ABAJOS.

# LA TIERRA Y SUS ACERTIJOS

## Extracto de TERREMOTO EN CHILE Pablo Neruda

Dios mío, tocó la campana la lengua del  
antepasado en mi boca,  
otra vez, otra vez el caballo iracundo  
patea el planeta  
y escoge la patria delgada,  
la orilla del páramo andino,  
la tierra que dio en su angostura la uva  
celeste y el cobre absoluto,  
otra vez, otra vez la herradura en el rostro  
de la pobre familia que nace y padece  
otra vez espanto y la grieta,  
el suelo que aparta los pies y  
divide el volumen del alma  
hasta hacerla un pañuelo, un  
puñado de polvo, un gemido.

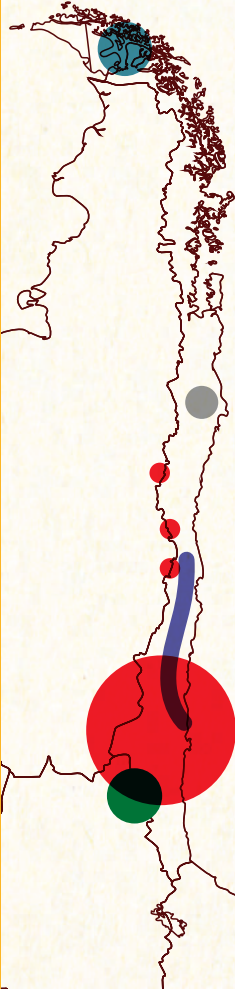






- CARBÓN
- PETRÓLEO
- HIERRO
- COBRE
- MOLIBDENO

**ENGROSAMIENTO**  
 Continúa la compresión de las placas produciendo el engrosamiento de la corteza. Producto de esos movimientos, se forman gigantes yacimientos de cobre en el centro de Chile, como Pelambres, El Teniente, Río Blanco-los Bronces. [10 Ma]







**EL FRÍO MAR**  
 FORMACIÓN DE LA CORRIENTE  
 CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA QUE  
 PROVOCA UNA DISMINUCIÓN  
 DE LAS TEMPERATURAS DE LAS  
 AGUAS DE LOS OCEANOS EN  
 TODO EL PLANETA.

# 6

## 24 Ma - ACTUALIDAD UN MAR FRÍO Y UNA GRAN CORDILLERA

[23,8 Ma] Se inicia la separación de la Antártica de América que demorará 12 millones de años y culminará con la formación del Paso Drake. Se inicia la glaciación del lado oeste de la Antártica.

En la parte norte de Chile y sur de Perú y Bolivia, la corteza terrestre adquiere su mayor espesor y la cordillera su mayor ancho y altura.

[5,3 Ma] Empujada por la compresión de las placas, la cordillera de los Andes alcanza su altura actual. El vulcanismo se desplaza a las zonas más altas, en donde dió origen a yacimientos de oro y plata, y, en menor cantidad, cobre, plomo y cinc.

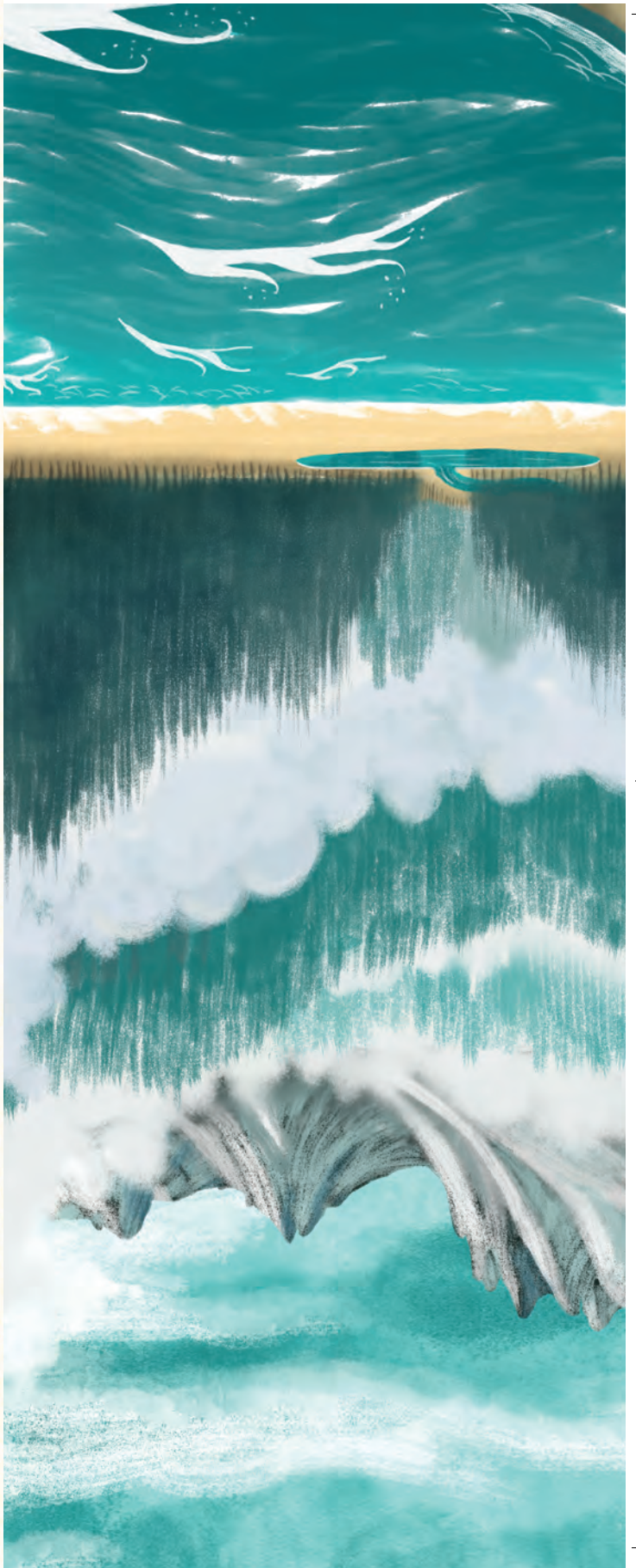
## NACE LA CORRIENTE DE HUMBOLDT

El viento forma una corriente de superficie que moviliza aguas de origen subantártico desde Puerto Montt hacia el norte, generando condiciones inusuales de sequedad y frío para un territorio ubicado en una zona subtropical, lo que crea condiciones de aridez en el norte de Chile y sur de Perú. ★

M I R A D O R



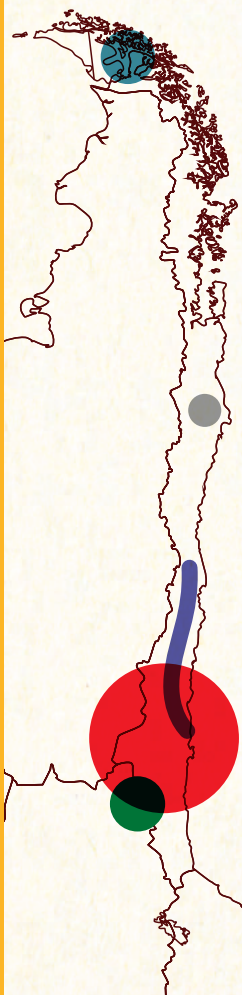




- CARBÓN
- PETRÓLEO
- HIERRO

Este es el período en que se formaron los grandes yacimientos de cobre y molibdeno. La subducción más rápida y la intensa actividad magmática asociada a ella dan origen a los mayores yacimientos metálicos conocidos en el mundo. Con el tiempo, la profunda erosión de los elevados cordones volcánicos dejará a niveles superficiales los grandes yacimientos de cobre y molibdeno como los de Collahuasi, Chuquibambilla, Escondida y Salvador, entre muchos otros, que constituyen una de las grandes riquezas naturales de nuestro país.

- COBRE
- MOLIBDENO

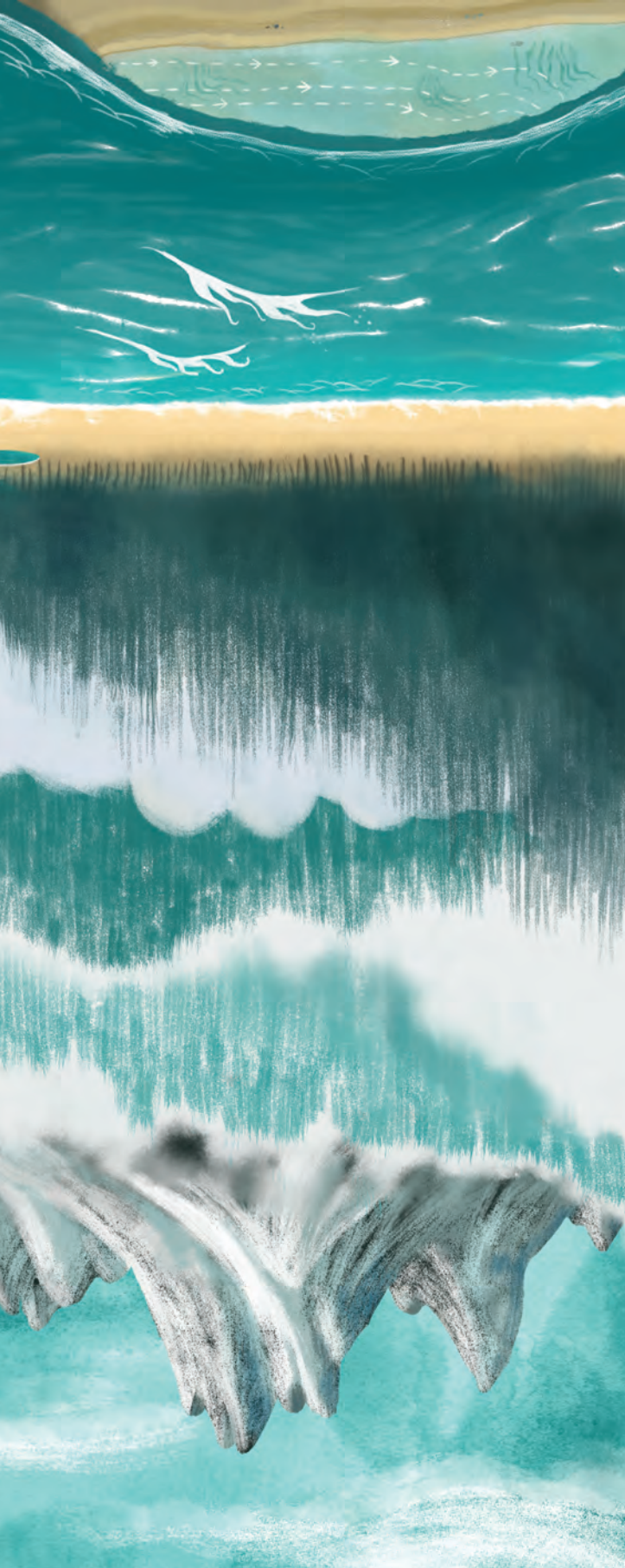


UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

210





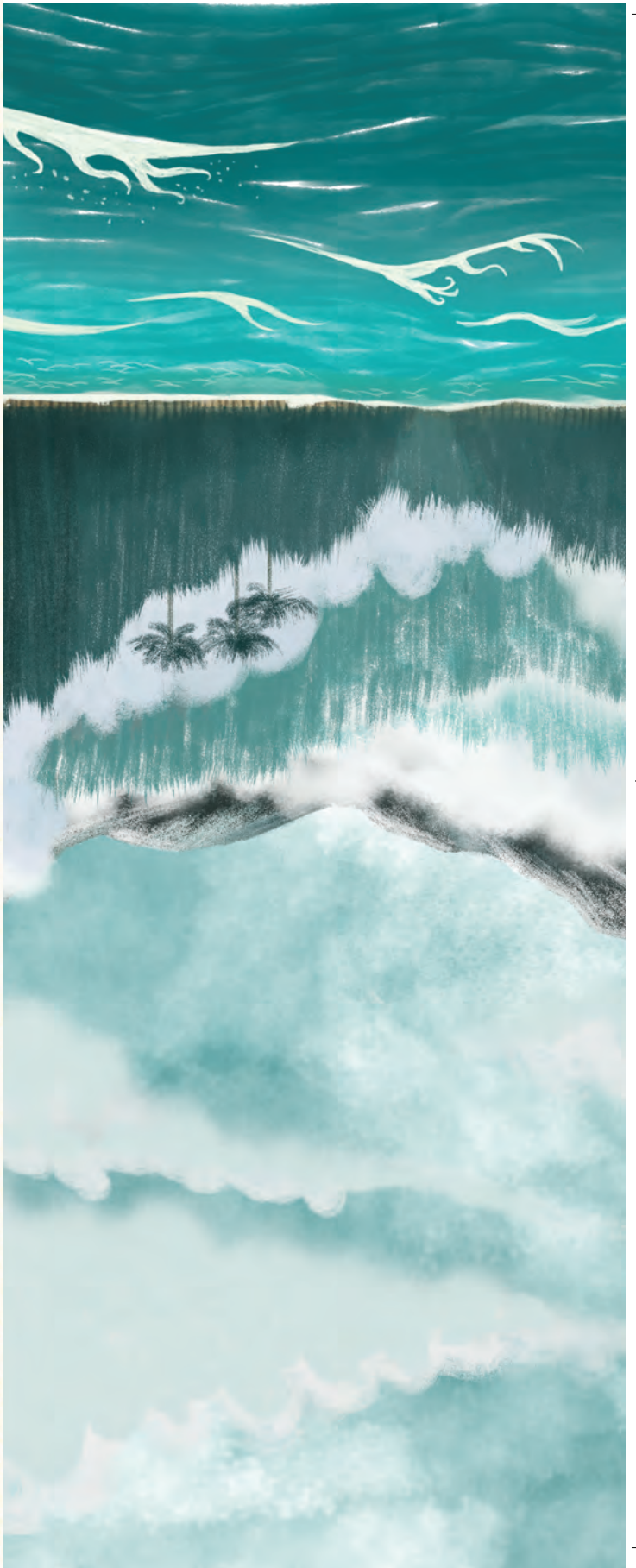
# 5 65-25 Ma SE ELEVAN LAS CORDILLERAS

[65 Ma] Se inicia la segunda etapa de la cordillera de los Andes que crece mucho más rápido que el desgaste de la erosión.

[45 Ma] La fuerte compresión resultante de una subducción más rápida y con gran fricción entre las placas Oceánica y Continental acarrea la elevación de un nuevo cordón montañoso más al este. Es la cordillera Incaica que se extenderá desde el centro del Perú hasta Chile central.

[38 Ma] Comienza la separación de Australia, que provoca la glaciación del lado este de la Antártica. Desde el sur sube una corriente de agua fría que baja la temperatura del mar de Chile a 20 °C.

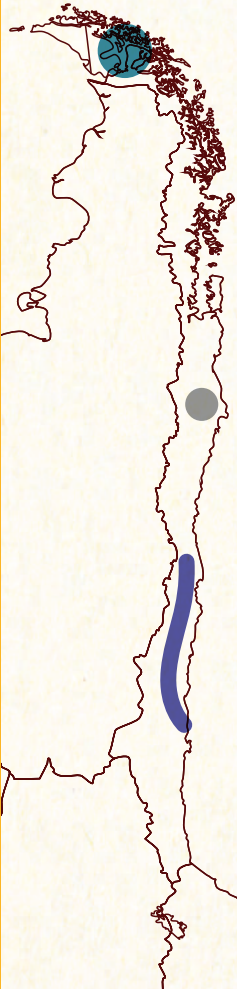
M I R A D O R



- CARBÓN
- PETRÓLEO
- HIERRO

La constante renovación del fondo oceánico crea una placa más liviana que se desliza a gran velocidad bajo la placa Continental creando una fuerte compresión que origina montañas. Este movimiento se conoce como subducción tipo chilena.

### SUBDUCCIÓN TIPO CHILENA



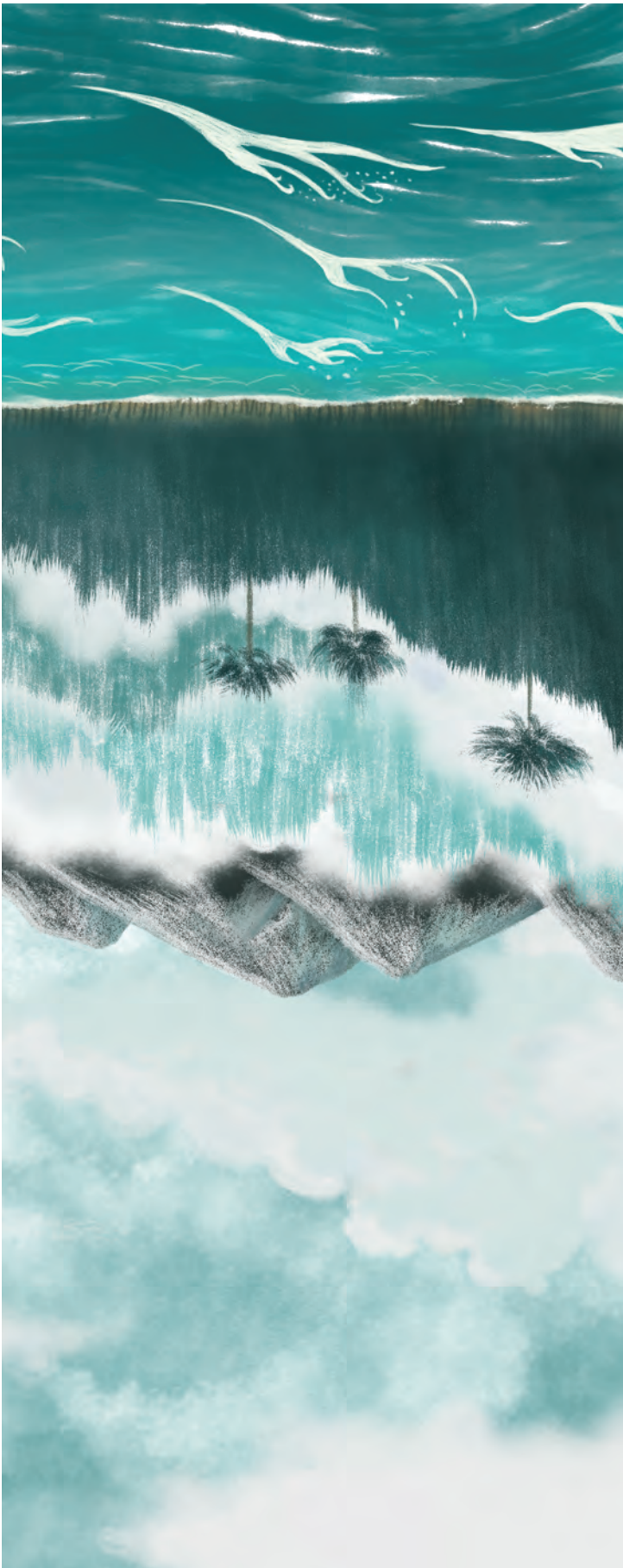
UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

- 36
- 257
- 233
- 224
- 191

212





# 4

## 110-65 Ma

### SE RETIRAN LAS AGUAS Y NACE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Una subducción más plana origina el surgimiento de montañas en una posición más oriental, algo más hacia el interior del continente.

En Aysén y Magallanes las cuencas marinas siguen cubiertas por el mar. Bajo la presión de la placa Oceánica comienza la formación de la cordillera de los Andes, que continúa hasta nuestros días. La nueva cordillera levanta lentamente las regiones ocupadas por el mar hasta dejarlas fuera del agua. Numerosos fósiles serán testimonio de este proceso.

### EXTINCIÓN

Un meteorito golpea la Tierra, produciendo una enorme explosión y levantando una nube de polvo que oscurece el cielo del planeta durante cientos de años, provocando la extinción masiva de los dinosaurios y de muchos otros organismos vivos.

M I R A D O R



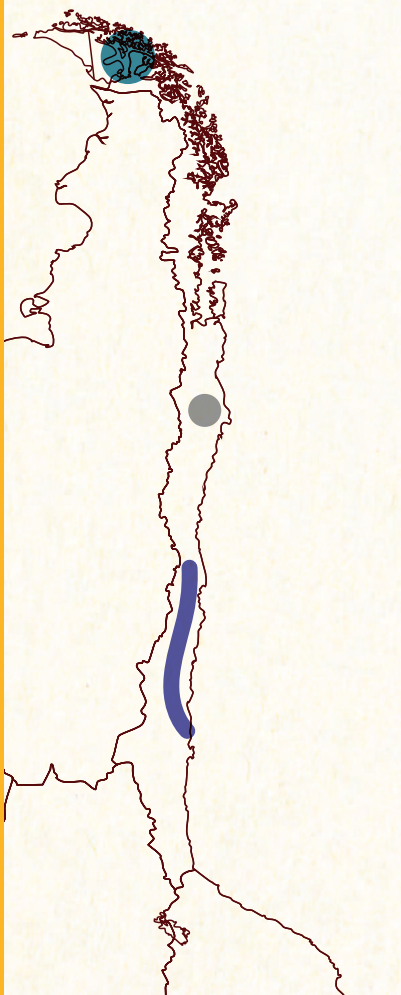
SE FUE ÁFRICA  
 CULMINA EL  
 DESMEMBRAMIENTO  
 DE GONDWANA. POR  
 UN LADO QUEDA  
 ÁFRICA Y AL OESTE  
 Y SUR, UN GRAN  
 CONTINENTE DONDE  
 ESTÁN SUDAMÉRICA  
 AUSTRALIA Y  
 LA ANTÁRTICA

INTENSA SUBDUCCIÓN  
 SE REACTIVA UNA SUBDUCCIÓN  
 SUAVE AL OESTE DEL TERRITORIO  
 AMERICANO. LA PLACA OCEÁNICA  
 PENETRA CON Poca FUERZA  
 GENERANDO LAS CONDICIONES  
 PARA EL HUNDIMIENTO DEL  
 BORDE CONTINENTAL, LO QUE  
 PERMITE EL INGRESO DEL MAR  
 HASTA ARGENTINA.

● CARBÓN  
 ● PETRÓLEO

Bajo el cordón volcánico costero, la intensa actividad magmática produce cuerpos plutónicos que darán origen a la "Franja Ferrifera de Chile", donde se ubican yacimientos como Algarrobo y Romeral.

● HIERRO



UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

236

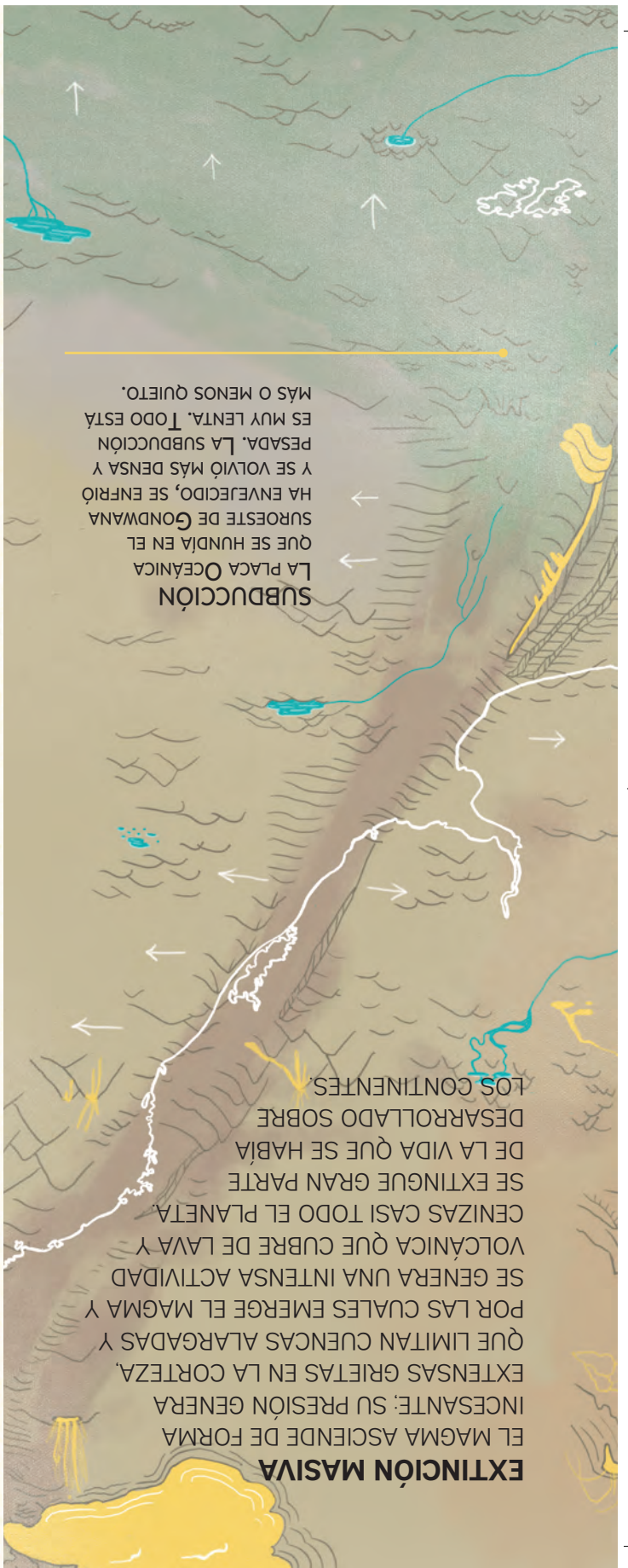
214



# 3 200-110 Ma CHILE TODO EL MAR

El mar cubre casi todo el borde del continente. Gran parte del territorio que hoy es Chile está bajo el agua. Se levanta un cordón volcánico donde hoy se encuentra la cordillera de la Costa. El océano irrumpe e invade la región situada al este de ese cordón formando un mar que llega hasta las provincias actuales de Mendoza y Neuquén, en Argentina. Asociada con la formación del océano Atlántico y la separación de África de América, en Aysén y Magallanes se profundiza una cuenca que logra partir transitoriamente la corteza continental.





LA PLACA OCEÁNICA  
QUE SE HUNDÍA EN EL  
SUROESTE DE GONDWANA  
HA ENVEJECIDO, SE ENFRÍO  
Y SE VOLVIÓ MÁS DENSA Y  
PESADA. LA SUBDUCCIÓN  
ES MUY LENTA. TODO ESTÁ  
MÁS O MENOS QUIETO.

**EXTINCION MASIVA**  
EL MAGMA ASCIENDE DE FORMA  
INCESANTE. SU PRESION GENERA  
EXTENSAS GRIETAS EN LA CORTEZA,  
QUE LIMITAN CUENCAS ALARGADAS Y  
POR LAS CUALES EMERGE EL MAGMA Y  
SE GENERA UNA INTENSA ACTIVIDAD  
VOLCÁNICA QUE CUBRE DE LAVA Y  
CENIZAS CASI TODO EL PLANETA.  
SE EXTINGUE GRAN PARTE  
DE LA VIDA QUE SE HABÍA  
DESARROLLADO SOBRE  
LOS CONTINENTES.



Las aguas de los ríos corren  
rápidas pendiente abajo  
aportando sedimentos que  
rellenan las depresiones o  
cuencas y que se suman a  
los materiales volcánicos  
acumulados en ellas. Estos  
ambientes cuando son  
lacustres o marinos generan las  
condiciones para el desarrollo de  
abundante actividad orgánica,  
cuyos restos se transformarán  
en el futuro en yacimientos de  
carbón y de petróleo.

● **PETRÓLEO**  
● **CARBÓN**



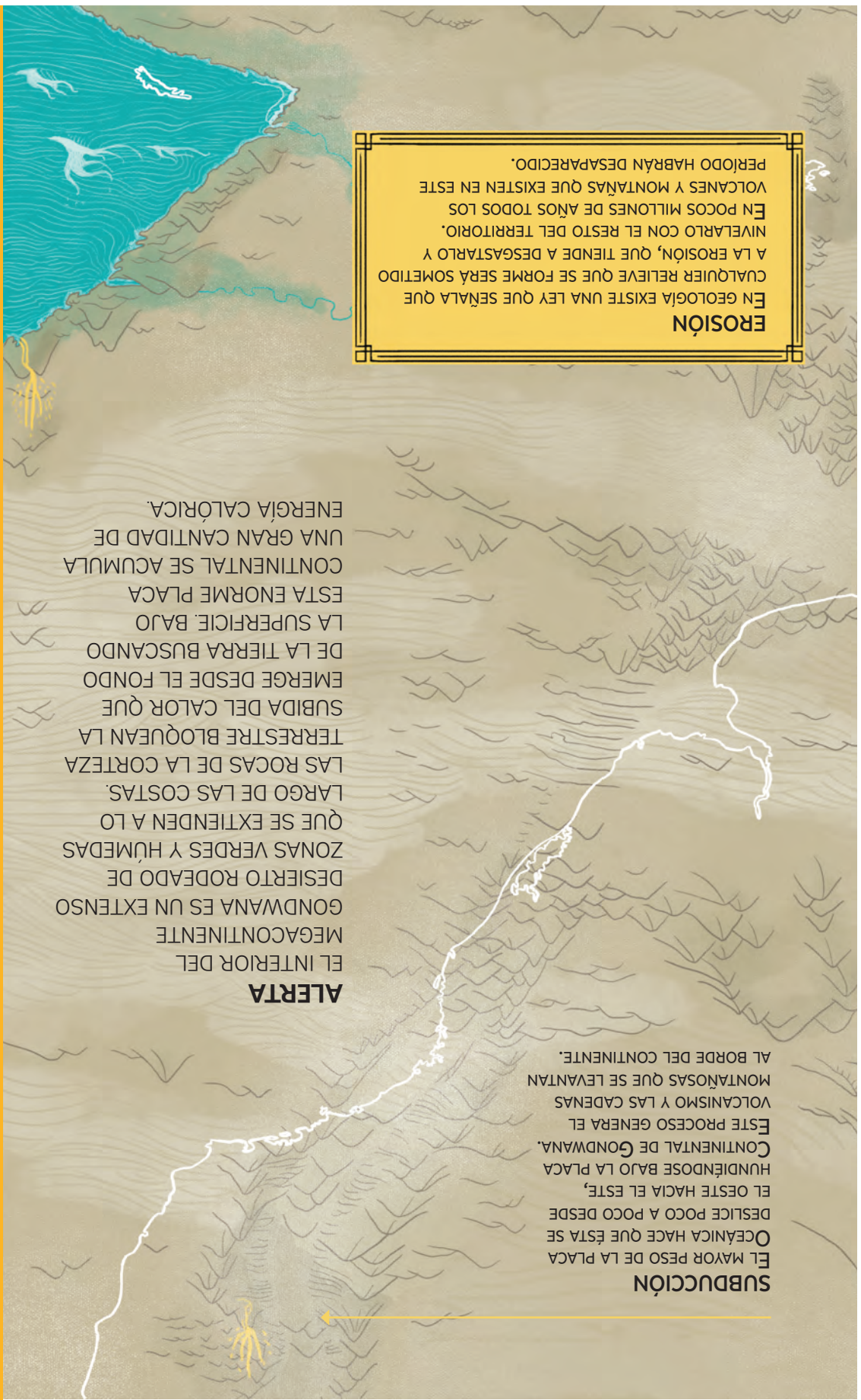
**GRAN PARTICIÓN**  
 DURANTE 40 MILLONES DE  
 AÑOS SE LIBERA LENTAMENTE  
 LA ENERGÍA ACUMULADA DEBAJO  
 DEL MEGACONTINENTE DILATANDO  
 LA FRÁGIL CORTEZA HASTA  
 RESQUEBRARLA Y PARTIRLA,  
 INICIANDO LA PARTICIÓN  
 DE GONDWANA QUE  
 TERMINARÁ FORMANDO LOS  
 ACTUALES CONTINENTES.

El calor acumulado bajo el megacontinente Gondwana debilita la corteza y se forman cuencas profundas que se extienden hasta la zona occidental de lo que ahora es Argentina. El mar penetra en ellas y las inunda formando enormes lenguas marinas que se internan en el continente.

Nada queda de los antiguos cordones volcánicos y cadenas montañosas del período anterior, desgastados y transformados por la acción de la erosión.

## 2 COMIENZA LA SEPARACIÓN DE AMÉRICA





### SUBDUCCIÓN

EL MAYOR PESO DE LA PLACA OCEÁNICA HACE QUE ÉSTA SE DESLICE POCO A POCO DESDE EL OESTE HACIA EL ESTE, HUNDIÉNDOSE BAJO LA PLACA CONTINENTAL DE GONDWANA. ESTE PROCESO GENERA EL VOLCANISMO Y LAS CADENAS MONTAÑOSAS QUE SE LEVANTAN AL BORDE DEL CONTINENTE.

### ALERTA

EL INTERIOR DEL MEGACONTINENTE GONDWANA ES UN EXTENSO DESIERTO RODEADO DE ZONAS VERDES Y HÚMEDAS QUE SE EXTIENDEN A LO LARGO DE LAS COSTAS. LAS ROCAS DE LA CORTEZA TERRESTRE BLOQUEAN LA SUBIDA DEL CALOR QUE EMERGE DESDE EL FONDO DE LA TIERRA BUSCANDO LA SUPERFICIE BAJO ESTA ENORME PLACA CONTINENTAL SE ACUMULA UNA GRAN CANTIDAD DE ENERGÍA CALÓRICA.

### EROSIÓN

EN GEOLOGÍA EXISTE UNA LEY QUE SEÑALA QUE CUALQUIER RELIEVE QUE SE FORME SERÁ SOMETIDO A LA EROSIÓN, QUE TIENDE A DESGASTARLO Y NIVELARLO CON EL RESTO DEL TERRITORIO. EN POCOS MILLONES DE AÑOS TODOS LOS VOLCANES Y MONTAÑAS QUE EXISTEN EN ESTE PERÍODO HABRÁN DESAPARECIDO.



MILLONES DE AÑOS.

# 300-250 Ma ISLAS, VOLCANES Y MONTANAS

En el suroeste de Gondwana, desde el mar emerge un territorio donde al este se levanta un cordón montañoso de intensa actividad volcánica y al oeste se dibuja una cadena de islas.

El océano penetra hasta el pie de las montañas formando una enorme cuenca marina.

Cientos de millones de años más tarde, eso que parece un archipiélago con un gran cordón montañoso como telón de fondo, se llamará Chile.

**DIVISION DE PANGEA**  
PANGEA ESTÁ FORMADO POR DOS MEGACONTINENTES MUY CERCANOS: EN EL HEMISFERIO NORTE, EURASIA, QUE REÚNE ASIA, EUROPA Y AMÉRICA DEL NORTE; Y EN EL HEMISFERIO SUR, GONDWANA, COMPUESTO POR AMÉRICA DEL SUR, AFRICA, AUSTRALIA, LA INDIA Y LA ANTÁRTICA.

MIRADOR





P. 219	P. 217	P. 215	P. 213	P. 211	P. 209
1	2	3	4	5	6
ISLAS, MONTAÑAS Y VOLCANES	SEPARACIÓN DE AMÉRICA	CHILE BAJO EL MAR	AGUAS Y NACE LA CORDILLERA DE LOS ANDES	SE ELEVAN LAS CORDILLERAS	UN MAR FRÍO Y UNA GRAN CORDILLERA

# Un TERRITORIO que se LLAMARÁ CHILE



UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

220





**Extracto de  
LA MARCHA DE LAS CORDILLERAS**  
Raul Zurita

Y entonces erguidas como si un  
pensamiento las  
moviese desde los mismos  
nevados desde las mismas  
piedras desde los mismos vacíos  
comenzaron su  
marcha sin ley las impresionantes  
cordilleras de Chile



90

255

241

209

Desaparición relativamente rápida de una proporción importante de las especies vivas en una época determinada debido a cataclismos o combinaciones de cataclismos de escala planetaria, provocados por impactos de asteroides, erupciones volcánicas masivas, cambios climáticos o atmosféricos bruscos, fuertes cambios del nivel del mar, etc. Hasta hoy, por su trascendencia e impacto, los científicos reconocen cinco extinciones principales a lo largo del tiempo geológico.

## EXTINCCIONES MASIVAS



Mezcla de roca fundida, gases y sólidos en suspensión que asciende desde el interior de la Tierra y en ocasiones se libera a través de los volcanes.

## MAGMA



Estructura formada por la acumulación en la superficie terrestre de lava, fragmentos de lava solidificada y cenizas que ascendieron desde una cámara magmática por una fractura en la corteza terrestre.

## VOLCÁN

magma, como su composición química y su contenido de gases, de la velocidad de emisión y de la interacción con cuerpos de agua.

Evento durante el cual se emite a la superficie de la Tierra material volcánico por un cráter o fisura eruptiva. La emisión puede ser considerada tranquila o violenta, dependiendo de características del

## ERUPCIÓN

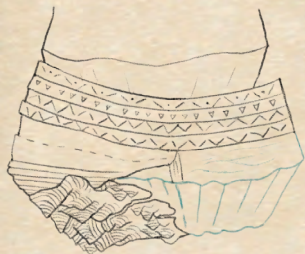


# NÚCLEO TERRESTRE

En la etapa inicial de la formación de la Tierra, la acumulación por gravedad de los elementos químicos más pesados en el centro permitió la constitución de un núcleo muy pesado compuesto principalmente por hierro y níquel. A pesar de la altísima temperatura, la enorme presión ejercida por las capas superiores de la Tierra hace que el centro del núcleo sea sólido, mientras que su parte exterior, menos profunda, es líquida. Las corrientes de convección de ese material líquido producen el campo magnético terrestre.



Capa más superficial y rígida de la Tierra sobre la que se manifiestan los efectos visibles de la liberación del calor interno como el desplazamiento de los continentes, los terremotos, los volcanes y la formación de montañas. Se distinguen dos tipos de corteza, la corteza oceánica, que se encuentra en el fondo de los océanos, y la continental, que forma los continentes. La corteza oceánica es más delgada y pesada que la corteza continental.



# CORTEZA TERRESTRE

La Tierra es un sistema formado por varios subsistemas en permanente movimiento que intercambian materia y energía. Los subsistemas son la Geósfera, la parte sólida compuesta por el núcleo, el manto y la corteza terrestres; la Hidrosfera, la capa líquida; la Atmósfera, la capa gaseosa; y la Biosfera, constituida por todos los seres vivos.



# SISTEMA TIERRA



Es el desgaste y modelación continua de los relieves que se forman en la superficie de la Tierra, por agentes como el agua, el hielo, el viento e, incluso, los seres vivos, que tienden a desgastar los puntos sobresalientes, como montañas y volcanes y a arrasarlos hacia el nivel del mar.

# EROSIÓN

Sábado 21 de Marzo



265

240

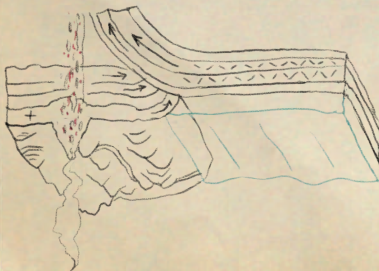
212

191

175

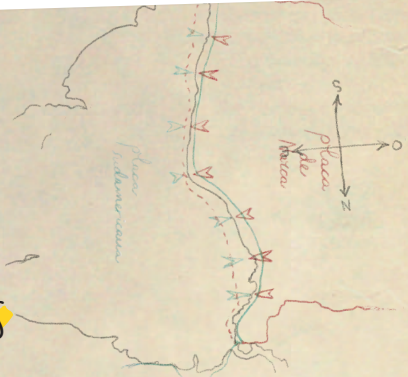
# SUBDUCCIÓN

Proceso que sucede cuando dos placas tectónicas convergen produciéndose el hundimiento de la más densa bajo la más liviana. A lo largo del plano de subducción, o sea, en el contacto entre ambas placas se producen terremotos y se genera el magma que origina el volcanismo.



## SUBDUCCIÓN TIPO CHILENA

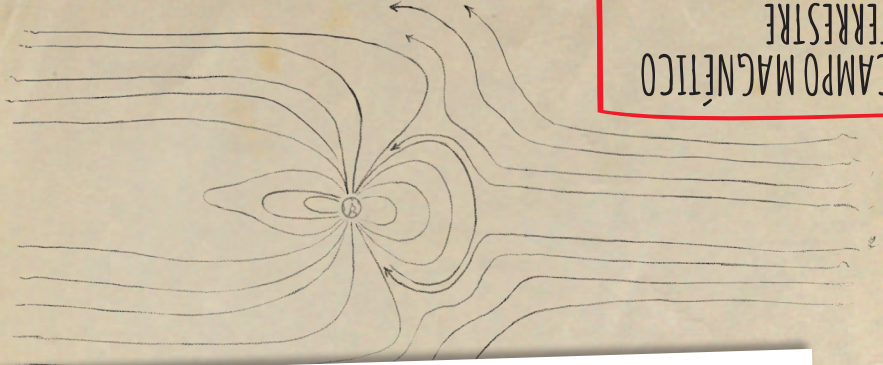
Es una forma de subducción que se manifiesta a lo largo de gran parte de las costas de Chile. La placa Oceánica de Nazca se hunde bajo el continente sudamericano en un ángulo de solo 30 grados y genera intenso roce y presión contra el continente provocando terremotos, abundante volcanismo y la formación de la cordillera de Los Andes.



# LA TIERRA NOTAS PARA OBSERVAR

## CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Una de las formas de liberación de la energía interna de la Tierra. Se produce por corrientes eléctricas dentro del núcleo externo, que es líquido y buen conductor eléctrico debido a su composición fundamentalmente metálica. Estas corrientes se generan por la rotación de la Tierra y las diferencias de calor existentes entre el núcleo interno metálico, pero sólido, y el viento solar y la radiación cósmica.





## TIEMPO GEOLÓGICO

Tiempo transcurrido desde el origen de la Tierra, hace unos 4.540 millones de años, hasta la época actual.

Hubieron 41 de Turoco



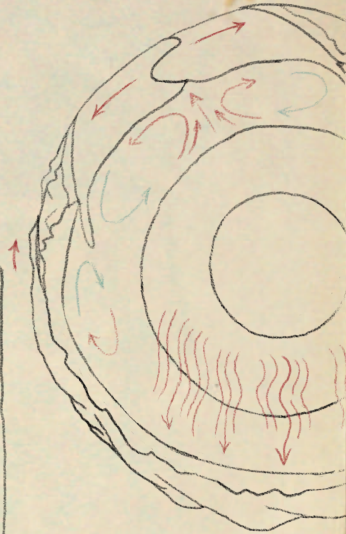
## PLACAS TECTÓNICAS

La corteza superficial y rígida de la Tierra está formada por una docena de placas que se disponen como en un puzle. Estas placas flotan sobre el manto y se pueden deslizar en distintas direcciones chocando contra sus vecinas, lo que provoca los terremotos, el volcanismo y la formación de relieve. Algunas placas, como la de Nazca, son exclusivamente oceánicas y otras, como la Sudamericana, son mixtas, combinando continentes y fondos oceánicos.



## CORRIENTES DE CONVECCIÓN

Corrientes formadas en el manto terrestre que movilizan material caliente desde las profundidades hacia la superficie, el que, al acercarse a ella, se enfría y desciende al interior del manto para volver a subir en un ciclo permanente. Estas corrientes en el manto producen el desplazamiento de las placas tectónicas.



## CALOR INTERNO DE LA TIERRA

Es la energía calórica acumulada en el interior de la Tierra desde las etapas iniciales de su formación. Este calor busca salir hacia la superficie y el espacio exterior y en su ascenso movilita material caliente del manto, lo que genera el desplazamiento de las placas tectónicas y con ello las erupciones volcánicas, los terremotos y las cadenas de montañas.

## FALLA GEOLÓGICA

Fractura en el terreno a lo largo de la cual hubo movimiento de uno de los lados respecto del otro. Se forman por esfuerzos tectónicos o gravitatorios actuantes en la corteza. La zona de ruptura tiene una superficie ampliamente bien definida denominada plano de falla, aunque puede hablarse de banda de falla cuando la fractura y la deformación asociada tienen una cierta anchura.

# ERUPCIONES

DE LOS ÚLTIMOS 102 AÑOS

**VILLARRICA** Región de La Araucanía y de Los Ríos 2.847 msnm

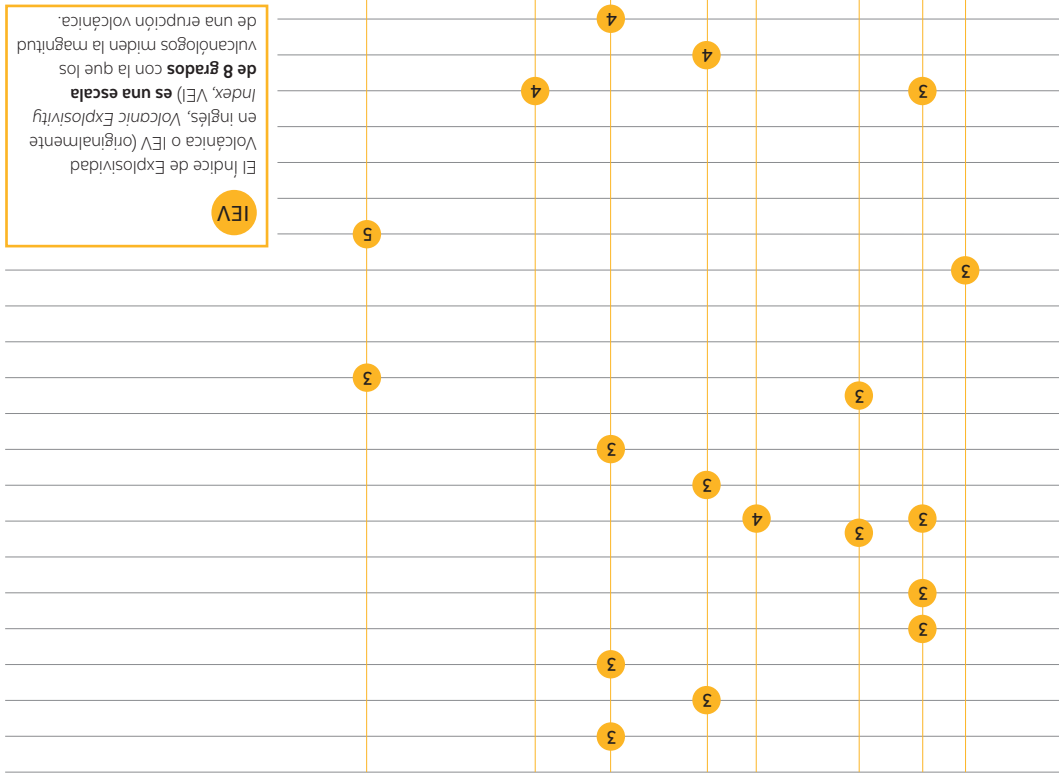
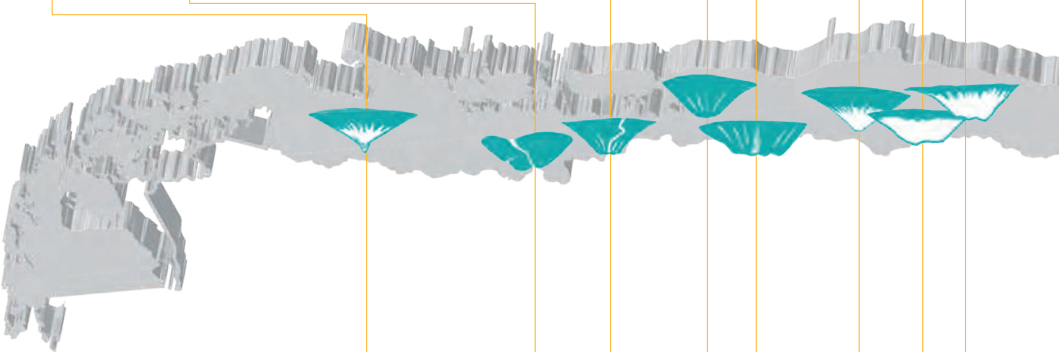
**CARRÁN** Región de Los Ríos 1.114 msnm

**CORDÓN CAULLE PUYEHUE,** Región de Los Ríos 2.236 msnm

**CALBUCO** Región de Los Lagos 2.003 msnm

**CHAITÉN** Región de Los Lagos 1.122 msnm

**HUDSON** Región de Aysén 1.905 msnm

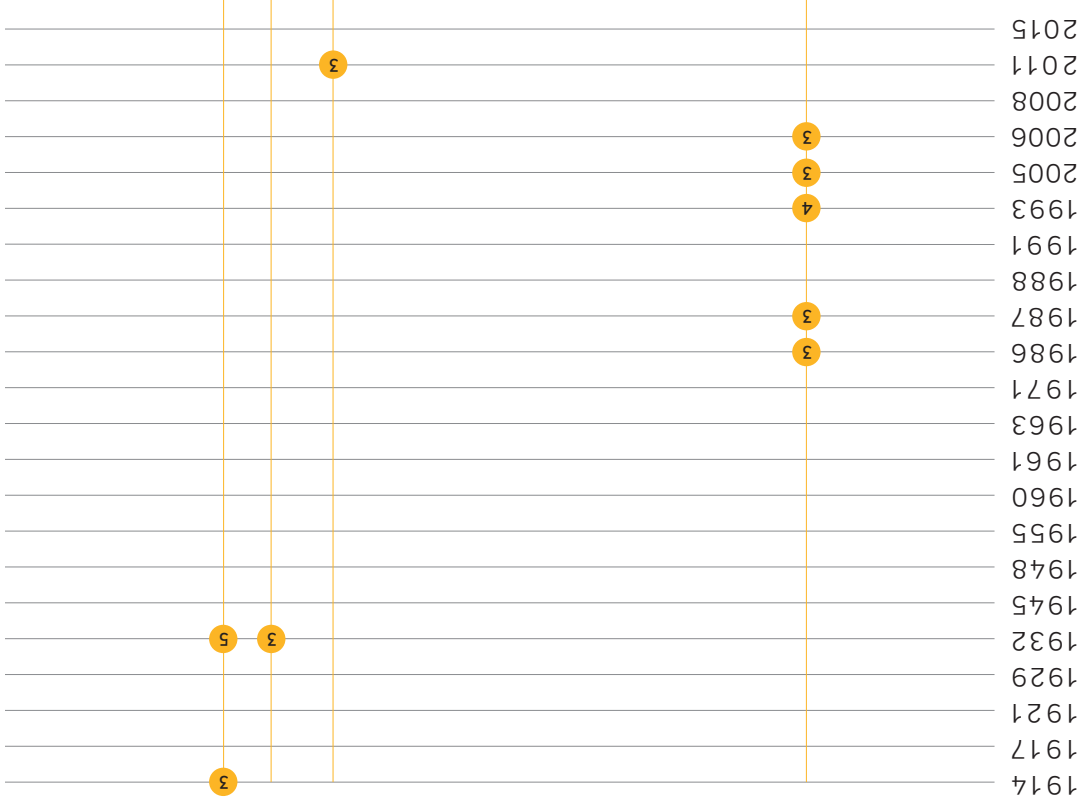
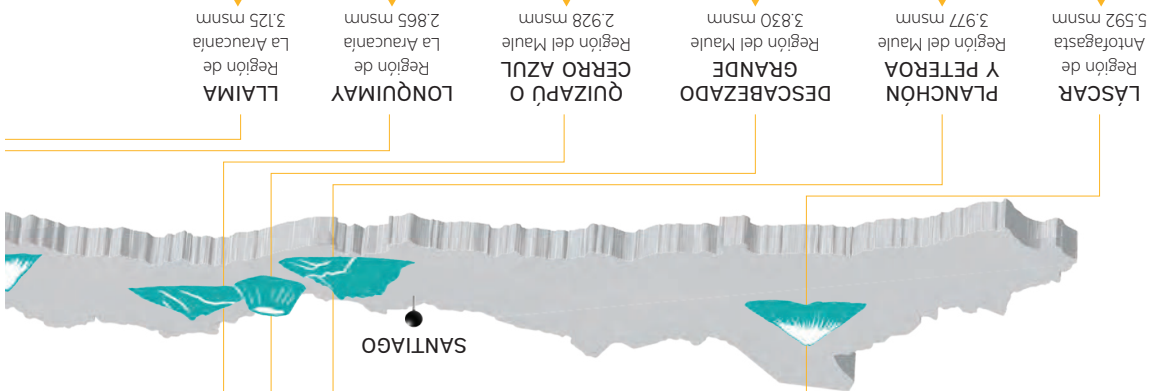


**VEI**

El índice de Explosividad Volcánica o IEV (originalmente en inglés, Volcanic Explosivity Index, VEI) es una escala de 8 grados con la que los vulcanólogos miden la magnitud de una erupción volcánica.



# V O L C A N E S



# A Ñ O S



CRÁTER DEL  
VOLCÁN LASCAR.

30

46

84

227







volcán Lascar. El miedo se convirtió en adrenalina y comenzó a caminar hacia el interior del volcán. De pronto se produjo un ruido fuertísimo, similar al de un avión al despegar. Era una de varias explosiones de las fumarolas que duraron largo rato, llenando todo el espacio de gas.

**LAS MUESTRAS DE LOS GASES DEL INTERIOR DE LOS VOLCANES SE ESTUDIAN Y ANALIZAN EN LABORATORIOS DE OTROS PAÍSES. LOS RESULTADOS PERMITEN COMPRENDER MEJOR EL COMPORTAMIENTO DE LOS VOLCANES, EL ESTADO EN EL QUE SE ENCUENTRAN, LA PROBABILIDAD DE UNA ERUPCIÓN EN EL CORTO PLAZO, Y SOBRE TODO, ENTENDER MEJOR DE LA TIERRA.**

Aguilera regresó al Lascar 4 años después. Con ropa especial y una máscara para no inhalar los gases, bajó 200 m dentro del cráter del volcán, bordeándolo lentamente para no caer al vacío. Sintió el olor del azufre, parecido al del huevo podrido, uno de los principales minerales que sale de los volcanes. El ruido de las fumarolas era tan fuerte que llegaban a doler los oídos. Se quedó extrayendo muestras a una temperatura ambiente de unos -10 °C y con fumarolas de las que brotaban gases a 380 °C.

Hoy, Felipe Aguilera, doctor en Ciencias, trabaja como académico en la Universidad Católica del Norte, casa de estudios que lo formó, y se dedica a estudiar el comportamiento de los volcanes. Hasta ahora conoce el interior de 12 cráteres, algunos de ellos, como el Lascar, han entrado en erupción. ★

**T**res años antes de terminar la enseñanza media, su familia se fue a vivir a Antofagasta.

Allí entró a estudiar geología en la Universidad Católica del Norte. Algunos geólogos estudian las rocas y minerales para entender el comportamiento de la corteza terrestre, datar la formación de una montaña o comprender el comportamiento de la Tierra. Felipe optó por ser vulcanólogo y cumplir su sueño; entrar por el cráter de un volcán y conocer el centro de la Tierra.

La primera vez que ingresó a un volcán fue el 25 de octubre de 2002, tenía 24 años. Equipado con ropa de alta montaña, junto a un grupo de científicos, realizó una expedición al volcán Lascar, cerca de San Pedro de Atacama, en la región de Antofagasta. Con -15 °C, pasaron la noche en una carpa para entrar al día siguiente al cráter principal del Lascar y extraer una muestra del gas de las fumarolas. Un error podía costarles la vida. Felipe no durmió.

El Lascar es el volcán más activo del norte, uno de 90 volcanes en ese estado en Chile. Se estima que su mayor erupción fue hace 27 mil años, cuando lanzó un chorro gigante de gas y materiales volcánicos y formó una columna de cenizas de 30 km de altura que al desplomarse llenó las quebradas de Talabre, Soncor y Challe. Nuevas explosiones de lava abrieron cinco cráteres por donde salió lava que hoy se puede ver en estado sólido.

Por la mañana, cuando llegó a la cima del cráter, tuvo una sensación parecida a la de estar parado en una de las gradaderas del Estadio Nacional mirando hacia la cancha. Así de grande es el cráter principal del

LA PRIMERA VEZ QUE  
FELIPE AGUILERA PENSÓ EN  
ENTRAR A UN VOLCÁN FUE  
EN 1989. ENTONCES TENÍA  
11 AÑOS Y VIVÍA CON SU  
FAMILIA EN PUERTO MONTT.  
EN 2016 YA SUMA 12  
VOLCANES Y SU INTERÉS POR  
CONTINUAR SIGUE INTACTO.

# DENTRO DEL VOLCÁN



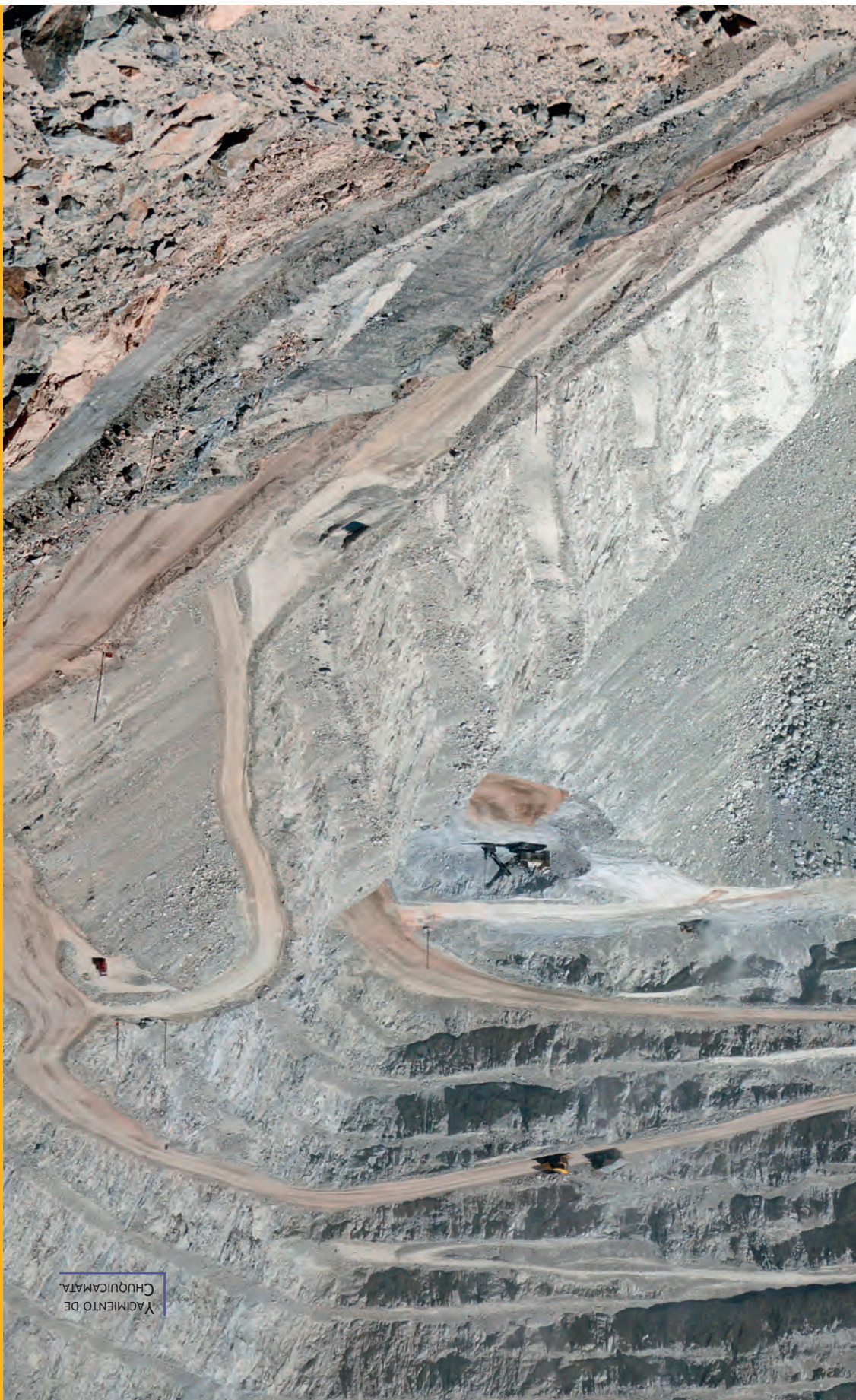


MIRADOR

Volcán Osorno, el fuego es bueno  
 y lo llevamos como tú mismo  
 el fuego de la tierra india,  
 al nacer, lo recibimos.  
 Guarda las viejas regiones,  
 salva a tu santo gentío,  
 vela india de lenadores,  
 guía chilotos que son marinos,  
 guía a pastores con tu relumbre,  
 Volcán Osorno, viejo novillo,  
 levanta el cuello de tus mujeres,  
 empuña gloria de tus niños!

**Extracto de**  
**VOLCÁN OSORNO**  
**Gabriela Mistral**





YACIMIENTO DE CHUQUICAMATA.







## 2 LA RIQUEZA DE CHILE

La evolución geológica de Chile creó la riqueza mineral que se distribuye a lo largo de todo el territorio.

La formación de la gran cadena montañosa de la cordillera de Los

Andes y la actividad magmática y sísmica desarrollada en las diferentes

épocas geológicas han dado origen a grandes yacimientos mineros como

los de hierro, oro y cobre.

En las zonas desérticas del norte

se produjeron las condiciones

apropiadas para la existencia de

grandes depósitos de sal, litio y

bórax, mientras que en el sur, los

sedimentos y materiales volcánicos

acumulados en las cuencas facilitaron

la formación de fuentes de energía,

como los mantos de carbón de

Arauco y los yacimientos de petróleo

de Magallanes.

Esta riqueza ha determinado social, económica y culturalmente a Chile y sus regiones a lo largo de la historia. Desde los pueblos originarios que en la época precolombina descubrieron

y explotaron distintos minerales con los cuales fabricaban utensilios y adornos, hasta la extracción intensiva de recursos minerales y energéticos que se produjo siglos más tarde gracias, entre otras cosas, al desarrollo de los estudios sobre la configuración geológica de Chile, su entorno y sus características.

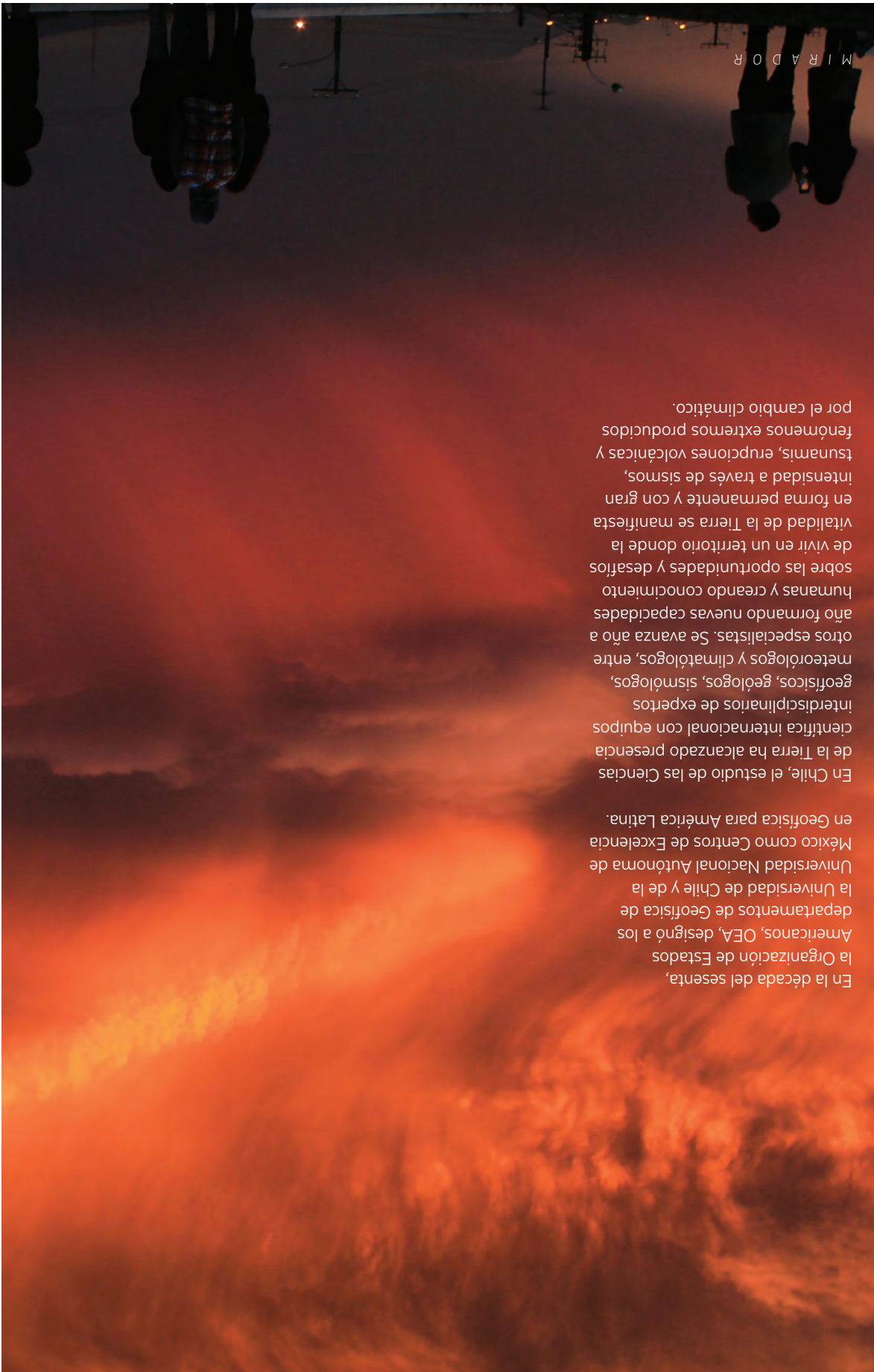
La minería ha sido una actividad central en la economía y la sociedad chilena. Por ejemplo, en el norte, la explotación del salitre, hasta su reemplazo por la versión sintética, se erigió por décadas como la principal fuente de ingresos del país y produjo el surgimiento de importantes poblados que vivieron de esta industria por muchos años.

En el sur, la extracción del carbón alimentó durante más de un siglo un importante polo de desarrollo industrial, que terminó por sucumbir ante el surgimiento de otras fuentes de energía. En el centro y el norte de Chile la explotación del cobre es hasta hoy un recurso clave en la economía nacional y refleja la íntima conexión entre nuestra tierra y el desarrollo productivo chileno. ★



ERUPCIÓN DEL VOLCÁN  
CALBUCO, REGIÓN DE  
LOS LAGOS, 2015.





M I R A D O R

En la década del sesenta, la Organización de Estados Americanos, OEA, designó a los departamentos de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México como Centros de Excelencia en Geofísica para América Latina. En Chile, el estudio de las Ciencias de la Tierra ha alcanzado presencia científica internacional con equipos interdisciplinarios de expertos geofísicos, geólogos, sísmólogos, meteorólogos y climatólogos, entre otros especialistas. Se avanza año a año formando nuevas capacidades humanas y creando conocimiento sobre las oportunidades y desafíos de vivir en un territorio donde la vitalidad de la Tierra se manifiesta en forma permanente y con gran intensidad a través de sismos, tsunamis, erupciones volcánicas y fenómenos extremos producidos por el cambio climático.



**TSUNAMI:**  
MASA DE AGUA  
DE GRANDES  
DIMENSIONES  
PROVOCADA  
POR UN SISMO  
O ERUPCION  
VOLCANICA  
SUBMARINA.

COQUIMBO LUEGO  
DEL TSUNAMI EN  
SEPTIEMBRE, 2015.



## COMENZANDO A OBSERVAR

Esta vitalidad de la Tierra se manifiesta en el territorio a veces con generosidad, como

en el caso de la presencia de abundantes yacimientos minerales y de fuentes de energía, y en otras ocasiones de forma perjudicial como ocurre con las catastróficas pérdidas provocadas por los terremotos y las erupciones volcánicas.

La observación de estas dinámicas y fenómenos está presente en las tradiciones orales más antiguas de los pueblos originarios y ocupa un lugar destacado en los escritos de los cronistas de la época colonial y en los registros de los naturalistas de inicios del siglo XIX, como Charles Darwin, Ignacio Domeyko y Amado Pissis.

La investigación en geofísica, con instrumentos meteorológicos y sismológicos, se inició en el país junto con los primeros estudios astronómicos, en 1849, con la expedición del estadounidense James Melville Gilliss.

En 1851, con el sismoscopio instalado en el cerro Santa Lucía se realizó el primer registro científico de un temblor en Chile. Medio siglo más tarde, en 1908, después de la destrucción de

M I R A D O R



JAMES GILLISS.

Valparaíso por el terremoto de 1906, Pedro Montt y por iniciativa del rector de la Universidad de Chile, Valentín Letelier, se fundó el Servicio Sismológico Nacional, uno de los primeros del mundo. Pero luego de ese adelantado inicio a nivel internacional, vendría una dilatada languidez. La reactivación solo se produciría a inicios de la segunda mitad del siglo XX, con ocasión del Año Geofísico Internacional realizado en Chile entre 1957 y 1958.

LA CREACIÓN DEL SERVICIO SISMOLÓGICO, ACTUALMENTE CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL, RAPICADO EN LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, Y LA FUNDACIÓN DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS, QUE LUEGO SE TRANSFORMARÍA EN EL ACTUAL SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN) SON UNA MANIFESTACIÓN DEL INTERÉS DEL ESTADO EN ESTA MATERIA.





2

LA RIQUEZA DE CHILE

1

COMENZANDO A OBSERVAR

# LA INTENSIDAD DE CHILE

CHILE ESTÁ UBICADO EN EL BORDE OCCIDENTAL DE SUDAMÉRICA, DONDE EL CHOQUE DE DOS GRANDES PLACAS TECTÓNICAS CREA UNO DE LOS MÁRGENES MÁS ACTIVOS E INTENSOS DEL PLANETA. LA SUBDUCCIÓN DE LA PLACA DE NAZCA BAJO LA PLACA SUDAMERICANA RENUEVA CONSTANTEMENTE LA CAPA MÁS RÍGIDA Y SUPERFICIAL DE LA TIERRA A TRAVÉS DE UN CICLO DE GENERACIÓN Y RETORNO DE MATERIAL DESDE EL MANTO TERRESTRE, Y MOVILIZA FUERZAS TELÚRICAS TAN ENORMES COMO PARA LEVANTAR LA CORDILLERA DE LOS ANDES, CREAR VOLCANES Y PRODUCIR TERREMOTOS A LO LARGO DE TODO EL PAÍS.







**Extracto de  
CANCION DE LAS TIERRAS CHILENAS  
Pablo de Rokha**

Claros los astros de diamante,  
dolorosa la tierra arada.  
Y el mar como un árbol sonante,  
o lo mismo que un gran cantante  
parado encima de la nada.  
Un cinturón de cordilleras  
le ciñe los huesos profundos;  
cabellera de sementeras,  
y el cielo como una bandera  
lavada en la proa del mundo.



LOS TIPOS DE  
"FRONTERAS"  
(O UNIONES)  
DE LAS PLACAS  
TECTÓNICAS.







Pero ¿si las placas oceánicas crecen empujando a los continentes, donde va a parar la placa Oceánica? Hess y su equipo constataron que la placa Oceánica más antigua tiene solo 200 millones de años. De ahí surgió la explicación de que las placas oceánicas, al ser más densas, se sumergen de forma lenta bajo las placas continentales en un proceso que se conoce como subducción.

LA CORTEZA DE LA TIERRA, OCEANOS Y CONTINENTES ESTÁ COMPUESTA POR PLACAS TECTÓNICAS QUE SE DESLIZAN SOBRE LA ASTENÓSFERA, UNA ZONA VISCOSA UBICADA EN LA PARTE SUPERIOR DEL MANTO TERRESTRE, EMPUJADAS POR LA EXPANSIÓN DE LOS FONDOS MARINOS. AL DESPLAZARSE, LAS PLACAS CHOCAN UNAS CON OTRAS PRODUCIENDO MOVIMIENTOS TECTÓNICOS —SISMOS, FORMACIÓN DE MONTAÑAS Y ACTIVIDAD VOLCÁNICA— DE DISTINTAS INTENSIDADES DEPENDIENDO DEL TIPO DE INTERACCIÓN ENTRE LAS PLACAS.

Se distinguen las fronteras o límites de placas divergentes, donde se forma una corteza y donde las placas se separan; las convergentes, cuando una placa choca con otra produciendo relieve y montañas o procesos de subducción; y transformantes, cuando dos placas se deslizan en paralelo una con otra. ★



LAS IDEAS SE SOLIDIFICAN



# 2

## HOLMES Y HESS TOMAN LA POSTA

Casi junto con la publicación de la última edición de *El origen de los continentes y los océanos*, otro científico, el respetado geólogo inglés Arthur Holmes, intentó respaldar la teoría de Wegener, al proponer que el calor que sube desde el núcleo de la Tierra hacia la superficie podría generar una presión suficiente como para quebrar las grandes placas terrestres y crear corrientes de convección interna que movilizarían los continentes sobre el manto, como si se tratara de una cinta transportadora que los trasladara en distintas direcciones, acercándolos o separándolos.

Este movimiento sería similar al que sucede cuando se pone a hervir leche en una olla, donde el calor hace subir el líquido que al llegar a la superficie se enfría y baja generando un movimiento continuo.

**1912**

### TEORÍA

POSTULA QUE 300 MILLONES DE AÑOS ANTES HABÍA UNA GRAN Y ÚNICA MASA DE TIERRA LLAMADA PANGEA.

**ALFRED WEGENER**

**1929**

**INTENTO DE RESPALDO**  
DE LA TEORÍA WEGENER

**ARTHUR HOLMES**

Advirtió que se trataba de ideas especulativas y que era necesario recabar más evidencia para consolidar el valor científico de esa teoría. Pero la comunidad geológica, quizás agotada de rechazar las propuestas de Wegener, manifestó muy poco interés en las ideas de Holmes... hasta 1960.

**1962**

### CONSOLIDACION

**HARRY HESS**

Hess, geólogo y oficial de la Armada de Estados Unidos, complementó las investigaciones e ideas de Wegener y Holmes, consolidando la teoría de la tectónica de placas, una teoría de gran impacto en las ciencias de la Tierra que permite explicar cómo se producen los terremotos, los volcanes, las cadenas montañosas y por qué hay fósiles vegetales y animales en continentes separados por océanos.



JUNTO A SU EQUIPO, EN  
LA ÚLTIMA EXPEDICIÓN,  
A GROENLANDIA,  
NOVIEMBRE 1930.



LOS TRINEOS  
DE WEGENER.





no tuviera credenciales suficientes como geólogo, serían las razones que contribuyeron a que su teoría haya sido rechazada y el mismo recibiera burlas e ironías por parte de la comunidad científica oficial. Además, no tuvo una explicación plausible acerca de cómo se habrían movido los continentes.

Wegener intentó aclarar de distintas maneras cómo se producía la deriva de los continentes: a partir de la rotación de la Tierra que generaría una fuerza centrífuga, o por las fuerzas gravitacionales del Sol y de la Luna, o por los cambios en la orientación del eje terrestre. Pero todas fueron solidamente rebatidas y la geología oficial siguió afirmando que los continentes son estáticos y que hubo grandes corredores de tierra que los unieron.

En 1930, a los 50 años, en su cuarta expedición al Polo Norte, Wegener muere de una falla cardíaca. Había abandonado la base para disminuir las bocas que alimentar ante la escasez de comida que no permitiría la supervivencia de todos los integrantes de la expedición. Inició su última travesía en medio de una tormenta, con una temperatura de  $-60^{\circ}\text{C}$  que su corazón no pudo soportar.

**EN 1915 PUBLICÓ SU LIBRO  
EL ORIGEN DE LOS CONTINENTES Y  
LOS OCEANOS. DURANTE MÁS DE  
UNA DÉCADA SIGUIÓ TRABAJANDO EN  
LA BÚSQUEDA DE DATOS Y PRUEBAS  
QUE CONFIRMARAN SU TEORÍA,  
ENRIQUECIÉNDOLA CON NUEVAS  
EVIDENCIAS, HASTA LA CUARTA Y  
ÚLTIMA EDICIÓN EN 1929.**

En su búsqueda de comprobaciones, Wegener miró desde la geología y encontró similitudes entre las capas de rocas y en la orientación de las marcas dejadas por los glaciares de África y Sudamérica. Con sus conocimientos de meteorología y clima observó que algunos de los fósiles que se encontraban en la zona ártica correspondían a plantas tropicales que no podrían haber crecido en el clima polar. Aunque luego se demostró que sus cálculos estaban equivocados debido a un error en los datos de partida de las longitudes de sus puntos de referencia, también observó que Groenlandia y Europa se estaban separando, al igual que París y Washington, mientras que San Francisco y Shanghai parecían estar acercándose.

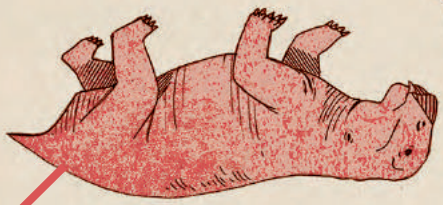
Se dice que su enfoque transgresor que no respetaba las especializaciones y que –aunque fuera un reconocido meteorólogo–

RESTOS FÓSILES  
DEL REPTIL DE AGUA  
DULCE MESOSAURUS.



FÓSILES DEL HELECHO  
GLOSSOPTERIS, QUE SE  
ENCUENTRA EN TODOS LOS  
CONTINENTES DEL SUR,  
DEMOSTRAN QUE UNA  
VEZ ESTUVIERON UNIDOS.

EVIDENCIA FÓSIL DEL  
REPTIL DE TIERRA DEL  
PERÍODO TRIÁSICO,  
LYTROSURUS.







RESTOS FÓSILES DEL  
CYNONATHUS, UN  
REPTIL DE TIERRA DE  
APROXIMADAMENTE  
3 M DE LARGO.

La teoría dominante de la época explicaba estas coincidencias apelando a que en alguna antigua época hubo grandes corredores de tierra que unían a los continentes y que ahora estaban sumergidos bajo los océanos. Wegener observó algo que otros científicos ya habían señalado antes, que los bordes de los continentes en un mapamundi parecen calzarse como las piezas de un rompecabezas. En 1912 postuló que 300 millones de años antes había una gran sola masa de tierra que el propio Wegener llamó Pangea, y luego se desmenuzó formando los continentes que flotan sobre el lecho marino hasta su ubicación actual.

MIENTRAS CURIOSEABA EN UNA BIBLIOTECA, WEGENER ENCONTRÓ LOS RESULTADOS DE UNA INVESTIGACIÓN QUE DABA CUENTA DE UNA GRAN CANTIDAD DE FÓSILES ANIMALES Y VEGETALES QUE ERAN SIMILARES EN AMBOS LADOS DEL OCEANO ATLÁNTICO.

FOTOGRAFIA DE  
WEGENER EN SU  
ULTIMA EXPEDICIÓN  
A GROENLANDIA,  
NOVIEMBRE 1930.



256

248

CONSTRUCCIÓN COLECTIVA







a su claridad para explicar los temas más complejos y difíciles, pero también por ser un explorador de los últimos confines del mundo. En 1906, experimentando en meteorología, emergente disciplina a la que se dedicó después de doctorarse en astronomía, batió el récord mundial de permanencia en un globo aerostático con 52 horas seguidas. Sus cuatro expediciones al círculo polar ártico son legendarias, tanto por sus descubrimientos científicos como por las condiciones extremas que las envolvieron.

TÁMBIÉN DESAFIÓ LOS LÍMITES QUE IMPONIA LA CRECIENTE ESPECIALIZACIÓN DE LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS, UTILIZANDO SIEMPRE UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO E INTEGRADOR PARA RESOLVER LOS DESAFÍOS EN EL ÁMBITO DEL CONOCIMIENTO, EN ESPECIAL CUANDO PROPUSO LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL.

## ALFRED WEGENER, REBELDE

Cada científico es parte de una época particular que tiene creencias religiosas, morales y científicas, y también un desarrollo tecnológico que determina la posibilidad de comprobar nuevas ideas. El entorno de la comunidad científica contribuye con datos, investigaciones e ideas que sirven para nuevas reflexiones y exploraciones, pero a la vez constituye una rígida estructura de poder que acota los temas posibles y obliga a quienes proponen nuevas teorías a realizar enormes esfuerzos para demostrar la validez de sus intuiciones.

MIENTRAS MÁS REVOLUCIONARIO Y AMENAZANTE SEA EL CONOCIMIENTO PARA EL ORDEN ESTABLECIDO, MAYOR ES EL RECHAZO Y A MENUDO DESCALIFICACIÓN QUE ENFRENTAN LOS INNOVADORES. QUIZÁS UNO DE LOS MAYORES EJEMPLOS DE ESA DINÁMICA SEA EL CASO DEL ALEMÁN ALFRED WEGENER, DOCTOR EN ASTRONOMÍA.

Wegener nunca se sintió cómodo con las fronteras establecidas, ni las geográficas ni las del conocimiento. Era un profesor universitario apreciado y admirado por sus alumnos debido



P. 249 P. 243

2 1

ALFRED WEGENER, REBELDE  
EXPLORADOR Y  
TOMAN LA POSTA  
HOLMES Y HESS

# CONSTRUCCIÓN COLECTIVA

CONSTRUCCIÓN COLECTIVA



250







MIRADOR

Quando todos se vayyan a otros planetas  
yo quedaré en la ciudad abandonada,  
bebiendo un último vaso de cerveza,  
y luego volveré al pueblo donde siempre  
regreso como el borracho a la taberna  
y el niño a cabalgar en el balancín roto.

Y en el pueblo no tendré nada que hacer,  
sino echarme luciernagas a los bolsillos  
o caminar a orillas de ríes oxidados  
o sentarme en el roído mostrador de un  
almacén para hablar con antiguos  
compañeros de escuela.

**Extracto de**  
**CUANDO TODOS SE VAYYAN**

Jorge Teillier



¿COMO CREES  
QUE SERA EL  
PLANETA EN  
100 MILLONES  
DE ANOS?



TIERRA VIVA

252





## 47 AÑOS MEGACONTINENTE

Cuando la Tierra tenga poco más de **47 AÑOS**, África, Europa, Asia y Australia habrán vuelto a unirse en un solo gran megacontinente, mientras que América, desde Alaska a Tierra del Fuego, será una extensa franja con grandes entradas de mar. Solo la Antártica mantendrá más o menos su forma actual.

**EL DESAFÍO DE LOS PRÓXIMOS SEGUNDOS**  
Muchos científicos aseguran que la acción de los seres humanos está acelerando miles de veces el ritmo natural del ciclo de vida y extinción de especies, lo que podría traer consecuencias insospechadas. ★



IMAGEN CONCEPTUAL QUE MUESTRA CUATRO ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN HUMANA (DE IZQ. A DER.): AUSTRALOPTHECUS, HOMO HABILIS, HOMO ERECTUS Y EL HOMO SAPIENS.

200 - 100 MA  
PRIMEROS MAMÍFEROS



45-46 años

42-45 años

40-42 años

25-40 años

20-25 años

3-20 años

0-3 años

90

222







EL ASTEROIDE QUE CAYÓ EN LO  
GOLFO DE MÉXICO, FUE UNA DE  
LAS PRINCIPALES CAUSAS DE LA  
EXTINCIÓN DE LOS DINOSAURIOS.

# 45 a 46 AÑOS ÉL AGITADO ÚLTIMO AÑO

A mediados del último año de la Tierra en la escala de tiempo humano, otra gran tragedia cayó desde el cielo. Un enorme asteroide aterrizó sobre lo que hoy es el golfo de México, generando una explosión y levantando una densa nube de polvo que hizo el aire irrespirable. Esto produjo la extinción masiva de los dinosaurios, de los grandes reptiles y de muchas otras especies.

Los pequeños mamíferos acostumbrados a vivir de noche y bajo tierra, tenían las características adecuadas para sobrevivir y multiplicarse por todo el planeta. Los continentes seguían moviéndose hasta alcanzar su posición actual. En el último día de la Tierra, si hoy tuviera 46 años, aparecieron los primeros homo sapiens.



HACE SOLO UN  
MINUTO SE DECLARÓ  
LA INDEPENDENCIA  
DE CHILE.

M I R A D O R



500 - 300 MA  
PLANTAS Y  
PRIMEROS REPTILES



219

217

225

249

256



## 42 a 45 AÑOS !LA EXPLOSIÓN DE LA VIDA!

A los **42 AÑOS** se produjo una gran explosión de formas de vida, que en los años siguientes se expandieron fuera del agua. Aparecieron los primeros peces vertebrados, las plantas cubrieron todos los continentes, surgieron los anfibios y a los **43 AÑOS** comenzó el apogeo de los reptiles.

En plena ebullición vital se produjo la mayor extinción de formas de vida en toda la historia de la Tierra: desapareció casi el 96% de todas las especies vivas. ¿La razón?, una posible caída en los niveles de oxígeno, o las erupciones volcánicas masivas, o el impacto de un asteroide, o una combinación de todas ellas.

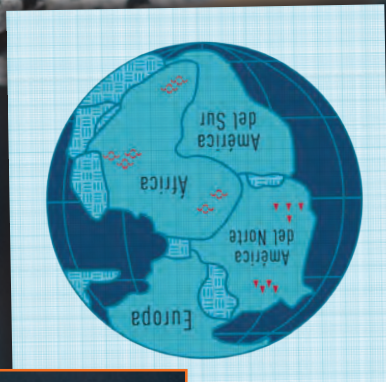
Sobre las cenizas de ese cataclismo apareció *Nyasaurus*, el primero de los dinosaurios, los animales que reinaron sobre la Tierra hasta los **45 AÑOS**.

El calor interno de la Tierra terminó por fracturar y separar el megacontinente Pangea en dos grandes bloques, al norte Laurasia, al sur Gondwana y, posteriormente, en los actuales continentes. Durante la ruptura, masivas erupciones volcánicas oscurecieron el cielo, impidiendo el paso de la luz y generando un brusco cambio climático que terminó por extinguir a casi la mitad de las especies.

Era el momento oportuno para la aparición de los primeros mamíferos.

M I R A D O R

ILUSTRACIÓN DE LA  
SEPARACIÓN DE PANGEA:  
LAURASIA Y GONDWANA.



A los **43 AÑOS**, EN LA DANZA DE LOS CONTINENTES, OTRA VEZ SE UNIERON TODAS LAS TIERRAS EMERGENTES EN UN NUEVO MEGACONTINENTE LLAMADO PANGEA, EL QUE ESTABA RODEADO POR UNA GRAN MASA OCEÁNICA LLAMADA PANTHALASSA. LA VIDA BROTABA EN EL AGUA Y EN LA TIERRA.

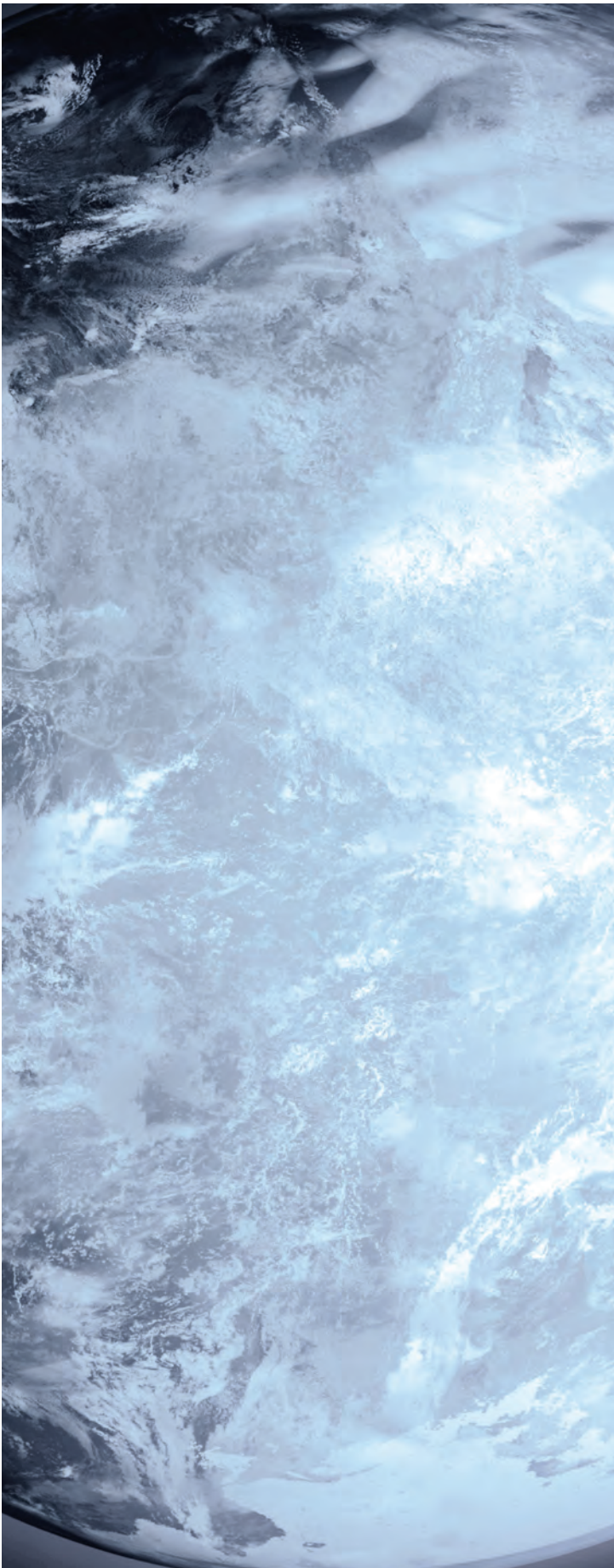
LUSTRACION DE  
PANNOTIA, EL  
MEGACONTINENTE.



700 - 500 MA  
CRUSTACEOS







# 40 a 42 AÑOS LA BOLA DE NIEVE

Casi al cumplir los **40 años**,

la Tierra se vistió de blanco. La temperatura promedio era de  $-50^{\circ}\text{C}$  y toda la superficie estaba cubierta de hielo.

**DESDE EL ESPACIO SE VEA COMO UNA ENORME BOLA DE NIEVE GIRANDO ALREDEDOR DE UN SOL QUE ERA UN 6% MÁS DÉBIL QUE AHORA.**

Una muy buena noticia para la vida es que por esos mismos años, en la atmósfera superior se estaba formando una capa de ozono capaz de absorber la radiación ultravioleta y crear las condiciones para que los seres vivos se desarrollaran fuera de los océanos. La concentración de oxígeno en la atmósfera era un 10% de la actual.

Los continentes vuelven a juntarse en una gran masa de tierra llamada Pannotia, la que se mantuvo unida por menos de 7 meses.

M I R A D O R







ILUSTRACIÓN DE RODINIA, EL MEGACONTINENTE.



2.200 - 700 MA  
ORGANISMOS UNICELULARES  
Y MULTICELULARES







PROBABLEMENTE  
LA SUPERFICIE  
DE RODINIA FUE  
COMO MARTE EN  
LA ACTUALIDAD.

## 25 a 40 AÑOS LA DANZA DE LOS CONTINENTES

A partir de los **25 AÑOS**, la superficie de la Tierra cambió de apariencia muchas veces. Se formaron grandes masas de tierra que reunían a todos los continentes, luego debido al calor que se acumulaba bajo esas enormes extensiones, las placas, movidas por las corrientes de convección que surgen desde el centro de la Tierra, se separaron y deslizaron hasta volver a reunirse, en una danza que continúa hasta hoy.

Hacia los **26 AÑOS**, se habría formado Columbia, que reunió varias masas de tierra que permanecieron juntas hasta cumplir los 28 años. La luminosidad del Sol era un 85% de la actual.

A los **35 AÑOS** VOLVIERON A JUNTARSE LAS TIERRAS EN OTRO MEGACONTINENTE LLAMADO RODINIA. ES PROBABLE QUE SU APARENCIA FUERA MUY PARECIDA A LA QUE SE OBSERVA HOY EN LA SUPERFICIE DE MARTE, UN TERRITORIO CUBIERTO DE POLVO Y ARENA ROJIZA, SOMETIDO A LA INTENSA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA QUE LLEGABA DESDE EL SOL.

La vida seguía siendo unicelular y concentrada en los océanos. Las algas continuaban su lenta pero constante producción de oxígeno. A los **38 AÑOS**, producto de la presión acumulada bajo la enorme superficie continental, Rodinia se separó en varios fragmentos que no volverían a reunirse sino hasta mucho más tarde.

Cada día duraba 20 horas y el año tenía 422 días.

M I R A D O R





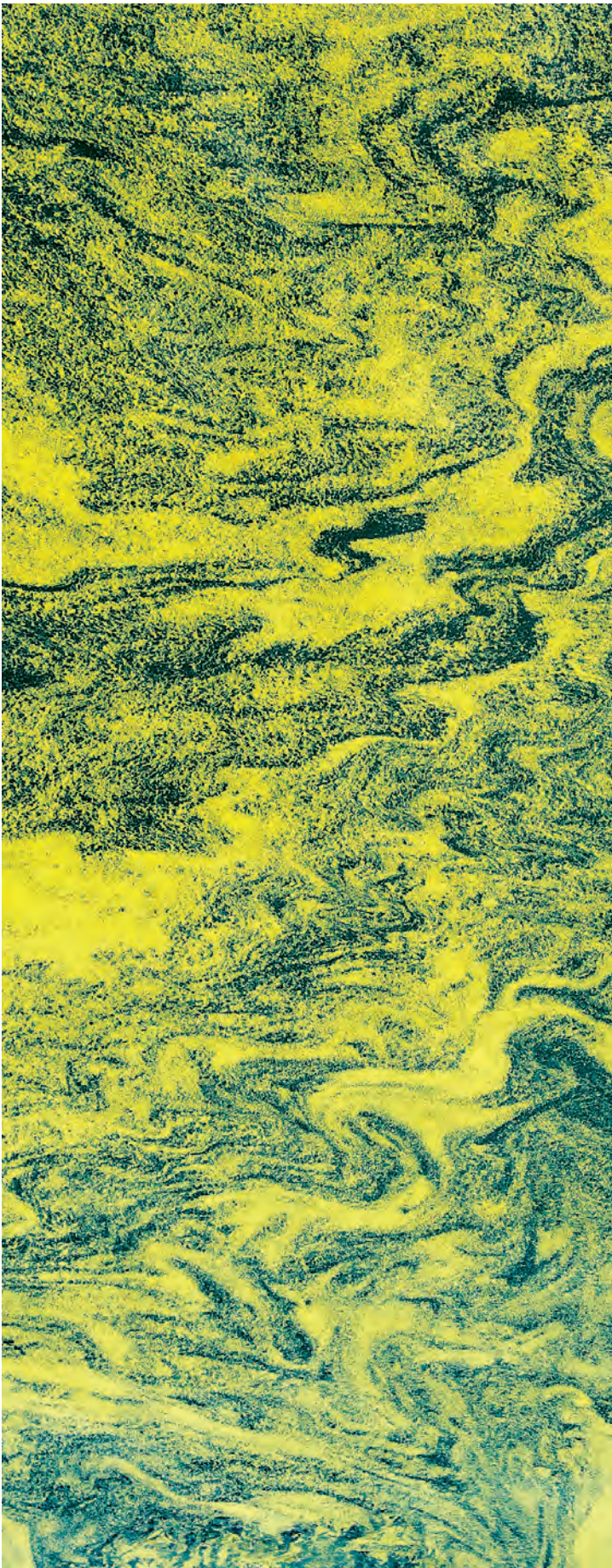
2.700 - 2.200 MA  
CYANOBACTERIAS

20-25  
años

3-20  
años

0-3  
años





# 20 a 25 AÑOS LAS ALGAS CREÁN EL OXÍGENO QUE RESPIRAMOS

AL CUMPLIR CERCA DE 20 AÑOS  
YA HABÍA VIDA EN LOS OCEANOS.  
LAS CIANOBACTERIAS O ALGAS  
AZUL-VERDES, DURANTE  
CIENTOS DE MILLONES DE AÑOS,  
DESARROLLARON PROCESOS DE  
FOTOSÍNTESIS QUE LIBERAN EL  
OXÍGENO QUE AL ACUMULARSE EN  
LA ATMÓSFERA, HACE POSIBLE LA  
VIDA QUE CONOCEMOS.

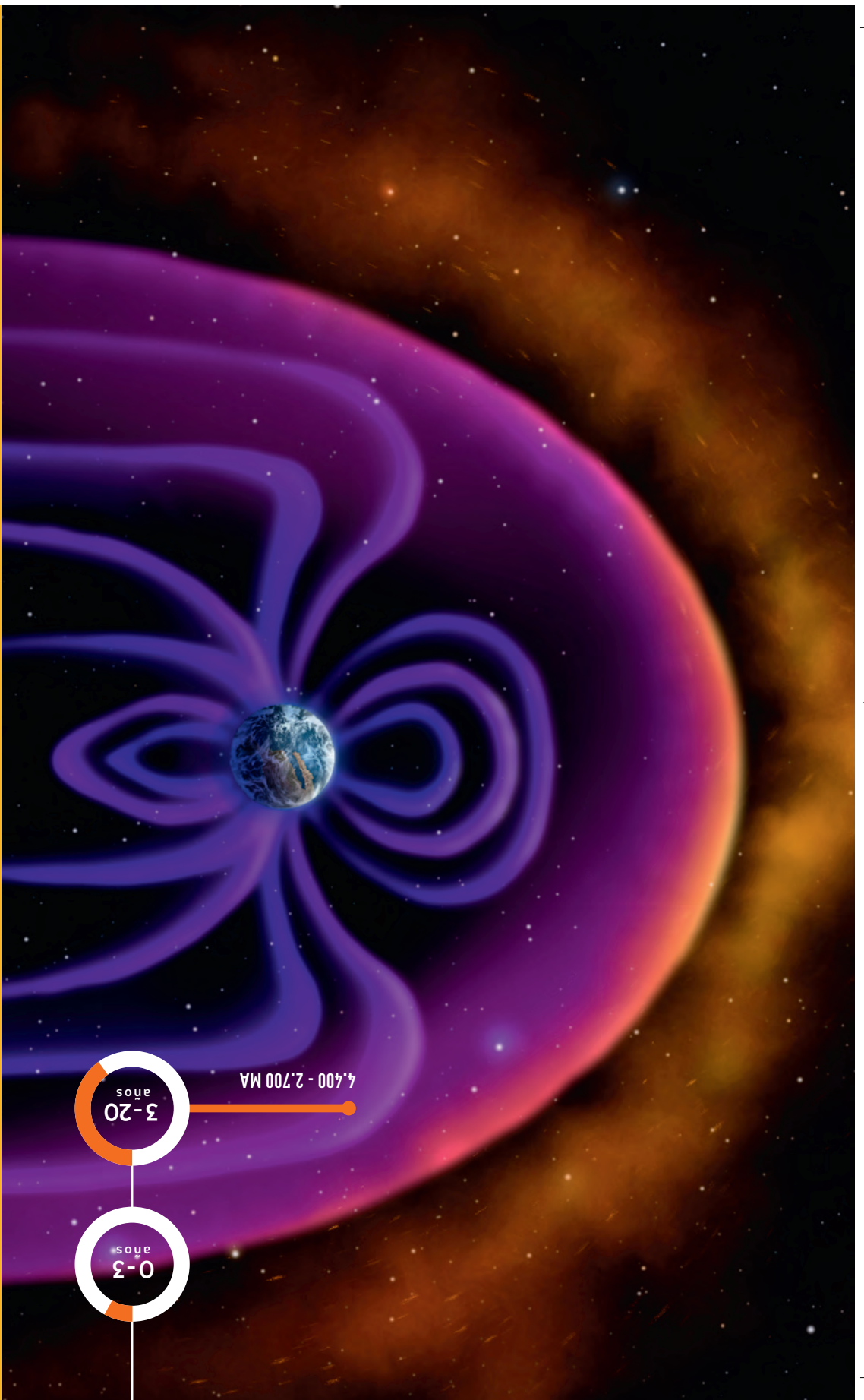
Se cree que la vida se inició mucho antes, en la adolescencia de la Tierra (cuando tenía poco más de 12) e incluso en los primeros años. Las diferencias de opinión se producen por la dificultad de distinguir entre estructuras inorgánicas complejas y estructuras biológicas simples. Pero sí hay consenso entre los científicos en que a los 20 años había vida en el planeta y el día duraba poco más de 17 horas. Un año duraba 500 días.

CIANOBACTERIAS DEL  
LAGO TAihu, PROVINCIA  
DE JIANGSU, CHINA.

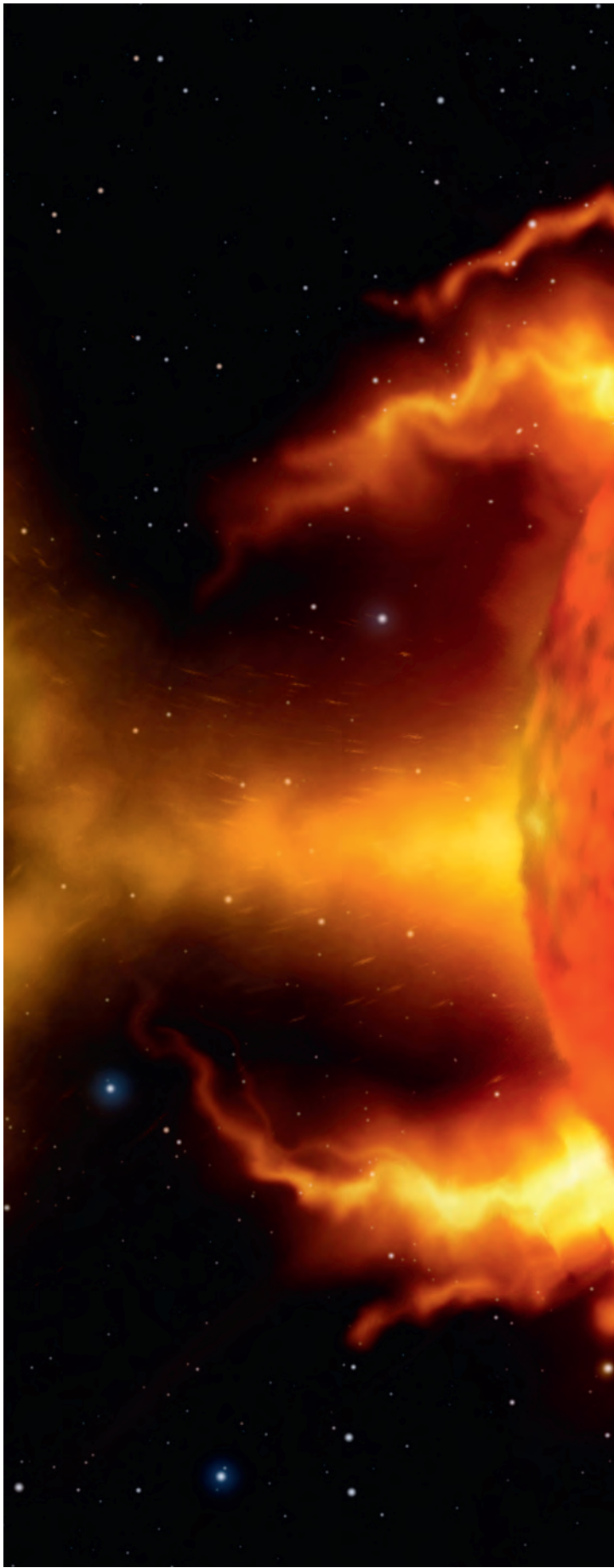
MIRADOR











## 3 a 20 AÑOS LA SOLEDAD DEL COMIENZO

Los años siguientes, entre los

**3 y 6 AÑOS**, todo habrá sido

bastante monótono. Sobre esa masa

incandescente, se habrá formado una

especie de costra que más adelante se

transformará en las placas tectónicas

que soportan océanos y continentes.

La joven Tierra giraba muy rápido: el

día duraba solo 7 horas.

**PERO AL CUMPLIR 7 AÑOS** SUCEDIÓ

ALGO FUNDAMENTAL PARA QUE MÁS

TARDE SE DESARROLLARA LA VIDA: LA

FORMACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO

QUE ACTÚA COMO UN ENORME ESCUDO

PROTECTOR DE LA ATMÓSFERA Y EL

AGUA CONTRA LA RADIACIÓN CÓSMICA

Y EL VIENTO SOLAR.

Durante todo ese tiempo y hasta los

**20 AÑOS** se comenzó a condensar

el agua de la atmósfera hasta crear

un gigantesco océano en el que

sobresalian algunas islas. En ese

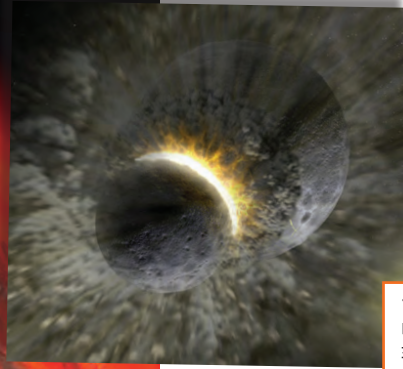
entonces casi no había oxígeno en

la atmósfera.









MIRADOR

ILUSTRACIÓN DE  
LA PRIMERA FASE  
DE FORMACIÓN  
DE LA LUNA.

Numerosos científicos postulan que durante esos primeros años, en plena gestación de la Tierra, ésta fue impactada por Teia, un planeta del tamaño de Marte pero con una masa de apenas un 10% de la Tierra. Creen que a partir de uno de los fragmentos que fue expulsado producto de ese choque se habría formado la Luna.

LA MAYORÍA DE LOS TÈORICOS CREE QUE EL CALOR ERA MUY INTENSO Y QUE TODO EL PLANETA ERA UNA SOLA MASA DE GASES Y LÍQUIDOS. LA ELEVADA TEMPERATURA SE MANTENÍA DEBIDO AL CONSTANTE BOMBARDEO DE METEORITOS, LA COMPRESIÓN PROVOCADA POR LA GRAVEDAD Y LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA DE DISTINTOS ELEMENTOS.

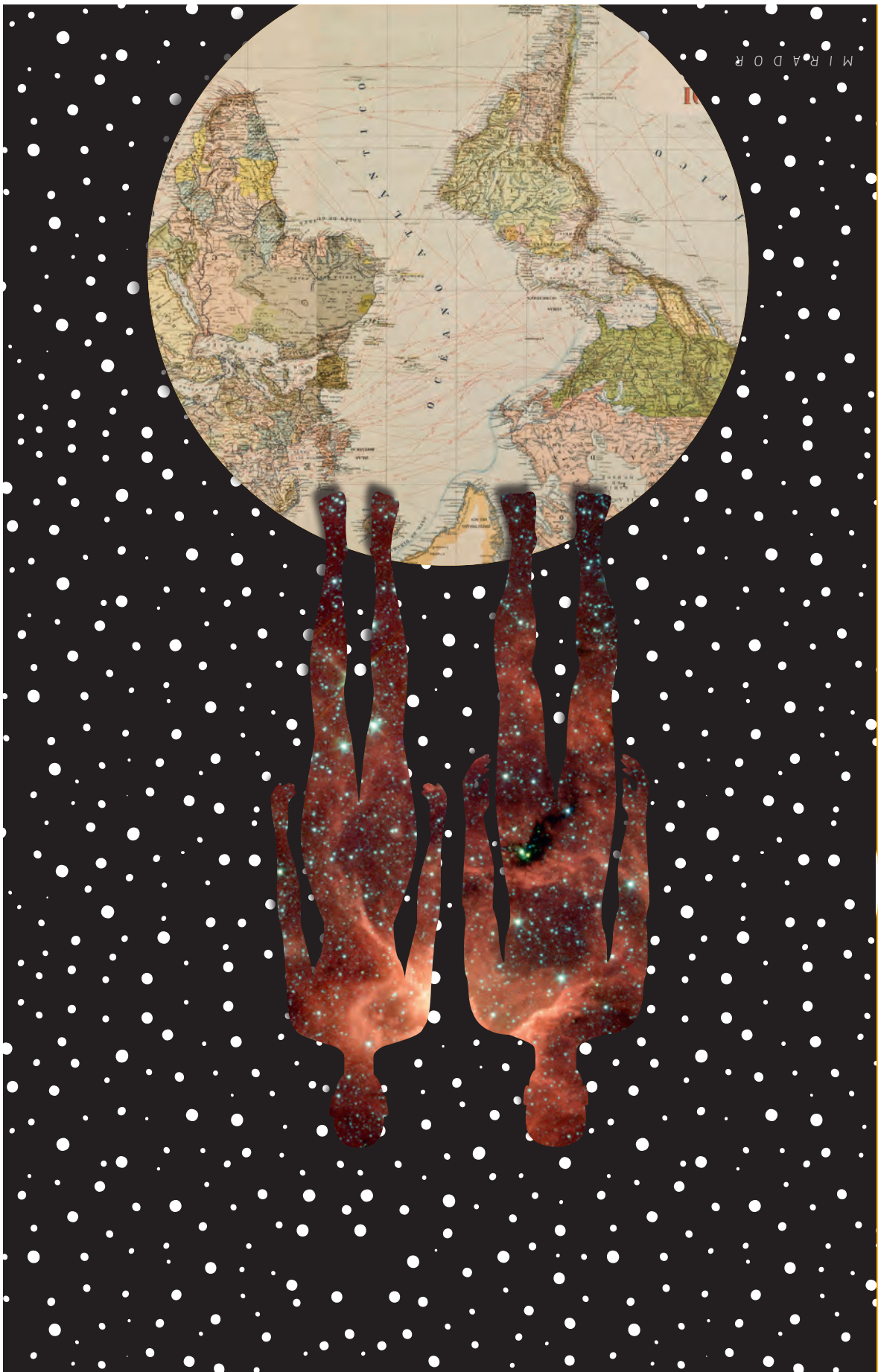
Un manto de dudas cubriría el nacimiento y los primeros **3 AÑOS** de vida de esa persona, pues no existen vestigios que brinden información precisa sobre lo que le sucedió en esa época.

## 0 a 3 AÑOS LA OSCURA EPOCA DEL FUEGO

**HOY**  
LA TIERRA SERÍA  
UNA PERSONA  
QUE TENDRÍA  
CERCA DE  
**46 AÑOS...**

**¿QUE PASARÍA SI SE  
LLEVARA LA ESCALA  
GEOLOGICA DE LA  
TIERRA AL TIEMPO DE  
DESARROLLO DE UNA  
PERSONA Y QUE  
100 MILLONES DE  
AÑOS DEL PLANETA  
EQUIVALIERAN A 1 AÑO  
DE VIDA HUMANA?**





MIRADOR

# TIERRA V!VA

SI UNA PERSONA OBSERVA DURANTE SU VIDA LOS CAMBIOS EN LA GEOGRAFÍA FÍSICA QUE LE RODEA — MONTAÑAS, CONTINENTES, VOLCANES, OCEANOS — ES PROBABLE QUE NO VEA GRANDES DIFERENCIAS. PERO, CON LA TECNOLOGÍA ACTUAL, INCLUSO EN LA ESCALA DE TIEMPO DE UN SER HUMANO ES POSIBLE CONSTATAR EL DESPLAZAMIENTO DE VARIOS METROS DE LOS CONTINENTES, LA ELEVACIÓN DE ALGUNAS CORDILLERAS O EL HUNDIMIENTO DE AMPLIAS REGIONES.

LA BOLA DE NIEVE

P. 259

¡LA EXPLOSIÓN DE LA VIDA!

P. 257

EL AGITADO ÚLTIMO AÑO

P. 255

MEGACONTINENTE

P. 253





P. 267  
LA OSCURA  
EPOCA DEL  
FUEGO



P. 265  
LA SOLEDAD  
DE LOS  
PRIMEROS  
ANOS



P. 263  
LAS ALGAS  
CREAN EL  
OXIGENO QUE  
RESPIRAMOS



P. 261  
LA DANZA  
DE LOS  
CONTINENTES



**Extracto de**  
**ORACION A LA BELLEZA**  
**Pablo de Rokha**

Lo verdadero es múltiple y tú UNA  
 y MUCHAS, MUCHAS; tus axiomas  
 son absolutos frente a la vanidad del  
 conocimiento, floreces por encima de  
 la verdad y constituyes, sollozando, la  
 VERDADERA sensación del COSMOS.

**Extracto de  
ESTRELLA HIA DE ESTRELLA  
Vicente Huidobro**

Es la ley misteriosa que de pronto se encarna.  
Con su andar de planeta seguro de su tiempo...  
Y se hace realidad en un instante.

Venia la belleza de quien sabe donde  
Venía hacia mis ojos

Con sus pasos de gloria.  
Con todos sus gérmenes sagrados  
Con su aliento de vida o muerte.

Tenia que brotar la gracia de repente

Había signos en el aire  
Había presagios en el cielo





MIRADOR

273

# ERRRA

R  
espírar, caminar bajo el Sol, ver la Luna asomarse sobre la cordillera, tomar agua, escuchar el canto de los pájaros... Todo esto que nos parece tan natural no siempre fue posible y probablemente no siempre lo será.

Las fuerzas más enormes y más pequeñas de la Tierra crearon las condiciones que hacen posible nuestra vida en el planeta; desde los terremotos y las más gigantescas erupciones volcánicas hasta la fotosíntesis de las algas unicelulares durante miles de millones de años.

En los primeros tiempos del Sistema Solar una enorme masa planetaria chocó con la Tierra y de ahí saltó un pedazo que se transformó en la Luna. Mucho tiempo después, la potencia del calor interno de la Tierra separó África, Australia, América y la Antártica; esto permitió la formación de las corrientes marinas que rigen el clima. La caída de un asteroide o las erupciones volcánicas extinguieron los dinosaurios, pero dejando el espacio libre para la evolución de los mamíferos como nosotros, antes, algunos iniciaron el camino para transformarse en aves. Desaparecieron unas cordilleras y se levantaron otras de 7 mil metros donde permanecen glaciares milenarios que dan de beber a las millones de personas en las ciudades. Solo hace muy pocos años en la historia de la Tierra, el suelo, el agua, el aire y la energía han alcanzado sus estados actuales; una combinación tan perfecta que logra albergarnos a nosotros y todas las formas de vida que nos acompañan.





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

275

275

**Extracto de  
CUÁNDO DE CHILE  
Pablo Neruda**

OH Chile, largo pétalo  
de mar y vino y nieve,  
ay cuando  
ay cuando y cuando  
ay cuando  
me encontraré contigo,  
enrollarás tu cinta,  
de espuma blanca y negra en mi cintura,  
desencadenaré mi poesía  
sobre tu territorio.  
Hay hombres  
mitad pez, mitad viento,  
hay otros hombres hechos de agua.  
Yo estoy hecho de tierra.  
Voy por el mundo  
cada vez más alegre:  
cada ciudad me da una nueva vida.  
El mundo está naciendo.  
Pero si llueve en Lota,  
sobre mi cae la lluvia,  
si en Lonquimay la nieve  
resbala de las hojas  
llega la nieve donde estoy.  
Crece en mi el trigo oscuro de Cautín.  
Yo tengo una araucaria en Villarica,  
tengo arena en el Norte Grande,  
tengo una rosa rubia en la provincia,  
y el viento que derriba  
la última ola de Valparaíso  
me golpea en el pecho  
con un ruido quebrado  
como si allí tuviere  
mi corazón una ventana rota.



# LA PROLONGACIÓN DEL ASOMBRO

En ciencia, las verdades cambian a menudo, pero la pasión por descubrir y ampliar el horizonte ha impulsado a nuestros ancestros desde aquellas primeras miradas hacia el cielo y esos primeros intentos por entender los ciclos de la Tierra.

En estas páginas recorreremos el Cielo y la Tierra a través de los ojos de hombres y mujeres que forman una comunidad científica que observa, investiga y comparte sus hallazgos para comprender el mundo que nos rodea.

Esperamos que sus espíritus indagadores y vivaces te inspiren a continuar el viaje del conocimiento, a formular preguntas y a explorar en posibles respuestas. Te invitamos a seguir explorando, a ser parte de la travesía de investigado-res y descubridores; a observar, experimentar y analizar con imaginación; a dudar y comprobar con independencia; a valorar las contribuciones de los que te precedieron y a colaborar con los que te rodean; a aprender y estudiar ciencia como un maravilloso camino para entender el mundo que nos rodea; e identificar nuestro lugar y responsabilidad en la Tierra, como ciudadanos; como hombres y mujeres del Universo.



140

138

134

132

116

108

100

98

94

62

60

52

48

42

40

12

8

6

### ÍNDICE TEMÁTICO

Bibliografía

Índice de imágenes

### ANEXOS CIELO

¿Tendrá un origen el Universo?

Colaboración científica

Lo esencial de los eclipses

Somos polvo de estrellas

Chinitas al espacio

Observatorios de Chile

Los moáis y las estrellas

Encuentro con las enanas café

GLOSARIO: ¿Qué buscar en el cielo?

Telescopios y radiotelescopios: Ojos al cielo

Ondas por todas partes

Alcanzar el cielo desde Chile

### EL CIELO

Prolongar el asombro ante la ciencia

### INVERTIR EL LIBRO

# EL CIELO



00

00

Estos números indican páginas del libro donde hay temas relacionados con el texto en el que están ubicados, ya sea en Cielo o Tierra.



## INVERTIR EL LIBRO PARA EL CIELO

147

Bibliografía

149

Índice de imágenes

151

### ANEXOS TIERRA

los huesos

Habían las piedras, los dientes y

157

Diego y su dinosaurio

167

Un primate chileno

169

Caical y Tentén, el agua y la tierra

171

Mitos, leyendas y otras explicaciones

173

Conocer y prevenir

185

Darwin y su terremoto en Chile

187

Línea de tiempo de terremotos

189

Laboratorio de terremotos

197

Tiembla en la colonia

203

La Tierra y sus acertijos

207

Un territorio que se llamará Chile

221

Notas para observar la Tierra

225

### GLOSARIO

Línea de tiempo de erupciones

227

Dentro del volcán

231

La intensidad de Chile

239

Construcción colectiva

251

Tierra viva

271

### LA TIERRA

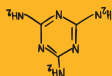
La prolongación del asombro

277





# TIERRA? TIERRA



CONTENIDOS



DESDE CHILE,  
ESCURRIÑAMOS EL CIELO  
Y LA TIERRA A TRAVÉS DEL  
PENSAMIENTO CIENTÍFICO.  
**TIERRA**  
PRESENTAMOS ALGUNAS INVESTIGACIONES,  
DESCUBRIMIENTOS Y GRANDES  
COLABORACIONES QUE HAN SIDO  
RELEVANTES EN LA CIENCIA.



# MIRADOR