



MIRADOR TIERRA

MIRADOR CIELO



MIRA -DOR-

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

TIERRA

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

mis científicos conocidos

mis científicos conocidos

[illegible]

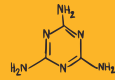
MIRA -DOD-



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

TIERRA

PRESENTAMOS ALGUNAS GRANDES COLABORACIONES QUE HAN SIDO RELEVANTES EN LA CIENCIA Y QUE HACEN DE ALGUNA MANERA QUE LAS COSAS SEAN MÁS COMPRENSIBLES.



LA². TIERRA



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 de erupciones 227

GLOSARIO 225

Notas para observar la Tierra

Un territorio que se llamará Chile 221

La Tierra y sus acertijos 207

Tiembra en la colonia 203

Laboratorio de terremotos 197

Línea de tiempo de terremotos 189

Darwin y su terremoto en Chile 187

Conocer y prevenir 185

Mitos, leyendas y otras explicaciones 173

Caicai y Tentén, el agua y la tierra 171

Un primate chileno 169

Diego y su dinosaurio 167

Hablan las piedras, los dientes y los huesos 157

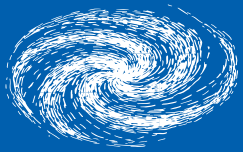
ANEXOS TIERRA 151

Índice fotográfico 149

Bibliografía 147

INVERTIR
EL LIBRO
PARA EL
CAPÍTULO
CIELO

145



EL CIELO 1. LO

INVERTIR EL LIBRO

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: ¿Qué buscar en el cielo? 48

Encuentro con las enanas café 52

Los moáis y las estrellas 60

Observatorios de Chile 62

Chinitas al espacio 94

Somos polvo de estrellas 98

Lo esencial de los eclipses 100

Colaboración científica 108

¿Tendrá un origen el Universo? 116

ANEXOS CIELO 132

Índice fotográfico 134

Bibliografía 138

ÍNDICE TEMÁTICO 140



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 recorremos 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 investigadores 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.

OH Chile, largo pétalo
de mar y vino y nieve,
ay cuándo
ay cuándo y cuándo
ay cuándo
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 mí cae la lluvia,
si en Lonquimay la nieve
resbala de las hojas
llega la nieve donde estoy.
Crece en mí el trigo oscuro de Cautín.
Yo tengo una araucaria en Villarrica,
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 tuviera
mi corazón una ventana rota.

Extracto de
CUÁNDO DE CHILE
Pablo Neruda

LA TIERRA

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

Respirar, 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 posibilitó la formación de las corrientes marinas que rigen el clima. La caída de un asteroide o las erupciones volcánicas extinguieron los dinosaurios, dejando el espacio libre para la evolución de los mamíferos como nosotros, pero 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.



Había signos en el aire
Había presagios en el cielo
Tenía que brotar la gracia de repente
Con sus pasos de gloria
Con todos sus gérmenes sagrados
Con su aliento de vida o muerte.

Venía la belleza de quién sabe donde
Venía hacia mis ojos
Con su andar de planeta seguro de su tiempo...
Es la ley misteriosa que de pronto se encarna
Y se hace realidad en un instante.

Extracto de
ESTRELLA HIJA DE ESTRELLA
Vicente Huidobro

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
ORACIÓN A LA BELLEZA
Pablo de Rokha

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.

Tierra Viva

LA OSCURA
ÉPOCA DEL
FUEGO

P. 267

LA SOLEDAD
DE LOS
PRIMEROS
AÑOS

P. 265

LAS ALGAS
CREAN EL
OXÍGENO QUE
RESPIRAMOS

P. 263

LA DANZA
DE LOS
CONTINENTES

P. 261

LA BOLA
DE NIEVE

P. 259

¡LA EXPLOSIÓN
DE LA VIDA!

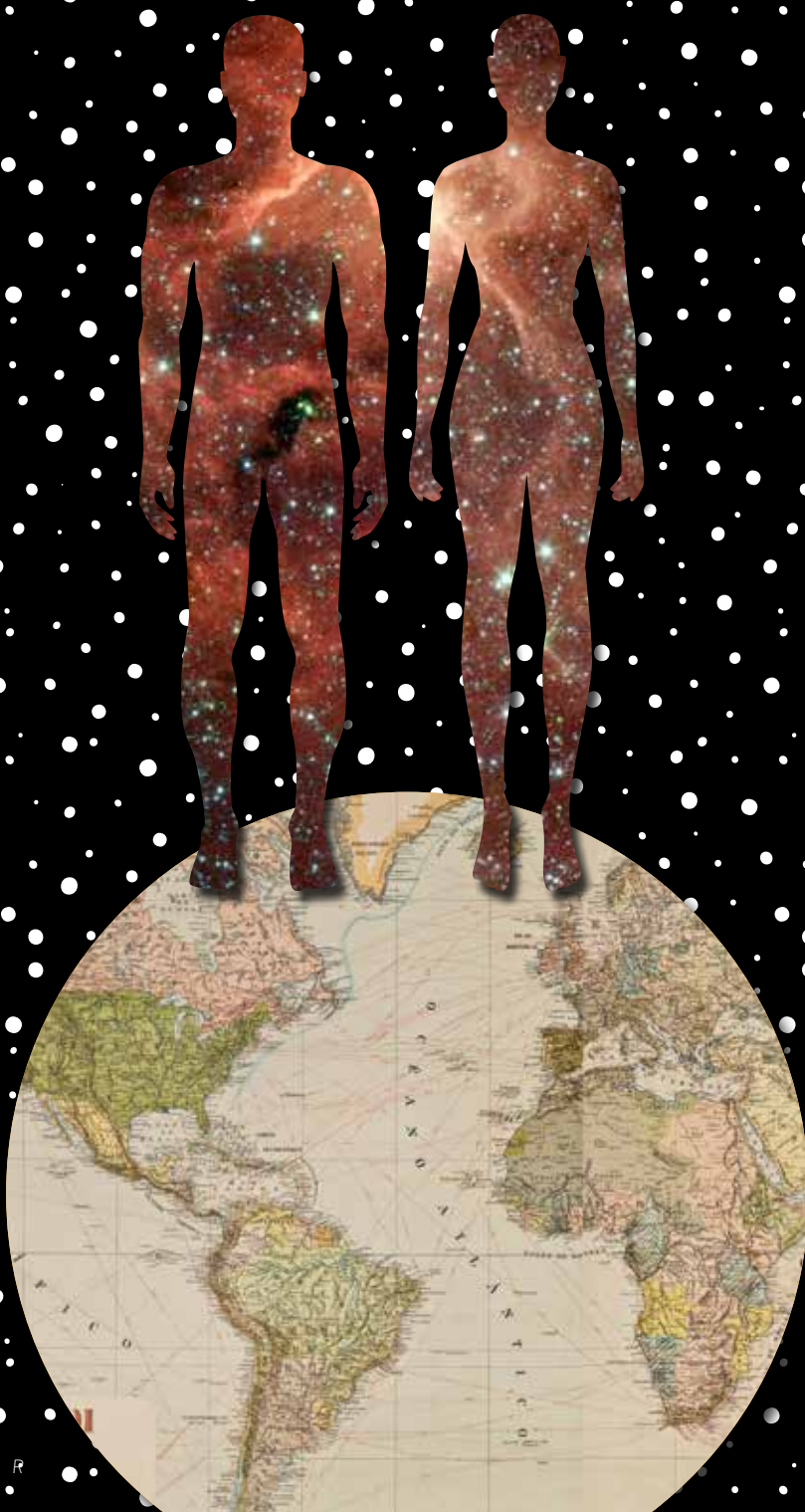
P. 257

EL AGITADO
ÚLTIMO AÑO

P. 255

MEGACONTINENTE

P. 253



¿QUÉ PASARÍA SI SE
LLEVARA LA ESCALA
GEOLÓGICA 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?**

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

0 a 3 AÑOS

LA OSCURA ÉPOCA DEL FUEGO

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.

LA MAYORÍA DE LOS TEÓRICOS 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.

Numerosos científicos postulan que durante esos primeros años, en plena gestación de la Tierra, ésta fue impactada por Tea, 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.

ILUSTRACIÓN DE
LA PRIMERA FASE
DE FORMACIÓN
DE LA LUNA.



3 a 20 AÑOS

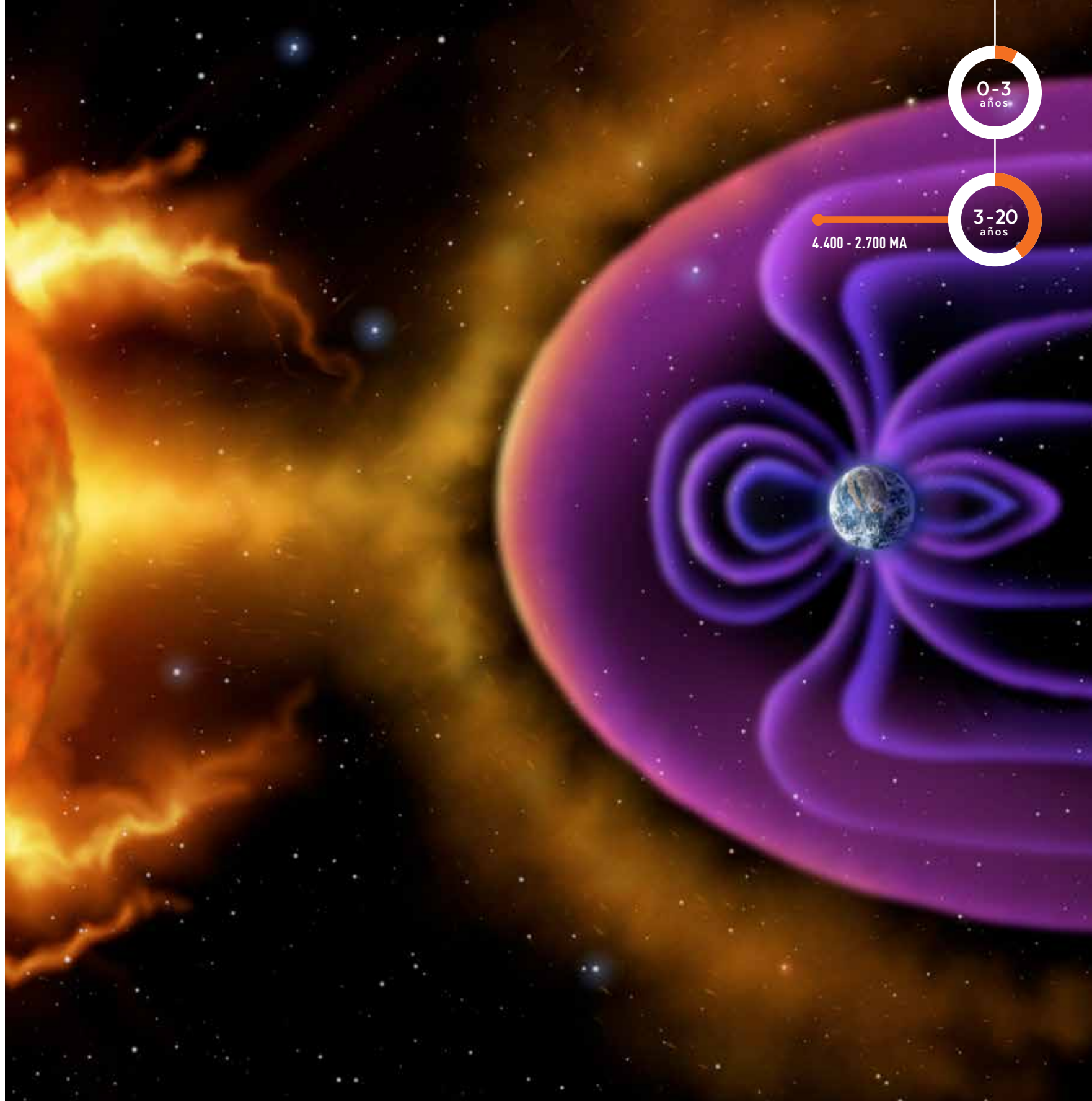
LA SOLEDAD DEL COMIENZO

Los años siguientes, entre los **3 y 6 AÑOS**, todo habría sido bastante monótono. Sobre esa masa incandescente, se habría formado una especie de costra que más adelante se transformaría 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 sobresalían algunas islas. En ese entonces casi no había oxígeno en la atmósfera.



20 a 25 AÑOS

LAS ALGAS CREAN EL OXÍGENO QUE RESPIRAMOS

AL CUMPLIR CERCA DE **20 AÑOS** YA HABÍA VIDA EN LOS OCÉANOS. 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 utilizando solo registros geológicos. 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.

2.700 - 2.200 MA
CIANOBACTERIAS

0-3
años

3-20
años

20-25
años

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 APARIENCIA 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.

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

0-3 años

3-20 años

20-25 años

25-40 años

2.200 - 700 MA
ORGANISMOS UNICELULARES Y MULTICELULARES



ILUSTRACIÓN DE RODINIA, EL MEGACONTINENTE.



40 a 42 AÑOS

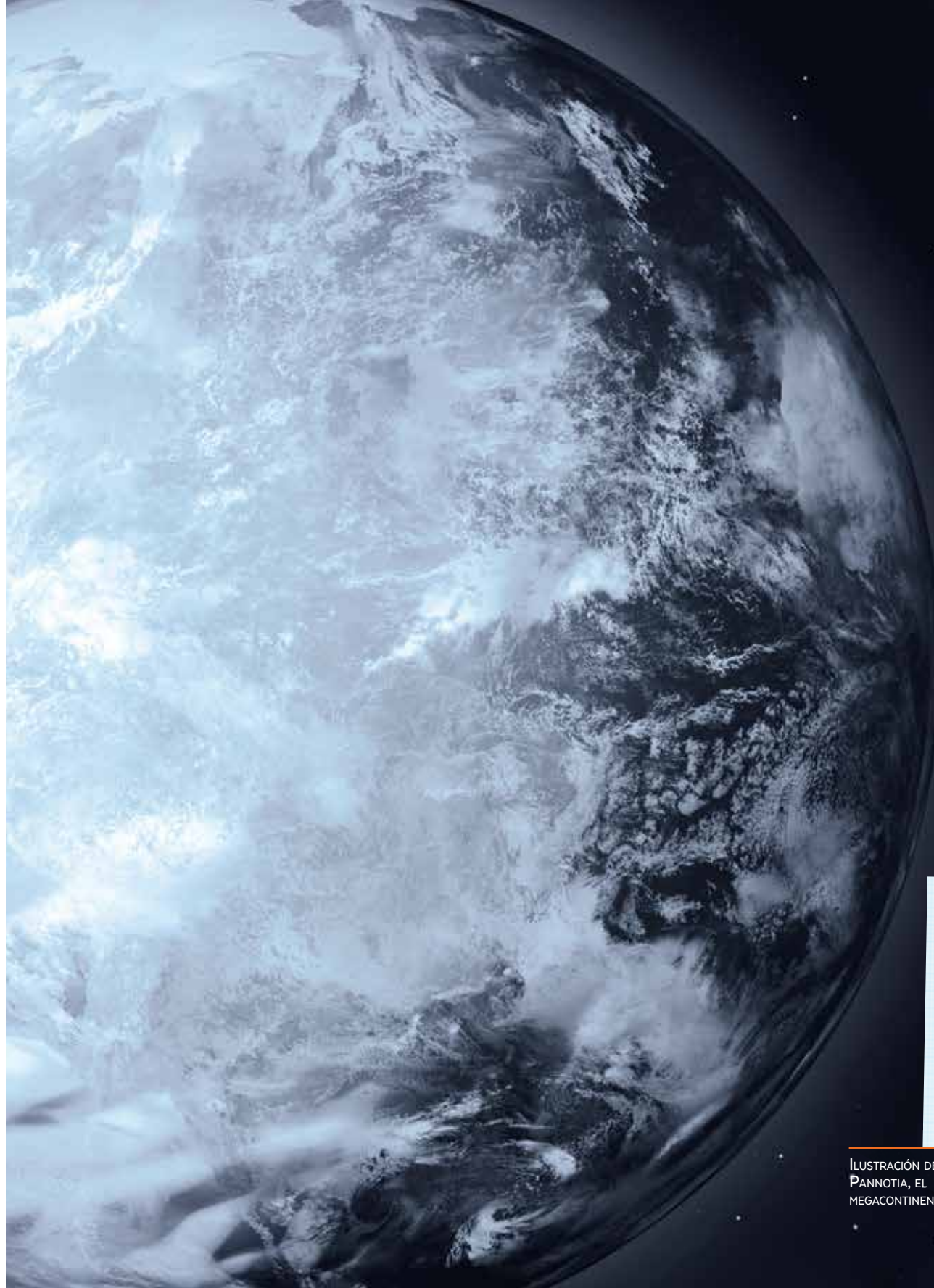
LA BOLA DE NIEVE

Casi al cumplir los **40 AÑOS**, la Tierra se vistió de blanco. La temperatura promedio era de -50°C y toda la superficie estaba cubierta de hielo.

DESDE EL ESPACIO SE VEÍA 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.



700 - 500 MA
CRUSTACEOS



ILUSTRACIÓN DE PANNOTIA, EL MEGACONTINENTE.

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 *Nyasasaurus*, 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.

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 BROTA EN EL AGUA Y EN LA TIERRA.



ILUSTRACIÓN DE LA SEPARACIÓN DE PANGEA: LAURASIA Y GONDWANA.



0-3 años

3-20 años

20-25 años

25-40 años

40-42 años

42-45 años

500 - 300 MA
PLANTAS Y
PRIMEROS REPTILES



45 a 46 AÑOS

EL 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, aparecieron los primeros homo sapiens.



HACE SOLO UN
MINUTO SE DECLARÓ
LA INDEPENDENCIA
DE CHILE.



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



200 - 100 MA
PRIMEROS MAMÍFEROS

0-3
años

3-20
años

20-25
años

25-40
años

40-42
años

42-45
años

45-46
años

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

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. ★



¿CÓMO CREES
QUE SERÁ EL
PLANETA EN
100 MILLONES
DE AÑOS?

Cuando todos se vayan 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 luciérnagas a los bolsillos
o caminar a orillas de rieles oxidados
o sentarme en el roído mostrador de un
almacén para hablar con antiguos
compañeros de escuela.

Extracto de
CUANDO TODOS SE VAYAN
Jorge Teillier

CoNStRUCCIÓN CoLECTiVA

ALFRED WEGENER.
EXPLORADOR Y
REBELDE

1

P. 249

HOLMES Y HESS
TOMAN LA POSTA

2

P. 243

1

ALFRED WEGENER, EXPLORADOR Y 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

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.

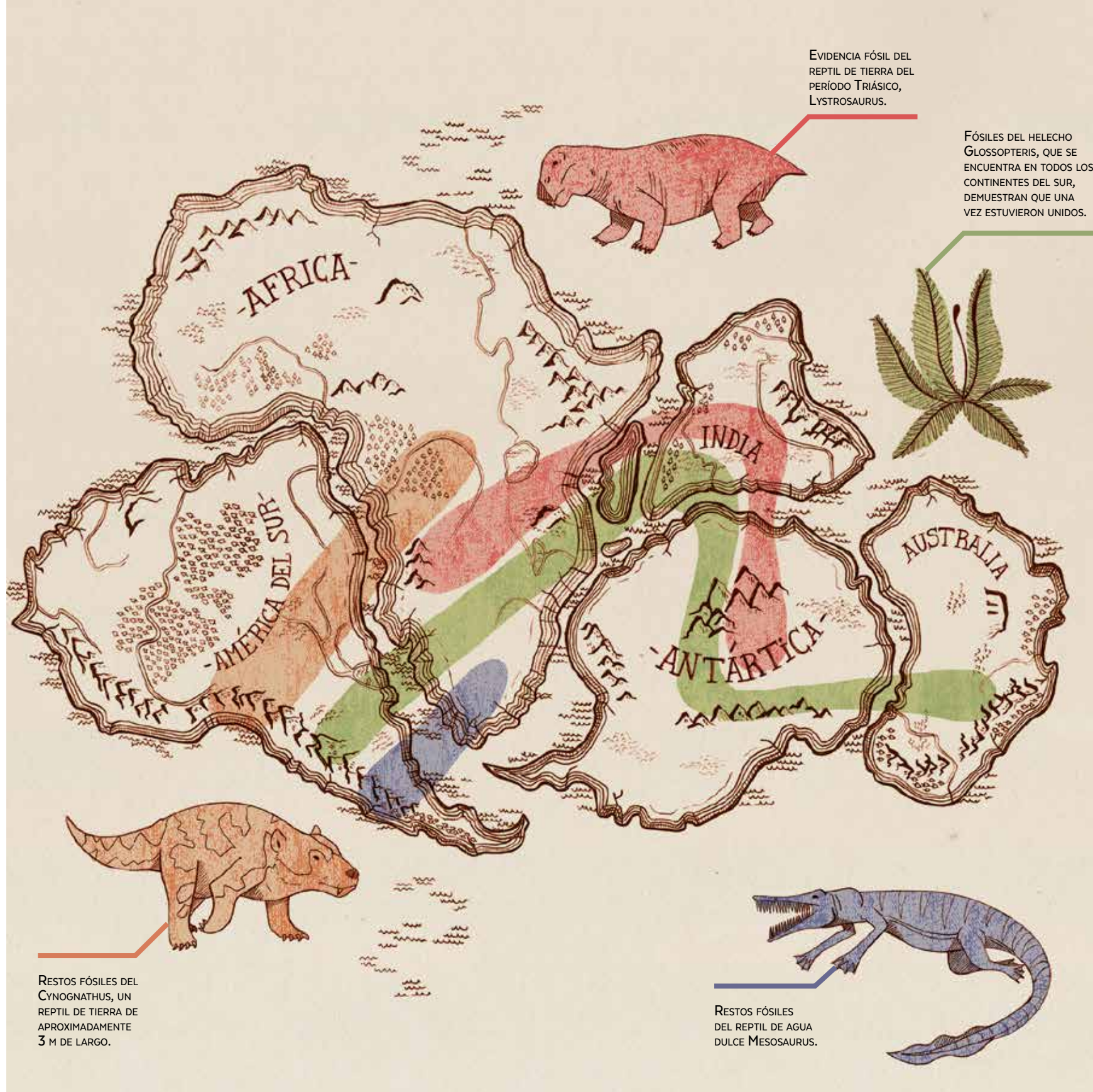
TAMBIÉN DESAFIÓ LOS LÍMITES QUE IMPONÍA LA CRECIENTE ESPECIALIZACIÓN DE LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS, UTILIZANDO SIEMPRE UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINARIO E INTEGRADOR PARA RESOLVER LOS DESAFÍOS EN EL ÁMBITO DEL CONOCIMIENTO, EN ESPECIAL CUANDO PROPUSO LA TEORÍA DE LA DERIVA CONTINENTAL.

FOTOGRAFÍA DE WEGENER EN SU ÚLTIMA EXPEDICIÓN A GROENLANDIA, NOVIEMBRE 1930.



MIENTRAS CUIROSEABA 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.

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 calzar 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 desmembró formando los continentes que flotaron sobre el lecho marino hasta su ubicación actual.



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

RESTOS FÓSILES DEL REPTIL DE AGUA DULCE MESOSAURUS.

En 1915 publicó su libro **EL ORIGEN DE LOS CONTINENTES Y LOS OCÉANOS**. 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.

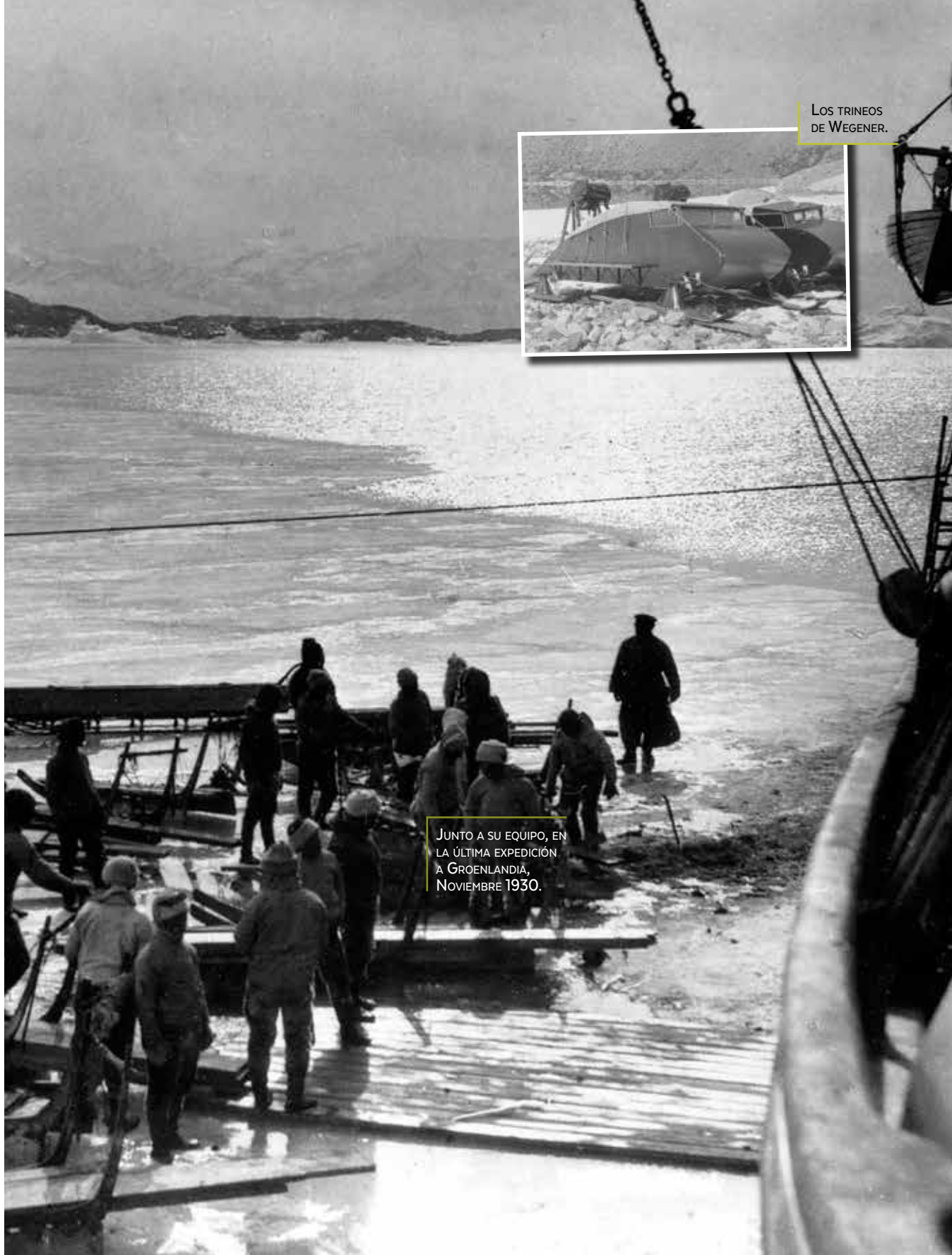
En su búsqueda de comprobaciones, Wegener miró desde la geología y encontró similitudes entre las capas de rocas y en la orientación de las marcas dejadas por los glaciares de África y Sudamérica. Con sus conocimientos de meteorología y clima observó que algunos de los fósiles que se encontraban en la 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 Shanghái parecían estar acercándose.

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

no tuviera credenciales suficientes como geólogo, serían las razones que contribuyeron a que su teoría haya sido rechazada y él 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 sólidamente 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°C que su corazón no pudo soportar.



LOS TRINEOS DE WEGENER.

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

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 traslada 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

CONSOLIDACIÓN

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.

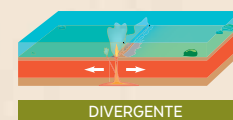
LA IDEAS SE SOLIDIFICAN



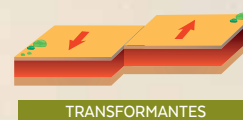
Pero ¿si las placas oceánicas crecen empujando a los continentes, dónde va a parar la placa Oceánica? Hess y su equipo constataron que la placa Oceánica más antigua tiene solo 200 millones de años. De ahí surgió la explicación de que las placas oceánicas, al ser más densas, se sumergen de forma lenta 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 nueva 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. ★



DIVERGENTE

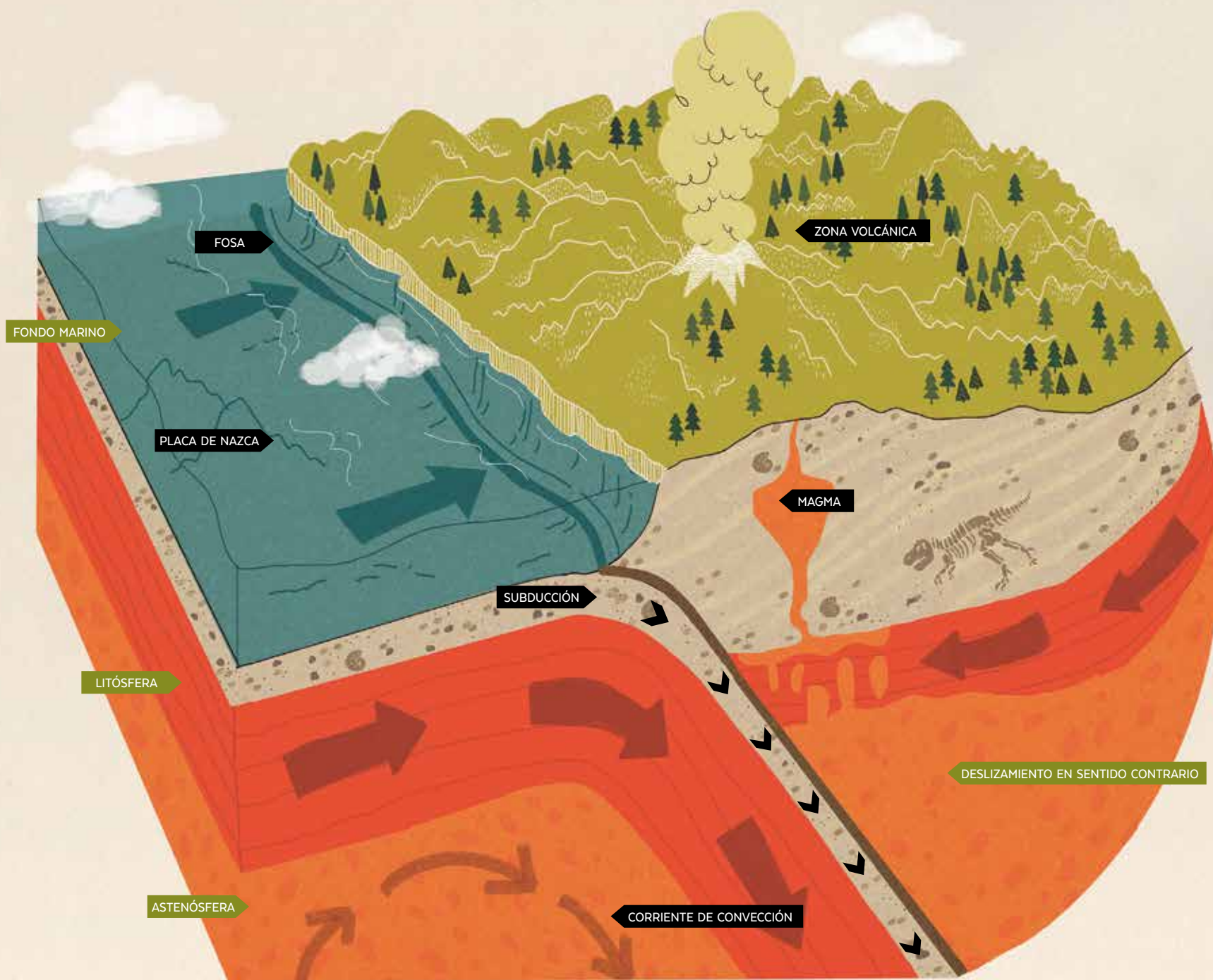


TRANSFORMANTES



CONVERGENTES

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



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
clavada en la proa del mundo.

Extracto de
CANCIÓN DE LAS TIERRAS CHILENAS
Pablo de Rokha

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.

LA iNTENSiDAD DE CHiLE

COMENZANDO
A OBSERVAR

LA RIQUEZA DE
CHILE

1 | 2

P. 237

P. 233

1

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

JAMES GILLISS.



Valparaíso por el terremoto de 1906, bajo el gobierno del presidente 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, RADICADO 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.



COQUIMBO LUEGO DEL TSUNAMI EN SEPTIEMBRE, 2015.

TSUNAMI:
MASA DE AGUA DE GRANDES DIMENSIONES, PROVOCADA POR UN SISMO O ERUPCIÓN VOLCÁNICA SUBMARINA.

En la década del sesenta, la Organización de Estados Americanos, OEA, designó a los departamentos de Geofísica de la Universidad de Chile y 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, sismólogos, 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.

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. ★

YACIMIENTO DE
CHUQUICAMATA.





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 indiada de leñadores,
guía chilotos que son marinos.
Guía a pastores con tu relumbre,
Volcán Osorno, viejo novillo,
¡levanta el cuello de tus mujeres,
empina gloria de tus niños!

Extracto de
VOLCÁN OSORNO
Gabriela Mistral

DENTRO DEL VOLCÁN

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.

Tres 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 Láscar, 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 Láscar y extraer una muestra del gas de las fumarolas. Un error podía costarles la vida. Felipe no durmió.

El Láscar 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 relleno las quebradas de Talabre, Soncor y Chaile. 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 graderías del Estadio Nacional mirando hacia la cancha. Así de grande es el cráter principal del

volcán Láscar. 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.

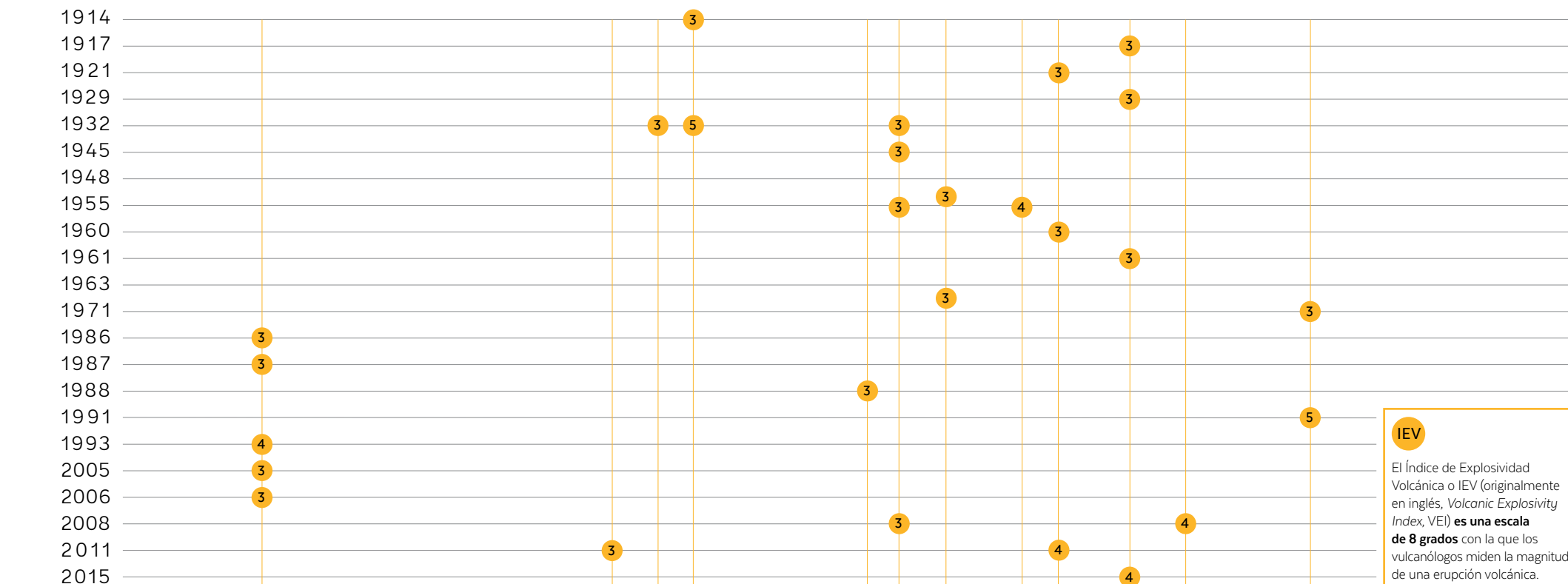
LAS MUESTRAS DE LOS GASES DEL INTERIOR DE LOS VOLCANES SE ESTUDIAN Y ANALIZAN EN LABORATORIOS DE OTROS PAÍSES. LOS RESULTADOS PERMITEN COMPRENDER MEJOR EL COMPORTAMIENTO DE LOS VOLCANES, EL ESTADO EN EL QUE SE ENCUENTRAN, LA PROBABILIDAD DE UNA ERUPCIÓN EN EL CORTO PLAZO, Y SOBRE TODO, ENTENDER MEJOR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

Aguilera regresó al Láscar 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 Láscar, han entrado en erupción. ★



1914
1917
1921
1929
1932
1945
1948
1955
1960
1961
1963
1971
1986
1987
1988
1991
1993
2005
2006
2008
2011
2015

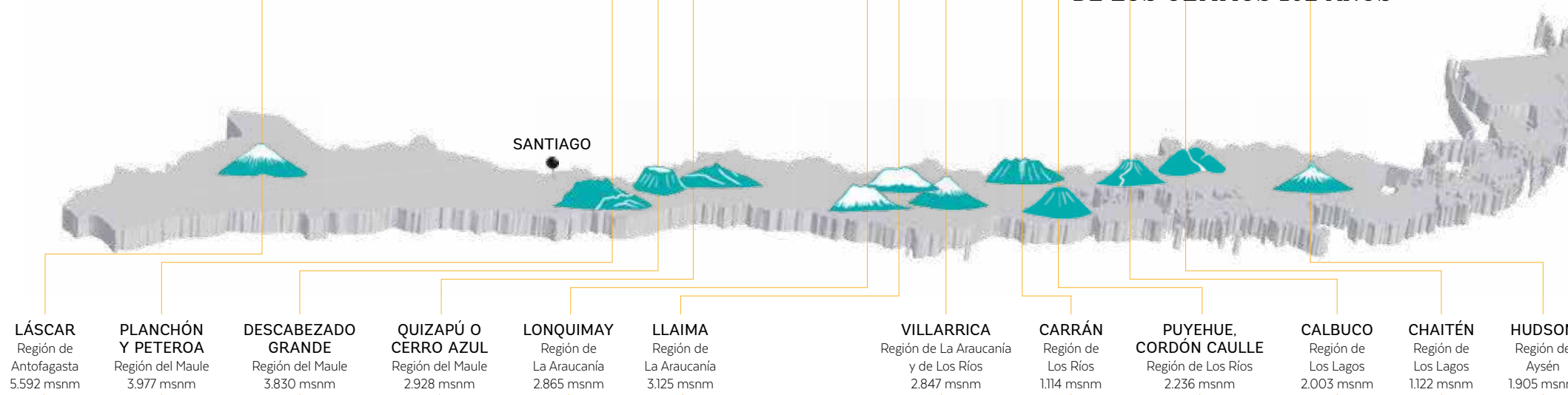


IEV

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.

ERUPCIONES

DE LOS ÚLTIMOS 102 AÑOS



VOLCANES

TIEMPO GEOLÓGICO

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



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 moviliza 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.

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.

PLACAS TECTÓNICAS

La costra 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.



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.

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.

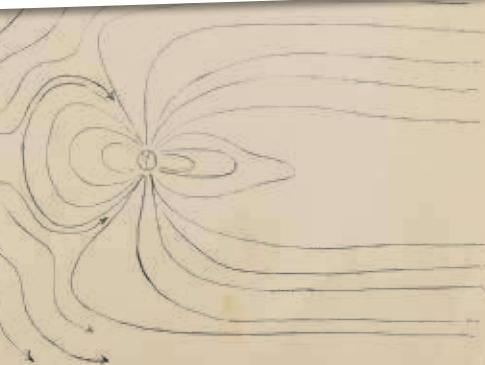


GLOSARIO

NOTAS PARA OBSERVAR LA TIERRA

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 manto. Es vital para la vida en el planeta pues actúa como un escudo protector contra el viento solar y la radiación cósmica.



EROSIÓN

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.

SISTEMA TIERRA

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 Hidrósfera, la capa líquida; la Atmósfera, la capa gaseosa; y la Biosfera, constituida por todos los seres vivos.

CORTEZA 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.

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.

ERUPCIÓN

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

VOLCÁN

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.

MAGMA

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.

EXTINSIONES MASIVAS

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.

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

Extracto de
LA MARCHA DE LAS CORDILLERAS
Raúl Zurita

Un TERRITORIO Que SE LLAMARÁ CHILE

ISLAS,
VOLCANES Y
MONTAÑAS

1

P. 219

COMIENZA LA
SEPARACIÓN
DE AMÉRICA

2

P. 217

CASI TODO
CHILE BAJO
EL MAR

3

P. 215

SE RETIRAN LAS
AGUAS Y NACE LA
CORDILLERA DE
LOS ANDES

4

P. 213

SE ELEVAN
LAS
CORDILLERAS

5

P. 211

UN MAR FRÍO
Y UNA GRAN
CORDILLERA

6

P. 209

1

300-250 Ma ISLAS, VOLCANES Y MONTAÑAS

MILLONES
DE AÑOS.

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.

DIVISIÓN DE PANGEA
PANGAEA 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, ÁFRICA, AUSTRALIA, LA INDIA Y LA ANTÁRTICA.

MIRADOR



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.

193

240

247

257

6

5

4

3

2

1

UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

2

250-200 Ma COMIENZA LA SEPARACIÓN DE AMÉRICA

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.

GRAN PARTICIÓN

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



EXTINSIÓN MASIVA

EL MAGMA ASCIENDE DE FORMA INCESANTE; SU PRESIÓN 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.

SUBDUCCIÓN

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

● CARBÓN ● PETRÓLEO

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.

3

200-110 Ma CASI TODO CHILE BAJO 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.



4

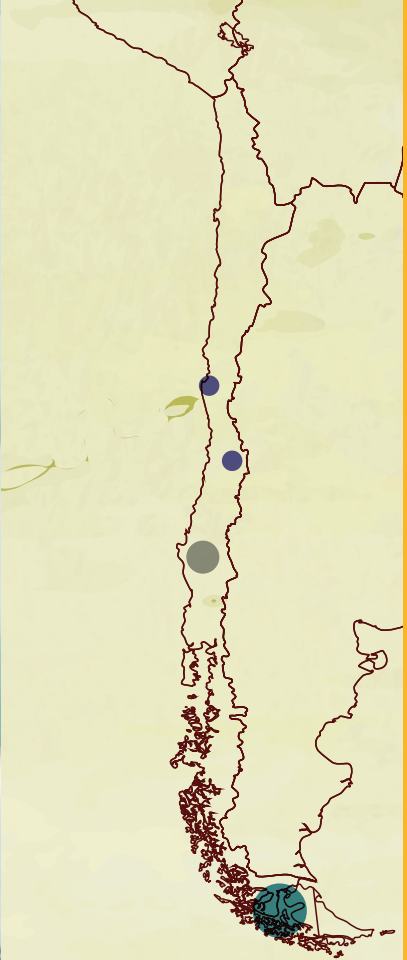
110-65 Ma SE RETIRAN LAS AGUAS Y NACE LA CORDILLERA DE LOS ANDES

Una subducción más plana origina la aparición del volcanismo y 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.



SUBDUCCIÓN TIPO CHILENA

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.

- CARBÓN
- PETRÓLEO
- HIERRO

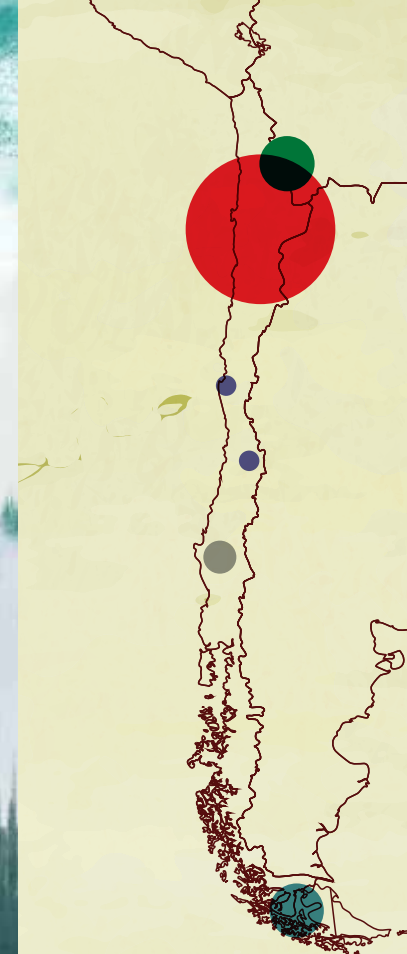
5

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.



● **COBRE**
● **MOLIBDENO**

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, y que constituyen una de las grandes riquezas naturales de nuestro país.

● **CARBÓN**
● **PETRÓLEO**
● **hierro**

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 volcanismo se desplaza a las zonas más altas, en el límite actual con Bolivia y Argentina, 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. ★

EL FRÍO MAR

FORMACIÓN DE LA CORRIENTE CIRCUMPOLAR ANTÁRTICA QUE PROVOCA UNA DISMINUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE LAS AGUAS DE LOS OCÉANOS EN TODO EL PLANETA.

ENGROSAMIENTO

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

● CARBÓN
● PETRÓLEO
● HIERRO
● COBRE
● MOLIBDENO

223

34

6

5

4

3

2

1

UN TERRITORIO QUE SE LLAMARÁ CHILE

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.

Extracto de
TERREMOTO EN CHILE
Pablo Neruda

LA TIERRA Y SUS ACERTIJOS

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 SABÍA QUE EN POCOS MINUTOS MÁS, LAS TELECOMUNICACIONES SE VENDRÍAN ABAJO.

Jaime 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.

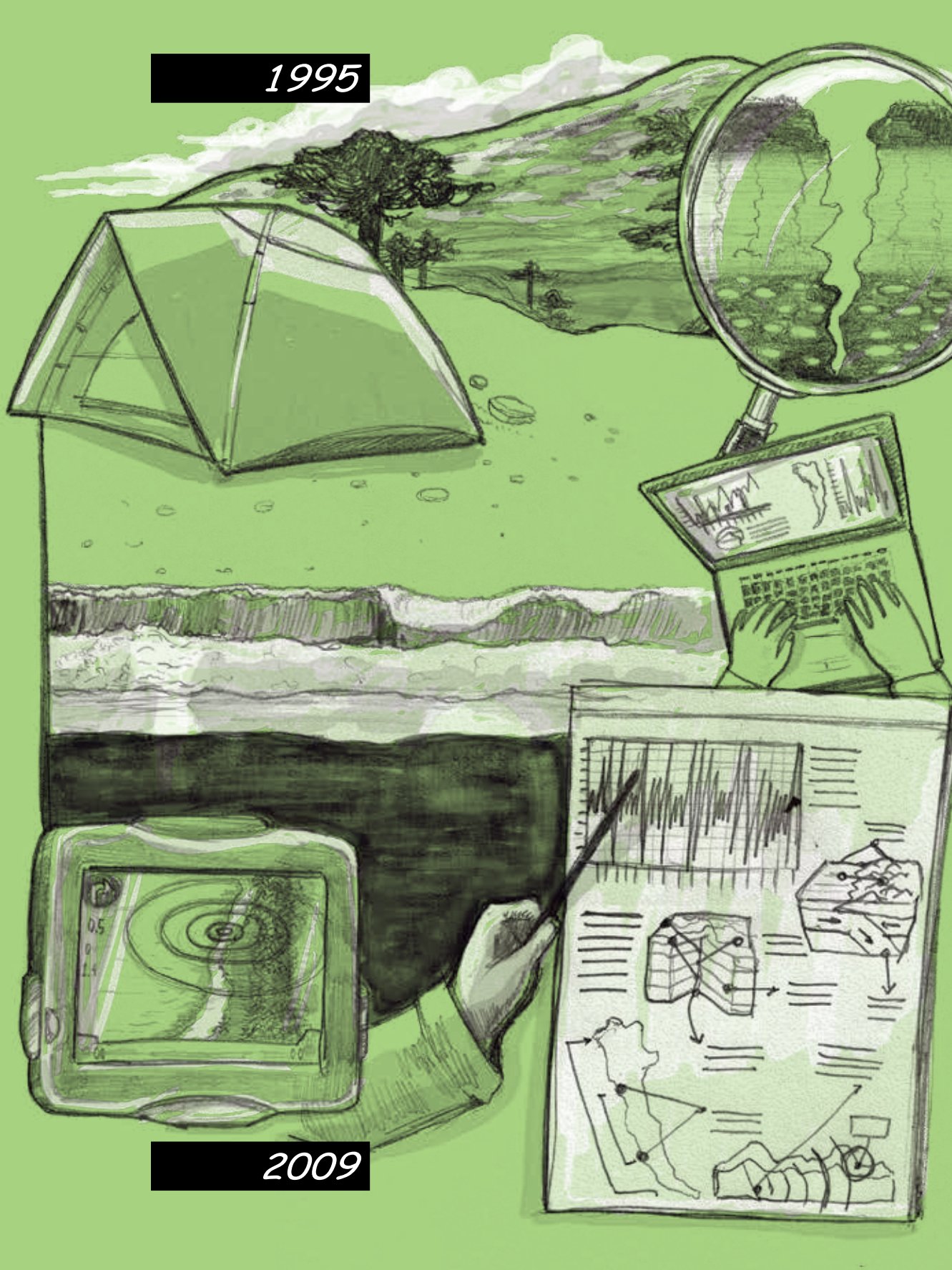
Su pasión por la sismología comenzó con otro regreso de un viaje... y otro terremoto: el del 3 de marzo de 1985. Ese día volvía en avión desde Punta Arenas, luego de terminar su práctica de ingeniero en minas. Había pasado el verano realizando exploraciones para encontrar petróleo en Tierra del Fuego 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

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 sismológicas 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 el 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. ★



Santiago en 1600

Paredones y tambillos del Inca

Cañada de

Diego

Manzana de

Antonio Nuñez

Santo Domingo

TiEMBLA en la COLONiA

*Segun croquis
del señor
TOMAS THAYER OJEDA*

A mí 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
oraciones y ruegos claro que sí
ceremonias diabólicas nó
humillémonos ante el grandioso
para que se ría Satanás.

Extracto de
**SERMONES Y PRÉDICAS DEL CRISTO
DE ELQUI XVI**
Nicanor Parra

TERREMOTO DE
SANTIAGO
1647

TERREMOTO DE
CONCEPCIÓN
1657

1

2

P. 201

P. 199

cañada de San Francisco
Hospital de N. S. del Socorro
Convento de S. Francisco
Maria de Niza
Pablo
J. S. del Socorro

1

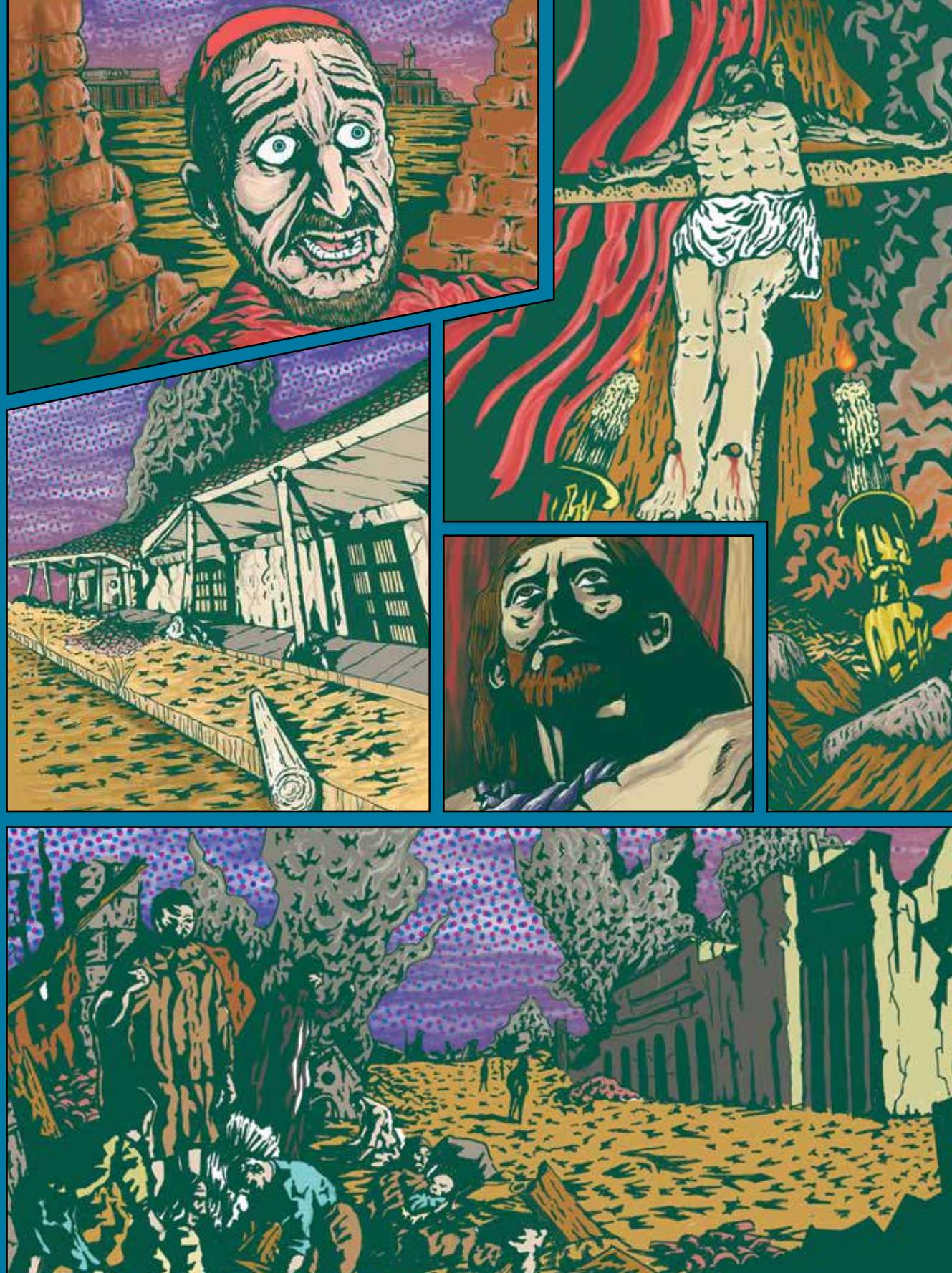
TERREMOTO DE SANTIAGO. 13/05/1647

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 VOLVÍA LO DE ARRIBA ABAJO, SEPULTANDO LA GENTE EN SUS RUINAS; Y FUERON MÁS DE MIL LOS QUE MATÓ, SIN CONTAR OTROS HERIDOS Y MALTRATADOS. 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

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

ABRIOSE 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.

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.



2

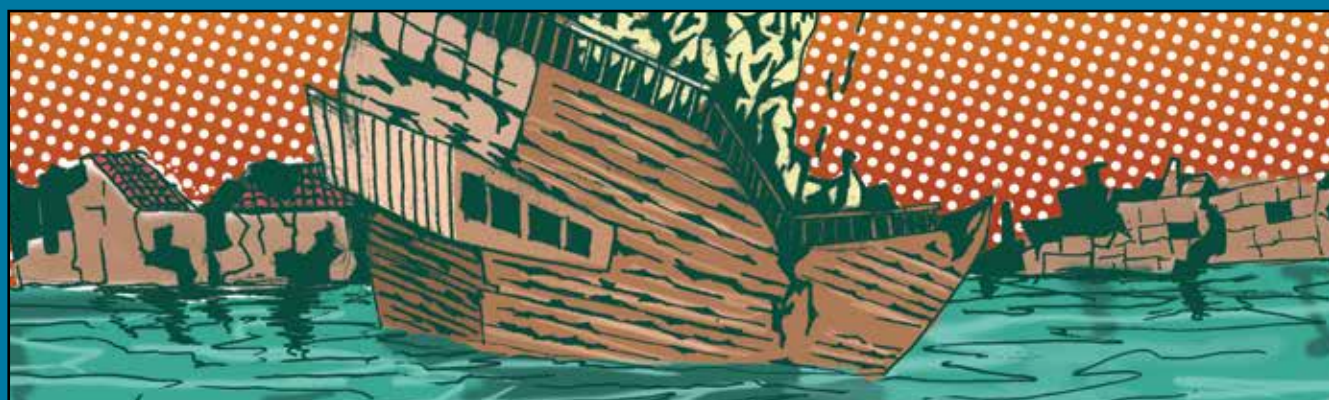
TERREMOTO DE CONCEPCIÓN. 15/03/1657

A QUINCE DE MARZO DE 1657, A LAS OCHO DE LA NOCHE, PADECIÓ LA CIUDAD DE LA CONCEPCIÓN OTRO TEMBLOR E INUNDACIÓN DEL MAR IGUALMENTE HORRIBLE AL ANTIGUO (EN REFERENCIA AL TERREMOTO DE 1570): VINO CON UN RUIDO AVISANDO Y PUDO SALIR LA GENTE DE LAS CASAS, Y LUEGO TEMBLÓ LA TIERRA CON TANTA FUERZA QUE EN PIE NO PODÍAMOS TENERNOS: LAS CAMPANAS SE TOCABAN ELLAS CON EL MOVIMIENTO, LAS CASAS BAMBALEABAN Y SE CAÍAN A PLOMO.

EL MAR COMENZÓ A HERVIR, ESTANDO LA MAREA DE CRECIENTE, DE AGUAS VIVAS Y CERCA DEL EQUINOCCIO AUTUMNAL, SEGÚN EL CÓMPUTO DESTE HEMISFERIO, QUE ES CUANDO POR ESTAS COSTAS MÁS SE HINCHA EL MAR; ESPLAYOSE ENTRANDO POR EL CANAL DEL ARROYO,

QUE PASA POR MEDIO DE LA CIUDAD, Y RETIROSE; PERO DE ALLÍ A UNA HORA CAYÓ HACIA EL PONIENTE UN GRANDE GLOBO DE FUEGO Y VOLVIÓ A SALIR EL MAR CON TANTA VIOLENCIA QUE DERRIBÓ TODAS LAS CASAS QUE HABÍAN QUEDADO, SIN RESERVAR IGLESIA, SINO FUE LA DE LA COMPAÑÍA DE JESÚS Y TODO EL COLEGIO, QUE NO RECIBIÓ DAÑO CONSIDERABLE POR HABERLE ENTRADO EL MAR.

SALIMOS TODOS CORRIENDO A SOCORRER Y CONFESAR LOS QUE HABÍAN MALTRATADO LAS RUINAS; CLAMABA LA GENTE POR LAS CALLES PIDIENDO A DIOS MISERICORDIA Y CONFESANDO A VOCES SUS PECADOS, Y POR ESTAR CERCANO UN CERRITO, DONDE SE ACOGIERON CUANDO EL MAR SALIÓ BRAMANDO DE REPENTE Y EXPLAYANDO SUS FURIAS, SE ESCAPÓ LA GENTE, QUE SI NO PERECEN TODOS. ★





Puerto Montt está temblando
 Con un encono profundo
 Es un acabo de mundo
 Lo que yo estoy presenciando
 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.

Extracto de
PUERTO MONTT ESTÁ TEMBLANDO
 Violeta Parra

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

LABORATORIO de TERREMOTOS

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, las características de los materiales 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.



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



CHILE, PAÍS LABORATORIO

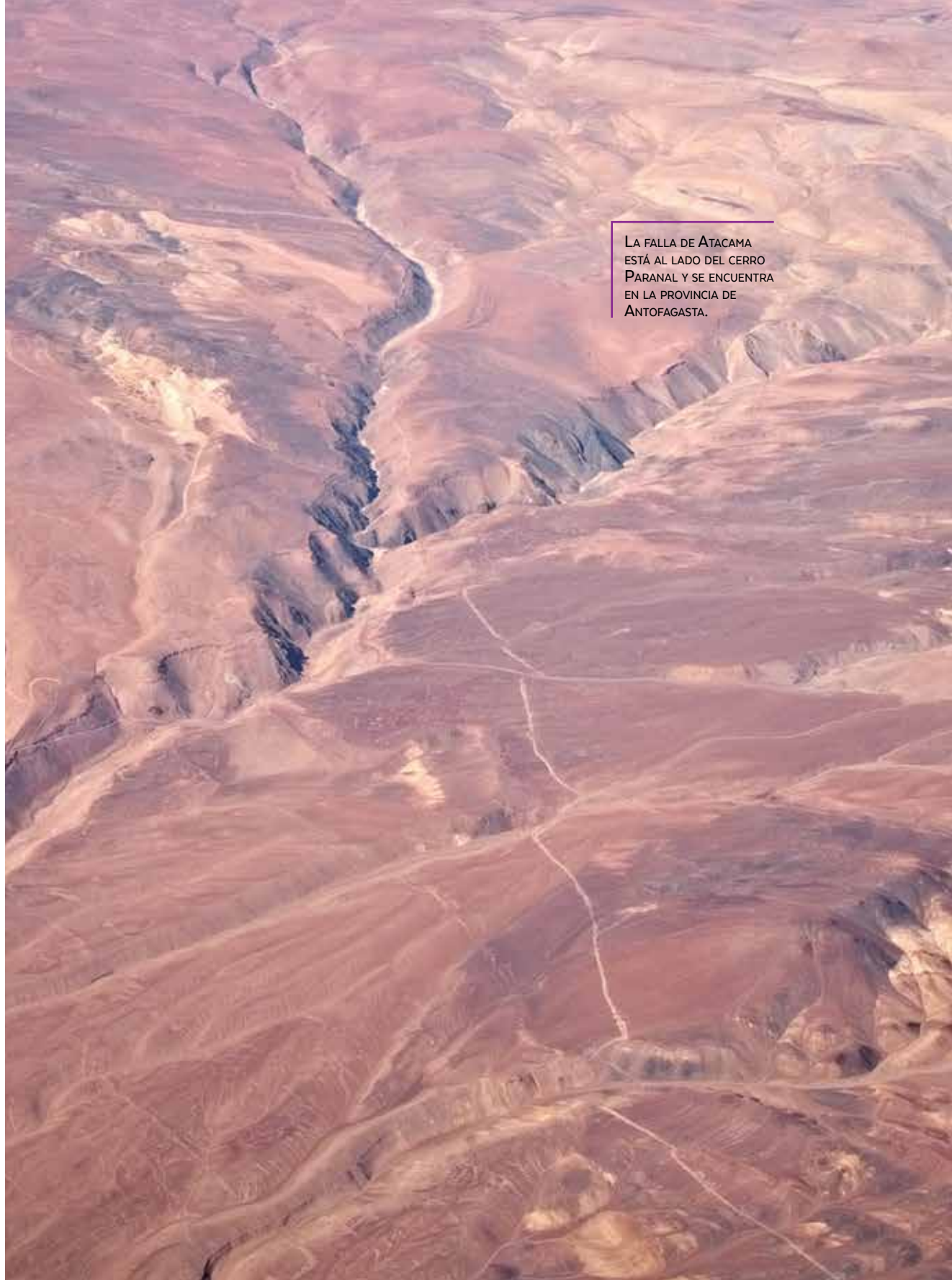
La mayoría de los terremotos de Chile se producen en el contexto de la subducción andina, donde interactúan dos o más placas tectónicas: Nazca y Sudamericana para la zona comprendida desde Arica y la Península de Taitao, y las placas Antártica, Sudamericana y de Scotia para la zona al sur de Taitao hasta 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 gigantescas 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 escasa profundidad (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 dónde 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.



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

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. ★

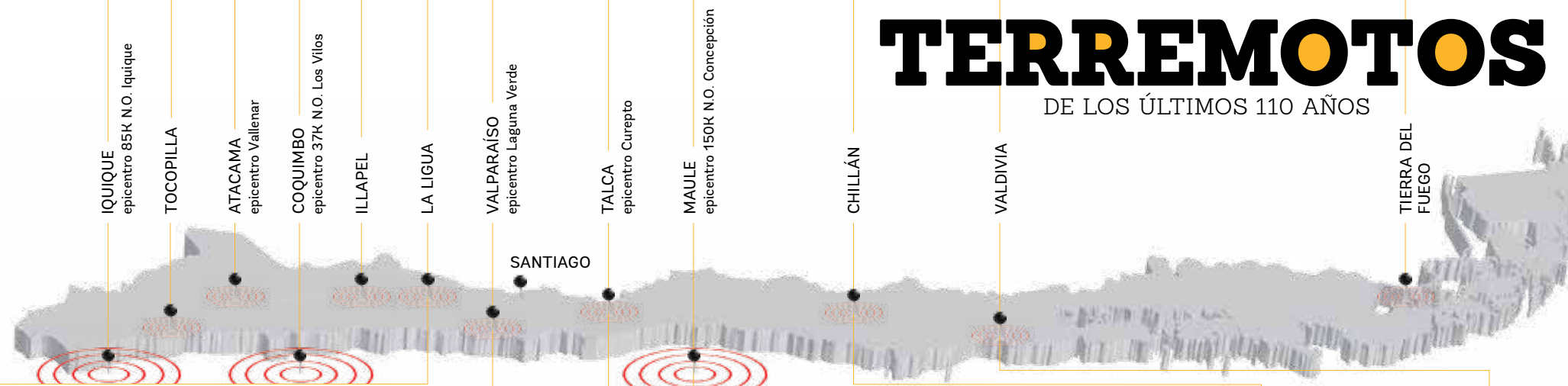


TRAZA DE LA FALLA DE SAN ANDRÉS A LO LARGO DEL ACANTILADO COSTERO QUE BORDEA LA CIUDAD DE DALY CITY, EN CALIFORNIA, ESTADOS UNIDOS.



TERREMOTOS

DE LOS ÚLTIMOS 110 AÑOS



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.

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

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.

EPICENTROS / CIUDADES

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 doblegara con el peso del cuerpo.

UN TERREMOTO TRASTRUECA 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.

Viaje de un naturalista alrededor del mundo. Un violento terremoto azota toda la costa chilena (20 de febrero de 1835). ★

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

DARWIN y su terremoto EN CHILE

Entre resplandores y humos,
exorcismos olvidados,
la indiada 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 gesticula
con relámpagos y truenos.

De pronto, le salen grandes
voces y por sus costados
baja un caupolicánico
furor de Dios embridado
y colérico y su bulto
parpadea de relámpagos
y el gentío de su reino,
que lo tenía olvidado,
se acuerda de su demiurgo
y el hervor de su Centauro.

**Extracto de
VOLCÁN DE VILLARRICA
Gabriela Mistral**

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.

CONOCER y PREVENIR



EL PROYECTO
KOLA

1

P. 183

EL TERREMOTO
DE VALDIVIA Y LA
MÚSICA DE LA
TIERRA

2

P. 181

LA CIENCIA Y
EL TERREMOTO
DEL MAULE

3

P. 179

PREVENIR PÉRDIDAS
HUMANAS Y
MATERIALES

4

P. 175

1

EL PROYECTO KOLA

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

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

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

Todavía no existen las tecnologías para penetrar mucho más allá de lo realizado por el proyecto KOLA y no se vislumbra, 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.



REGISTRO DEL
ABANDONADO
PROYECTO KOLA.

2

EL TERREMOTO DE VALDIVIA Y LA MÚSICA DE LA TIERRA

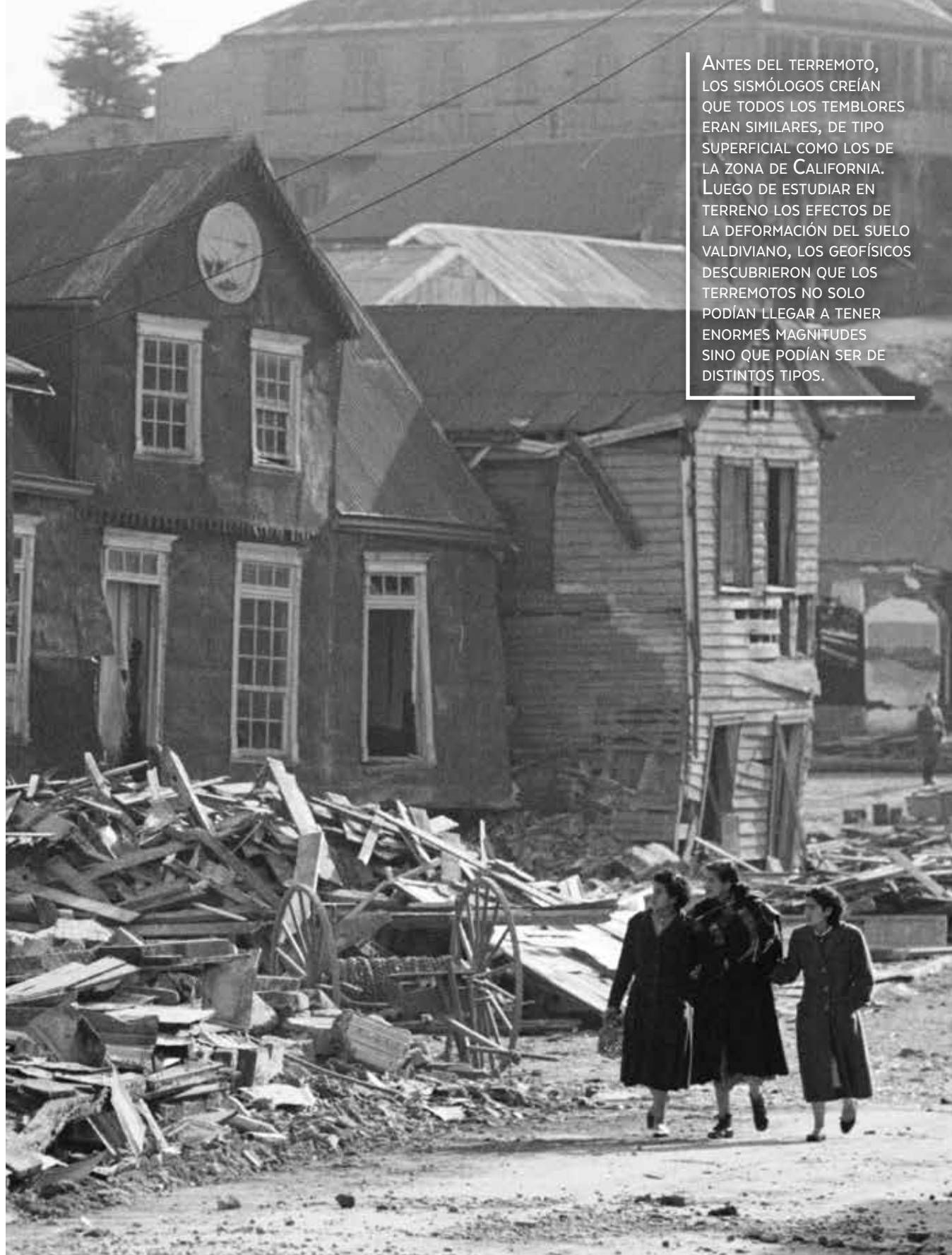
A comienzos de 1960, los geofísicos y sismólogos habían desarrollado los modelos teóricos y los instrumentos sismológicos para observar la composición interna de la Tierra, a partir de los registros de oscilaciones provocadas por la liberación súbita de energía en algún punto del globo. Estos registros 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.



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.

194

189

4

3

2

1

CONOCER Y PREVENIR

3

LA CIENCIA Y EL TERREMOTO DEL MAULE

Los sismólogos y geofísicos constituyen redes de colaboración que complementan sus estudios, observaciones y verificaciones y construir 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 tsunامي. 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



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



¿PREDICIENDO TERREMOTOS?

2002

KAUSEL, BARRIENTOS & 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 sismógrafos 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 decían: "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 debiera 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.

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 sismólogos 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 sismólogos llaman una situación de deformación crítica.



4

PREVENIR PÉRDIDAS HUMANAS Y MATERIALES

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.

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 CUÁLES SON LAS NORMAS DE CONSTRUCCIÓN QUE AYUDARÍAN A PREVENIR DESPLOMES DE VIVIENDAS E INFRAESTRUCTURA.

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,

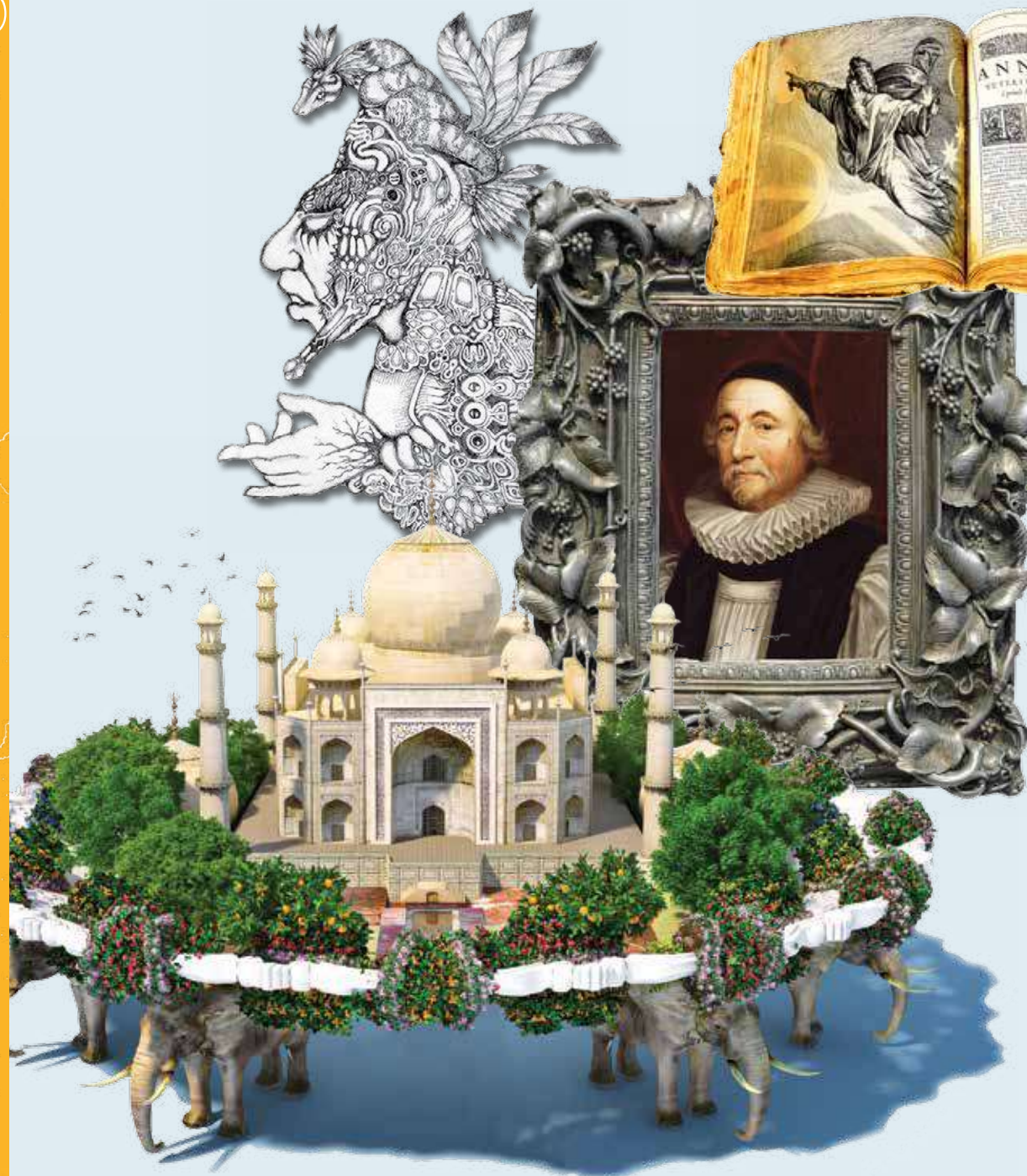
los movimientos que se pueden producir y la magnitud que podrían alcanzar. Una vez que se ha identificado el posible escenario, un ingeniero estructural transforma esa información científica en una respuesta tecnológica apropiada para hacer frente a esa amenaza, y establece las características que debe 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.

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. ★



TERREMOTO 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.



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 metáforas 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, el arzobispo anglicano, James Ussher, reconstituyendo los hitos

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

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 ganso 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. ★

Caicai Vilú habitaba en la profundidad de los mares y observaba con enojo cómo los seres humanos maltrataban 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 subiendo empezó a levantar la tierra, creando cerros y volcanes.

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. ★

CAICAI y TENTÉN, EL AGUA Y LA TIERRA

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

HACE 20 MILLONES DE AÑOS, UN MONITO ASUSTADO

Hace 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.

Hacía 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 destruyendo las partes blandas y solidificándose 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 sílice, más dura y resistente, pero conservando la estructura original del cráneo.

EN LA ACTUALIDAD: CHILECEBUS 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, recorrían 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 extrayendo 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 MONITO SE ALIMENTABA DE HOJAS Y FRUTAS; EL GRAN TAMAÑO DE LA CAVIDAD OCULAR INDICABA QUE ERA DE HÁBITOS CREPUSCULARES Y ANALIZANDO LAS CAPAS GEOLÓGICAS QUE RODEABAN EL HALLAZGO DETERMINARON DE MANERA BASTANTE PRECISA CÓMO ERA EL MEDIO AMBIENTE EN QUE VIVIÓ Y MURIÓ EL *CHILECEBUS CARRASCOENSIS*. ★

un PRIMATE ChILENO

Cuando 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.

Extracto de
DÍAS TRISTES / DÍAS FELICES
Efraín Barquero

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, VEÍA 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.

DIEGO y su DINOSAURIO

UNA GRAN
TENTACIÓN

1

P. 165

COLABORACIÓN PARA
RESOLVER EL
ROMPECABEZAS

2

P. 163

IMPACTO
CIENTÍFICO
MUNDIAL

3

P. 159

1

UNA GRAN TENTACIÓN

En 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 valiosa información sobre lo sucedido en esa región hace millones de años.

Los hermanos se alejaron para realizar sus propias búsquedas. Diego, con una parka azul y pantalón corto amarillo, una libreta para tomar notas de sus descubrimientos y su picota.

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.



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.

2004

DESCUBRIMIENTO

DINOSAURIO CHILENO

DIEGO SUÁREZ

2010

COLABORACIÓN CIENTÍFICA

LOS PALEONTÓLOGOS ARGENTINOS
Y CHILENOS DETERMINAN QUE SON
PIEZAS DE UN MISMO DINOSAURIO

**FERNANDO NOVAS,
MARCELO ISASI
Y DAVID RUBILAR**

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.

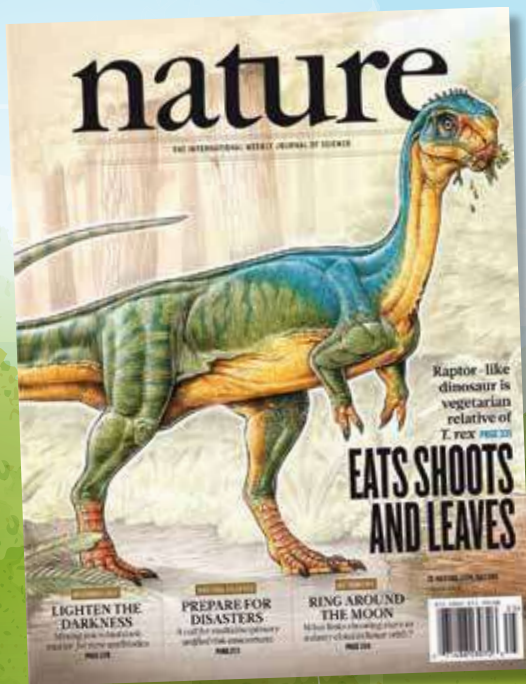
2015

CONCLUSIÓN

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

COLABORACIÓN NIVEL: CONO SUR





DINOSAURIO

CHILESAURUS

DIEGOSUAREZI

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

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

Brazos robustos

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

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

LOS INVESTIGADORES LOGRARON RECONSTRUIR CUATRO ESPECÍMENES

que representan distintas etapas de desarrollo, desde juveniles hasta adultos.

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 saurópodos y los ornitisquios.

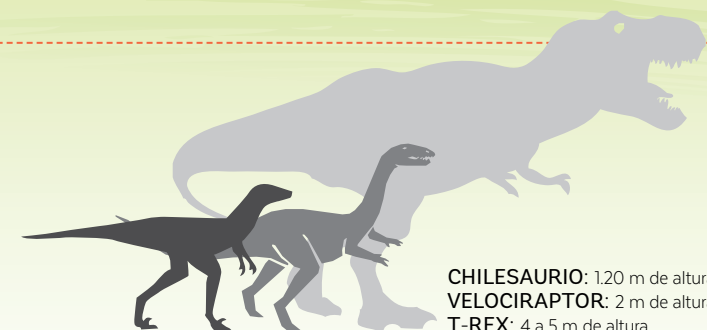
ESTE HALLAZGO ES MUY IMPORTANTE PARA CHILE

porque hasta ahora no había registros de dinosaurios del período Jurásico en el país.



ALIMENTACIÓN HERVÍBORA

Por la estructura dental.



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

150

3

IMPACTO CIENTÍFICO MUNDIAL

En junio de 2015, *Nature*, la revista de ciencia más prestigiosa del mundo, dedicó su portada al chilesaurio, 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 chilesaurio. 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 corresponderían a una familia que quedó aislada en un pedazo de tierra que fue rodeado por agua durante una gran inundación...

La historia del chilesaurio 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



UNA REPRODUCCIÓN A ESCALA DEL ESQUELETO DEL CHILESAURIO.

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

...Cinco miradas
Para volver a encender las estrellas
Apagadas 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
Árboles del bosque
Diez miradas
Para ver la belleza que se presenta
Entre un sueño y una catástrofe.

Extracto de
UNA MIRADA PARA ABATIR AL ALBATROS
Vicente Huidobro

UN TESORO
ESCONDIDO.
EL SILESAURIO
OCULTO

LA RIQUEZA DE
CERRO BALLENA

1 2

P. 155

P. 153

1

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 hasta que fue redescubierto en 2010 por David Rubilar, jefe de Paleontología del Museo Nacional de Historia Natural, en Santiago, 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.

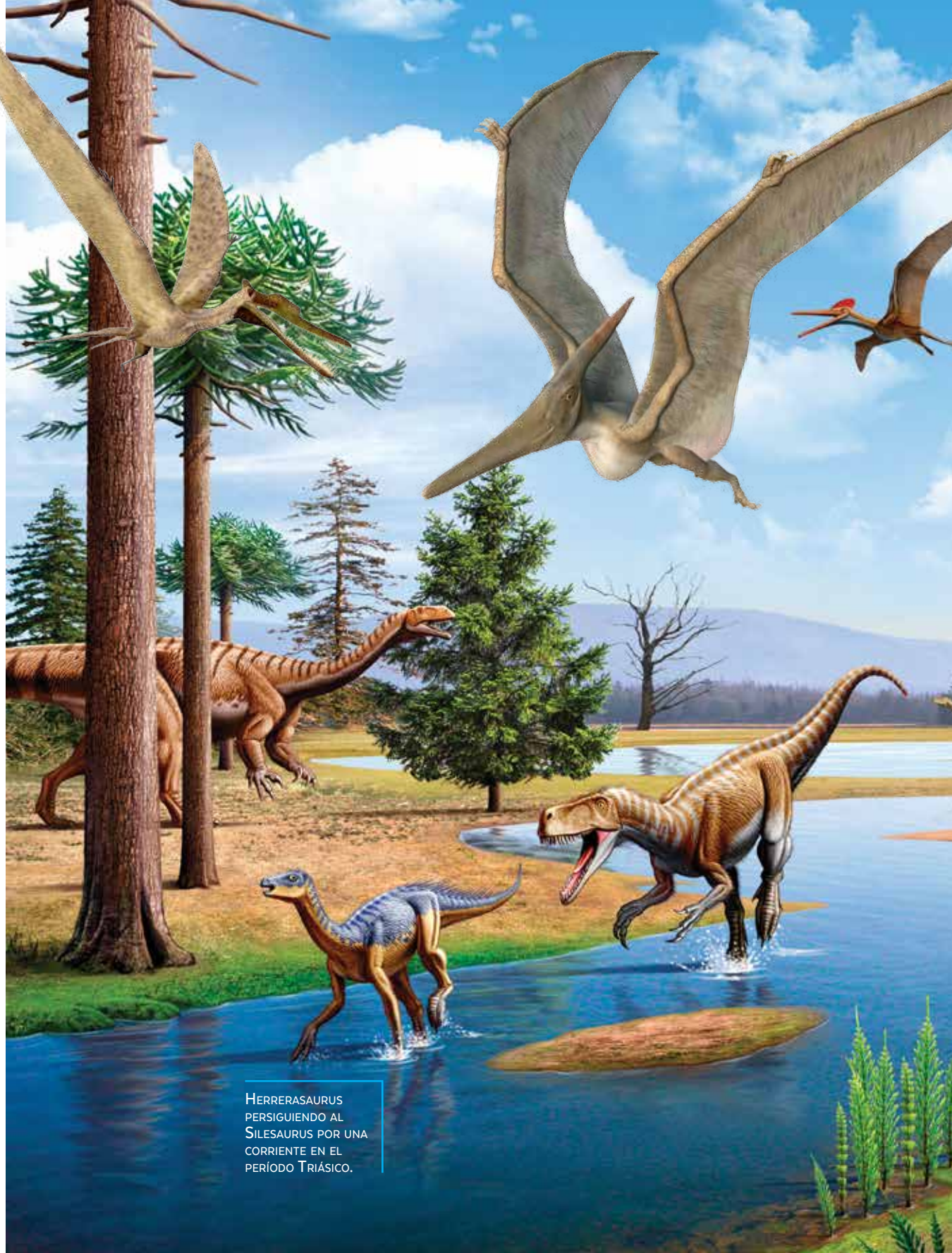
Se cree que fue bípedo facultativo, o sea, que a veces se sostenía en las patas traseras, lo que constituye un antecedente de evolución que más tarde aparecería en los dinosaurios.

No se sabe la fecha ni el lugar exacto del descubrimiento del *Pelagornis 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 REPATRIADOS 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 Pelagornithidae, cuyos restos se han descubierto en casi todo el mundo, y habitaba entre 60 y 3 millones de años atrás.

Los pelagornítidos, 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 *Pelagornis 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.



HERRERASAURUS
PERSIGUIENDO AL
SILESAURUS POR UNA
CORRIENTE EN EL
PERÍODO TRIÁSICO.

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 podía 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.

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.

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.

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 CÓMO 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. ★



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



ANEXO

LA 2 TIERRA

ÍNDICE FOTOGRAFICO

273-272 Impresión artística de la Tierra y las estrellas. (Trieff/SHUTTERSTOCK)

269 IRAS 13481-6124, es la primera estrella masiva joven donde los astrónomos 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. (Ruslan Grechka/SHUTTERSTOCK)

256 Reptil de Tenerife, Islas Canarias. (Fabio camandona/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 pegándose 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 Atacama. (abogdanska/SHUTTERSTOCK)

231-230 Ilustración volcán. (Den Zorin/SHUTTERSTOCK)

228 Cráter del volcán Láscar, región de Antofagasta. (Anderl/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 *Tiembra la Colonia*. (José Pozo)

197 Microscopio. (SHUTTERSTOCK)

195 Portada Diario *La Nación* luego del terremoto de Valdivia, 1960. (Archivo La Nación/AFP)

194 Casa destruida 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 Daly 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 / @territorialagency.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 Muhr)

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 Lely, 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 Georgiev/ SHUTTERSTOCK)

173 Annales Veteris Testamenti, página 1 de James Ussher. (disponible bajo la licencia Dominio público vía Wikimedia Commons)

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 Caicai y Tentén, mito de la cosmología Mapuche. (Ximena Morales Sanhueza)

169-168 Ilustraciones 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 *Chilesaurio diegosuarezi*. (Felipe Muhr)

161-160 Ilustración chilesaurio. (Felipe Muhr)

158 Reproducción a escala del esqueleto del chilesaurio. (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 período 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 Período Devónico, de 419 a 358 millones de años atrás. (crédito:Credit: AuntSpray/ SHUTTERSTOCK)

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 Geositos

Listado de sitios en Chile que contienen objetos de valor geológico que vale preservar.

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.

LINKS A ENTREVISTAS Y MATERIAL AUDIOVISUAL

Biblioteca del Congreso Nacional

II 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.

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.

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 Chavarria, postdoctorado, 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

