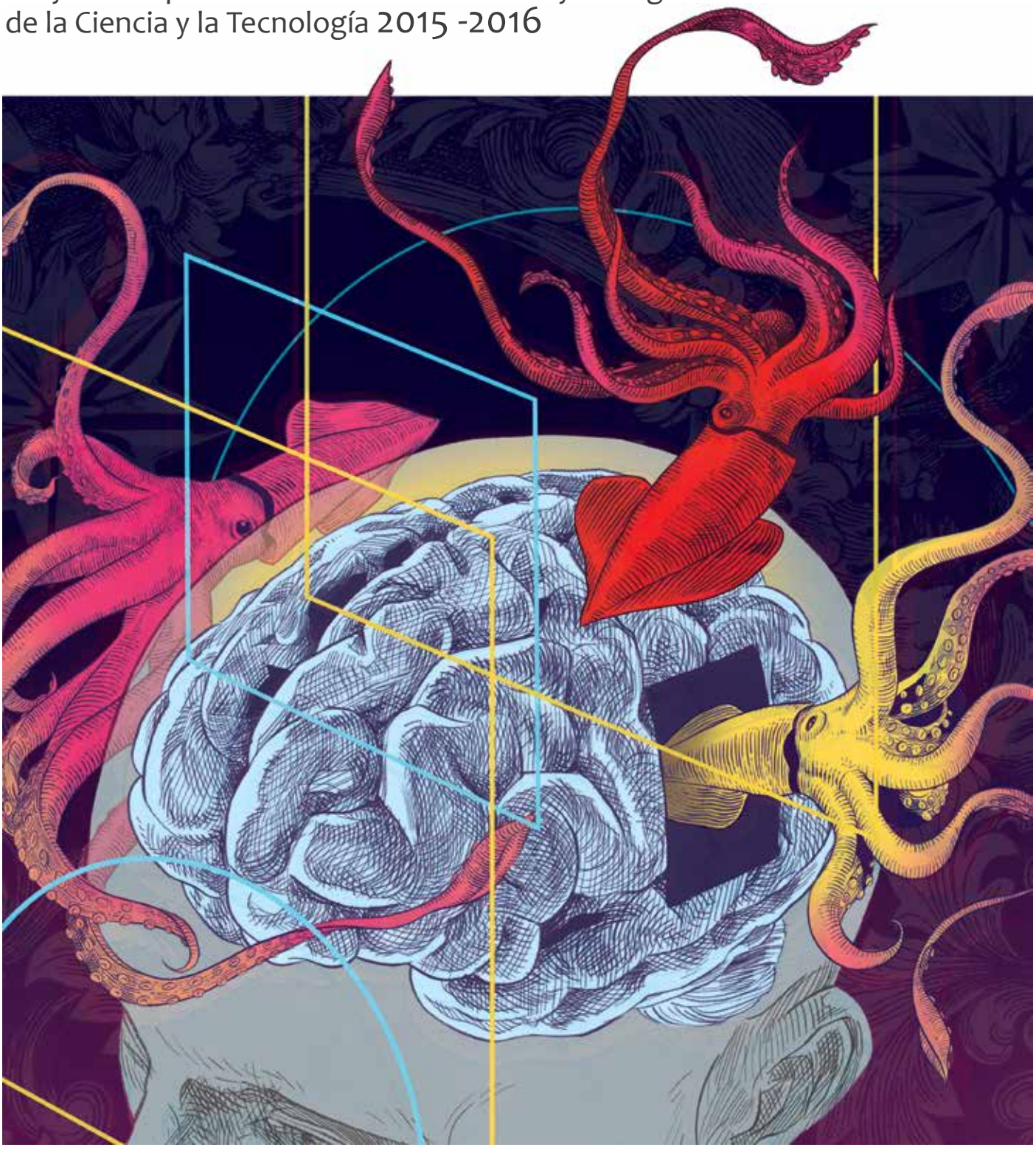
MENTES TRANSFORMADORAS

Proyecto Explora CONICYT de Valoración y Divulgación
de la Ciencia y la Tecnología 2015 -2016



CONICYT Ministerio de Educación Gobierno de Chile
explora Un Programa CONICYT
BNI CHILE
LOLIGO
hhmi BioInteractive
FACULTAD DE MEDICINA UNIVERSIDAD DE CHILE

Este libro fue desarrollado como parte del proyecto “Sumérgete en la ciencia: taller de habilidades” en el marco del XX Concurso de Proyectos Explora de Valoración y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología, adjudicado al Instituto de Neurociencia Biomédica (BNI).

El Instituto de Neurociencia Biomédica es financiado por la Iniciativa Científica Milenio.

MENTES TRANSFORMADORAS

Prefacio

Promover la valoración por las investigaciones realizadas en nuestro país, destacando su real impacto y relevancia, es esencial para fortalecer la ciencia nacional. **Mentes Transformadoras** es un texto que pretende acercar la ciencia hecha en Chile a la comunidad, profesores y estudiantes.

Mejorar la calidad de la educación científica es esencial para el desarrollo social de nuestro país. Solo así podremos favorecer la formación de ciudadanos con pensamiento crítico y capaces de cuestionarse la realidad, agentes de cambio que serán esenciales para el desarrollo de una sociedad más inteligente y sana. Esa es nuestra visión y queremos compartirla con ustedes.

Créditos

Director creativo:
Rodrigo Tapia Seaman

Director de contenidos:
Rodrigo Tapia Seaman

Entrevistas y redacción:
Mariana Ramírez

Colaboración textos:
Francisca Julve

Diseño y diagramación:
Jeannette Zárate

Ilustraciones:
Gianfranco Giordano

Infografías:
Felipe Serrano

Actividades científicas:
Gabriela Martínez
Tamara Garcia
Rodrigo Tapia

Entrevistados:
Marcelo Leppe
Manuel Suárez
Diego Suárez
David Rubilar
Juan Carlos Torres-Mura
Francisco Rothhammer
Lucía Cifuentes
Pilar Carvallo
Flavio Salazar
María Soledad Matus
Andrés Couve
Gabriel León
Miriam Fernández
Mario Pino
Lohengrin Alexis Cavieres

EQUIPO DE PROYECTO

Director:
Rodrigo Tapia Seaman

Director Alterno:
Andrés Couve

Asesor Científico:
Pedro Maldonado

Asesora Pedagógica:
Karin González

Asistente Pedagógica:
María Fernanda Álvarez

Producción y gestión:
Carolina Cubillos

Difusión:
Valentina Vío

Agradecimientos:
Carlos Pardo
Ana Timmermann
Katherine Miranda
Gabriela Martínez
Jennifer Bricken
Javier Robalino
Marjee Chmiel
Jorge Jara
Eliana Pino
Roxana Nahuelcura
Sandra Gaete
Javiera Acevedo
Carolina Astudillo
Luis Osorio
María Belén Aburto
Sergio Vicencia
Pablo Cabrera
John Alex Córdova
Nicole Rogers

Indice

Metodología indagatoria: del laboratorio al aula	8
Las habilidades de la ciencia	10
Nuestro mundo web	12
Un puente a la Antártica	14
El dinosaurio del fin del mundo	24
El picaflor de Juan Fernández	34
Los genes chilenos	42
El cáncer de mama en Chile	50
La vacuna contra el cáncer	58
La enfermedad de Stephen Hawking	66
Los cables de nuestro cuerpo	74
Plantas a la medida	84
Penurias bajo el mar	94
Tras los pasos monteverdinos	102
El impacto del cambio climático	110

Metodología indagatoria: del laboratorio al aula

Contar con ciudadanos capaces de resolver problemas cotidianos, de pensar críticamente y aportar a la sociedad donde se desenvuelven es la gran tarea de la educación. El reto no es menor: ¿cómo logramos que nuestros alumnos desarrollen las habilidades necesarias para desenvolverse en este mundo cambiante?

Una aproximación es estimular las destrezas que provienen del mundo de las ciencias o, en otras palabras, hacer propia la metodología indagatoria tan característica del quehacer científico. La enseñanza de la ciencia basada en la indagación busca que el o la estudiante desarrolle un pensamiento científico lógico y crítico basado en el razonamiento, la argumentación, la experimentación, la comunicación y la adecuada utilización de la información (Everaert Maryssael, 2016).

En Chile, el currículum se ha enfocado en la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación (ECBI) gracias a un esfuerzo sistemático de diversas instituciones nacionales e internacionales para implementar este programa en el país.

El enfoque del Programa ECBI es sistémico y comprende intervención en diversas áreas de la educación, como: el currículum, desarrollo profesional, materiales educativos, evaluación y participación de la comunidad (Devés y Reyes, 2007). Como proyecto, participamos activamente en las diferentes áreas, capacitando a profesores de todo Chile y entregando gran cantidad de material educativo adecuado al currículum en ciencias basado en la indagación.

Las etapas

El programa ECBI propone cuatro etapas para desarrollar la indagación científica en el aula. Supone un ciclo de aprendizaje basado en la secuencia recurrente de las siguientes fases:

1. Focalización: En esta etapa es fundamental propiciar el interés y la motivación de los estudiantes, basándose en la contextualización de un problema o situación. En esta instancia es donde los estudiantes comparten sus ideas, se hacen preguntas y predicen resultados. Su desarrollo deber ser de manera individual, a modo de extraer los conocimientos y concepciones previas de cada uno de los estudiantes sobre el tema tratado, para así realizar las modificaciones o adecuaciones pertinentes en la planificación de la clase.

Pongamos por ejemplo que se quiere abordar la biología del color de piel en humanos. La focalización podría consistir en preguntar a los estudiantes por qué creen que las personas tenemos distinto color de piel, si todos compartimos el color rojo de la sangre y la tonalidad blanca de los huesos.

2. Exploración: Esta es la fase desarrollada por los estudiantes en función de resolver un problema o pregunta. Para esto realizan observaciones, experimentan, registran sus resultados y fundamentan sus ideas. Es importante que los estudiantes elaboren sus procedimientos de forma grupal y el docente sirva solo de guía, permitiendo la argumentación, razonamiento y confrontación de sus puntos de vista.

Continuando con el ejemplo anterior, se podría introducir el tema de la radiación solar, y abordar la siguiente pregunta: "¿Existe una conexión entre la radiacion UV y el color de piel?" Entregando datos a los estudiantes para que realicen un análisis, sin otorgar la respuesta pues serán los estudiantes los encargados de buscarla.

3. Reflexión: Es el momento que requiere una participación activa por parte de los estudiantes, analizando la relación entre sus predicciones y los resultados observados, para formular sus propias conclusiones. El docente, por su parte, debe estar atento para introducir términos y conceptos que considere adecuados, mediar para que el estudiante reflexione y analice detalladamente sus conclusiones, utilizando preguntas que las cuestione, finalmente ayudando a consolidar los aprendizajes.

4. Aplicación y Evaluación: Es la confirmación del aprendizaje. En ella, el estudiante debe ser capaz de utilizar el aprendizaje recientemente adquirido para resolver un problema nuevo o extrapolar el aprendizaje a eventos cotidianos, generando pequeñas investigaciones o extensiones del trabajo experimental (Uzcátegui y Betancourt, 2013).

Revista Pensamiento Educativo 41 (2), 117-118.

- **EducarChile (2008).** "Metodología indagatoria para aprender ciencia". [Documento en línea]. Disponible: http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx? ID=186632. [Consulta: 2011, Mayo 08]
- **Everaert Maryssael, C. (2016).** "La Indagación y las teorías sobre el aprendizaje", Antología sobre la Indagación, teorías y fundamentos de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación 1ra edición, 9-10.
- **Harlen, W. (2016).** "Fundamentos e implementación de la Enseñanza de la Ciencia Basada en la Indagación" Antología sobre la Indagación, teorías y fundamentos de la enseñanza de la ciencia basada en la indagación 1ra edición, 22-24.
- **Uzcátegui, Y. y Betancourt, C. (2013).** "La metodología indagatoria en la enseñanza de las ciencias: una revisión de su creciente implementación en educación básica y media", Revista de Investigación 78 (37), 117-119.
- **Watkins, C. (2013).** Learning: A Sense-marker´s Guide. London: Association of Teachers and Lecturers.

Las habilidades de la ciencia

¿Cómo se puede favorecer la alfabetización científica y tecnológica en el aula? ¿Qué habilidades debemos fomentar en nuestros estudiantes para que sepan analizar el mundo con una mirada crítica? Hace ya algún tiempo, tanto a nivel nacional como mundial, se pone el énfasis en vincular la naturaleza de la ciencia con el currículum educativo, justamente, para que podamos formar alumnos y alumnas con habilidades para el siglo que les toca vivir.

Pero, ¿cuál es la naturaleza de la ciencia? Los conceptos asociados son diversos, pero algunas ideas esenciales que debemos traspasar a nuestros estudiantes, y que constituyen una base sobre la cual trabajar, son las siguientes:

- El conocimiento está basado en evidencia empírica.
- El conocimiento científico está sujeto a constante revisión y a modificaciones según las nuevas evidencias.
- El conocimiento se construye progresivamente mediante procedimientos replicables.
- En ciencias, los fenómenos pueden tener una o más causas.
- Las explicaciones, teorías y modelos científicos son los que mejor dan cuenta de los hechos conocidos en su momento histórico.
- Diversas tecnologías usan el conocimiento científico para crear productos útiles la humanidad.

Estas ideas, como se podrá apreciar, pueden aplicarse a distintas asignaturas. Esta versatilidad va en línea con las bases curriculares, que buscan trabajar temas transversales en ciencia para obtener una visión integrada de los conocimientos.

Es lo que se ha definido como **grandes ideas de la ciencia** (Harlen, 2012): las ideas clave que permiten explicar, comprender y analizar fenómenos naturales. Esta perspectiva logra vincular experiencias cotidianas con conceptos científicos, promoviendo a su vez la alfabetización científica y la comprensión de conceptos cada vez más complejos.

¿Cuáles son las **grandes ideas de la ciencia**? Son las siguientes:

1. Toda materia en el Universo está compuesta por partículas muy pequeñas.

2. Los objetos pueden afectar a otros objetos a distancia.

3. El cambio de movimiento de un objeto requiere que una fuerza neta actúe sobre él.

4. La cantidad total de energía en el Universo siempre es la misma pero durante un suceso puede transferirse de un depósito de energía a otro.

5. La composición de la Tierra y de la atmósfera y los fenómenos que ocurren en ellas le dan forma a la superficie terrestre y determinan el clima del planeta.

6. Nuestro Sistema Solar constituye una pequeña parte de una entre miles de millones de galaxias en el universo.

7. Los organismos están organizados a partir de células y tienen una vida finita.

8. Los organismos necesitan un suministro de energía y de materiales de los cuales con frecuencia dependen y por los que compiten con otros organismos.

9. La información genética se transmite de una generación de organismos a otra.

10. La diversidad de organismos, tanto vivos como extintos, proviene de la evolución.

Esto no es todo. Vincular la naturaleza de la ciencia con el currículum implica poner en el centro de los procesos de enseñanza y aprendizaje el desarrollo de habilidades y procesos de la investigación científica. Con este fin se incluyen las habilidades científicas como objetivos de aprendizaje que se relacionan con el proceso de investigación científica (MINEDUC, 2013). Se agrupan en cinco etapas:

Observar y plantear preguntas: Basado en la observación y en conocimientos científicos, el estudiante genera argumentos para plantear predicciones a las preguntas de investigación, e identifica y estudia las variables del problema.

Planificar y conducir una investigación: Para contestar las preguntas planteadas, los estudiantes deben planificar o diseñar la investigación. Esto requiere precisar la pregunta, sus variables y la forma que tendría una respuesta satisfactoria y comprobable.

Procesar y analizar la evidencia: Una vez realizada una investigación, los estudiantes deben procesar la evidencia obtenida, organizando y presentando los datos cuantitativos o cualitativos en tablas, gráficos, modelos u otras representaciones. Una vez procesada la evidencia, debe ser analizada e interpretada; esto significa identificar relaciones, patrones y tendencias para extraer conclusiones y realizar comparaciones.

Evaluar: Una parte fundamental del proceso de investigación científica es evaluar la validez y la confiabilidad de los resultados obtenidos. Esto implica que los estudiantes deben revisar los procedimientos que utilizaron y los perfeccionen si fuese necesario.

Comunicar: La comunicación es una habilidad transversal a todas las disciplinas de estudio por su aplicación a la vida cotidiana. Para comunicarse de modo claro y preciso, los estudiantes deben usar un lenguaje que incluya el vocabulario científico pertinente y aprender a usar recursos de apoyo para facilitar la comprensión (tablas, gráficos, modelos, TIC). También deben aprender a discutir entre sí.

Al igual que las habilidades, se ha incorporado al currículum las actitudes que se desarrollan en el trabajo de la ciencia, orientadas al desarrollo social y moral de los estudiantes:

Mostrar curiosidad, creatividad e interés por conocer y comprender los fenómenos del entorno natural y tecnológico, valorando la importancia del conocimiento científico para el desarrollo de la sociedad.

Esforzarse y perseverar en el trabajo personal entendiendo que los logros se obtienen solo después de un trabajo riguroso.

Trabajar responsablemente en forma proactiva y colaborativa, considerando y respetando los variados aportes del equipo.

Manifestar una actitud de pensamiento crítico, buscando rigurosidad y replicabilidad de

las evidencias para sustentar las respuestas, las soluciones o las hipótesis.

Usar de manera responsable y efectiva las tecnologías de la comunicación para favorecer las explicaciones científicas y el procesamiento de evidencias, dando crédito al trabajo de otros y respetando la propiedad y la privacidad de las personas.

Demostrar valoración y cuidado por la salud y la integridad de las personas, evitando conductas de riesgo y tomando conciencia de las implicancias éticas de los avances científicos y tecnológicos.

Reconocer la importancia del entorno natural y sus recursos, y manifestar conductas de cuidado y uso eficiente de los recursos naturales y energéticos.

Demostrar valoración e interés por los aportes de hombres y mujeres al conocimiento científico.

Referencias

- **Harlen, W. (ed). (2012).** Principios y grandes ideas de la educación en ciencias. Santiago, Chile: Academia Chilena de Ciencias.
- **Harlen, W. (ed). (2015).** Trabajando con las Grandes Ideas de la Educación en Ciencias. La Red Global de academias de Ciencia. Italia.
- **MINEDUC, Chile. (2013).** Bases Curriculares en ciencias naturales.
- **MINEDUC, Chile. (2015).** Nuevas Bases Curriculares y Programa de Estudio, 7° y 8° año de Educación Básica/ 1° y 2° año de Educación Media.
- **Adúriz Bravo, A. (2005).** Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.

Nuestro mundo web

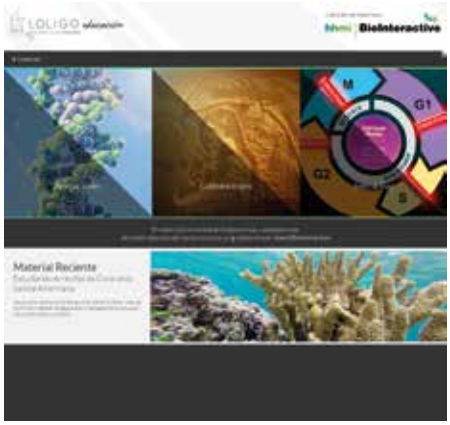
Entusiasmar, estimular la curiosidad, promover el gusto por el aprendizaje, contagiar el espíritu de indagación en el aula. Todo esto, y más, es lo que hemos buscado con el desarrollo de este nuestro Proyecto Explora "Sumérgete en la ciencia: Taller de habilidades".

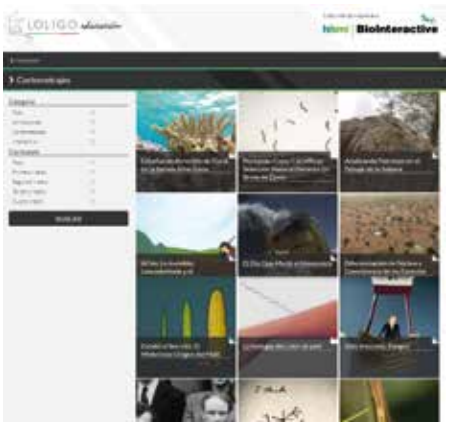
Para lograrlo, recurrimos a distintos especialistas, soportes y plataformas, conscientes de que la enseñanza debe tener en cuenta la diversidad de estudiantes, y las herramienta que entrega el mundo actual. En este sentido, el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) era imprescindible.

Nuestro proyecto se basó en el material digital producido por Howard Hughes Medical Institute, una organización privada norteamericana, sin fines de lucro, dedicada a la investigación y educación científica. Mediante un acuerdo con nuestro instituto, accedimos al material en español que han desarrollado, y lo ofrecemos hoy a través de nuestra plataforma: LOLIGO-Educación (www.loligo.cl/educacion).

En este sitio presentamos tres categorías básicas de contenido: animaciones, cortometrajes, y lo que llamamos "interactivo" –actividades que requieren del *feedback* del usuario. Todo el material está íntimamente relacionado entre sí: una animación puede llevar a una actividad interactiva, o viceversa. La navegación es sencilla y permite pasar de una categoría a otra de forma intuitiva.

En vista de que, además, hemos buscado vincular este material al aula, es posible buscar específicamente el material asociado a los distintos niveles de enseñanza según el currículum. Así, por ejemplo, basta con señalar que se desea un cortometraje para Segundo Medio, y se obtienen los resultados.





El método científico

Dentro del contenido que ofrecemos en el sitio, los cortometrajes destacan porque se estructuran de la misma forma que el método científico: entregan información relevante de manera que los estudiantes van descubriendo poco a poco los componentes de la investigación.

Para profundizar en este proceso de aprendizaje, se acompaña el material audiovisual con guías de trabajo que permiten ahondar en los conocimientos y habilidades a través del trabajo en clases. Ofrecemos dos tipos de guías: para el profesor y el estudiante, que se pueden descargar directamente desde la página de la película correspondiente. Como es habitual, la guía docente entrega respuestas e información para guiar el desarrollo de la actividad en el aula.

Estas guías fueron elaboradas especialmente para los cortometrajes, centradas en investigaciones reales, y adaptadas a las necesidades nacionales: durante la ejecución de este proyecto, se hizo el trabajo de conectar las guías con el currículum nacional. Además, las estructuramos según las fases del método indagatorio, de manera que todo este proyecto conversa con la metodología que promueve el Ministerio de Educación.

UN PUENTE A LA ANTÁRTICA

INTRODUCCIÓN

A principios del siglo XIX, una pregunta se instaló en la cabeza de los naturalistas europeos: ¿por qué continentes tan separados como Australia y Sudamérica tenían tantas especies en común? Los científicos se cuestionaban escenas que les parecían contradictorias: ¿Por qué regiones con climas casi idénticos prácticamente no compartían flora y fauna, pero otros con pocas similitudes sí lo hacían?

Dos teorías se enfrentaron entonces: por un lado, unos aseguraban que las especies habían migrado de un lado a otro, sobrepasando barreras como océanos y montañas, y que eso explicaba que existieran semejanzas entre tierras lejanas.

Por otra parte, surgieron los que aseguraban que tanto la flora como la fauna se habían desplazado a través de puentes terrestres y continentes actualmente sumergidos. El asunto quedó zanjado a mediados del siglo XX, cuando se creyó tener la respuesta en la teoría de tectónica de placas.

Hoy, sin embargo, surgen nuevas evidencias que le otorgan al cambio climático un rol protagonista en el desplazamiento y evolución de las especies. Algunas de esas evidencias se encuentran en territorio chileno, e involucran fósiles de hojas y la Antártica.

FOCALIZACIÓN

Considerando esta información, ¿qué opinas? ¿Cómo crees que era el planeta hace millones de años? ¿Los continentes habrán estado en el mismo lugar?

EXPLORACIÓN

Lee las afirmaciones en el cuadro provisto antes de leer el texto. Analiza cada afirmación y decide si es verdadera o falsa. En la columna "Antes", encierra V o F para indicar tu elección. (No se espera que sepas todas las respuestas en esta instancia; solo marca la que consideres correcta según tus conocimientos).

Antes	Después	Afirmación
V / F	V / F	1. Hace millones de años todos los continentes se encontraban unidos formando un supercontinente.
V / F	V / F	2. Charles Darwin indicaba que las especies se originaban en una sola localidad y luego migraban largas distancias.
V / F	V / F	3. La teoría de la deriva continental indica que desde los inicios los continentes estaban separados.
V / F	V / F	4. Los terremotos se generan por el roce de la corteza terrestre que se mueve sobre un estrato de roca líquida.
V / F	V / F	5. Hace millones de años la Antártica no era como la conocemos hoy, era un terreno verde y boscoso.
V / F	V / F	6. Muchas especies de árboles del sur de Chile provienen de la Antártica.

¿Cómo se movieron las especies por la Tierra?

Las distintas teorías que surgieron durante los siglos XIX y XX no son necesariamente opuestas. Explican diferentes aspectos de la evolución, y en su conjunto sirven para entender un poco mejor el panorama.

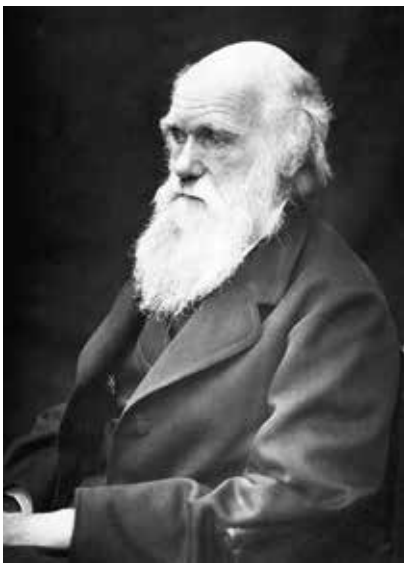
Mediados del siglo XIX: "Extensionistas" versus "dispersionistas"

En 1839, el botánico inglés Joseph Dalton Hooker emprendió una aventura de exploración que le cambiaría la vida. Durante cuatro años navegó junto a las tripulaciones del Erebus y del Terror por la Antártica, Tierra del Fuego, Australia, Tasmania y Nueva Zelandia.

Joseph Dalton Hooker

A lo largo de ese viaje recolectó información botánica que publicó más tarde en una serie de volúmenes llamado Flora Antarctica. Después de haber analizado nada menos que 1767 plantas, anotó: "hay muchas más plantas en común entre la mayoría de los países, que las que suponemos". Aseguró que era virtualmente imposible que tantas especies hubieran atravesado distancias tan largas, por sobre mares y montañas. Su teoría era que la flora del hemisferio sur se había diseminado en el pasado "sobre un pedazo de tierra más grande y continuo que el que ahora existe en el océano". Es decir, esa parte del planeta habría estado unida por terrenos hoy sumergidos.

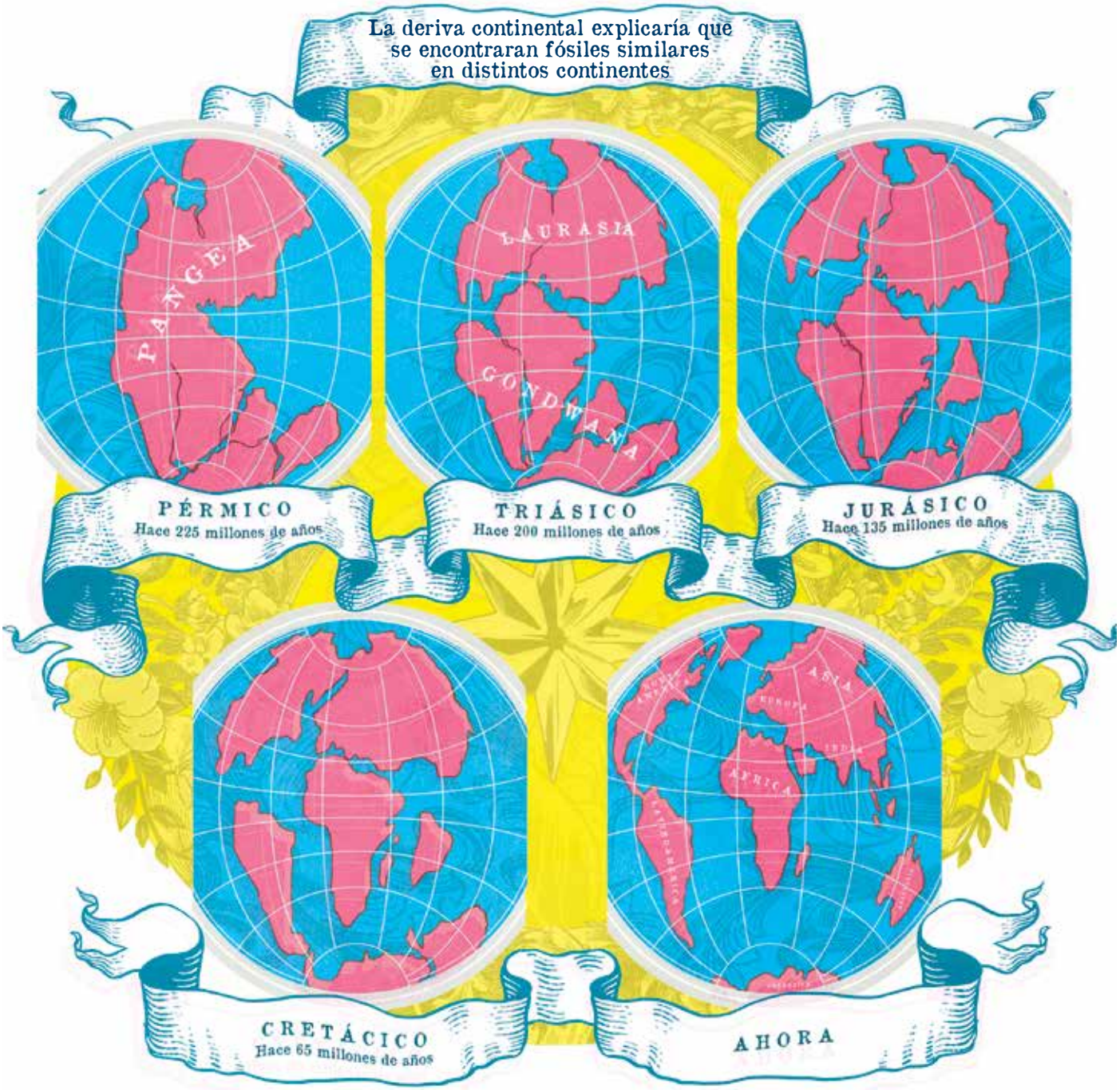
En ese entonces, el postulado de Hooker fue bastante controvertido. Incluso su amigo, el famoso naturalista Charles Darwin, sostuvo la teoría contraria: que la distribución de estas especies emparentadas se debía al proceso de migración a larga distancia a partir del hemisferio norte. Sin ir más lejos, en El Origen de las Especies, Darwin defendía la hipótesis de que cada especie se originaba a partir de un par de individuos, en una sola localidad, desde donde se dispersaba. Sostenía, además, que los principales rasgos de la superficie terrestre habían permanecido invariables en el pasado geológico reciente.

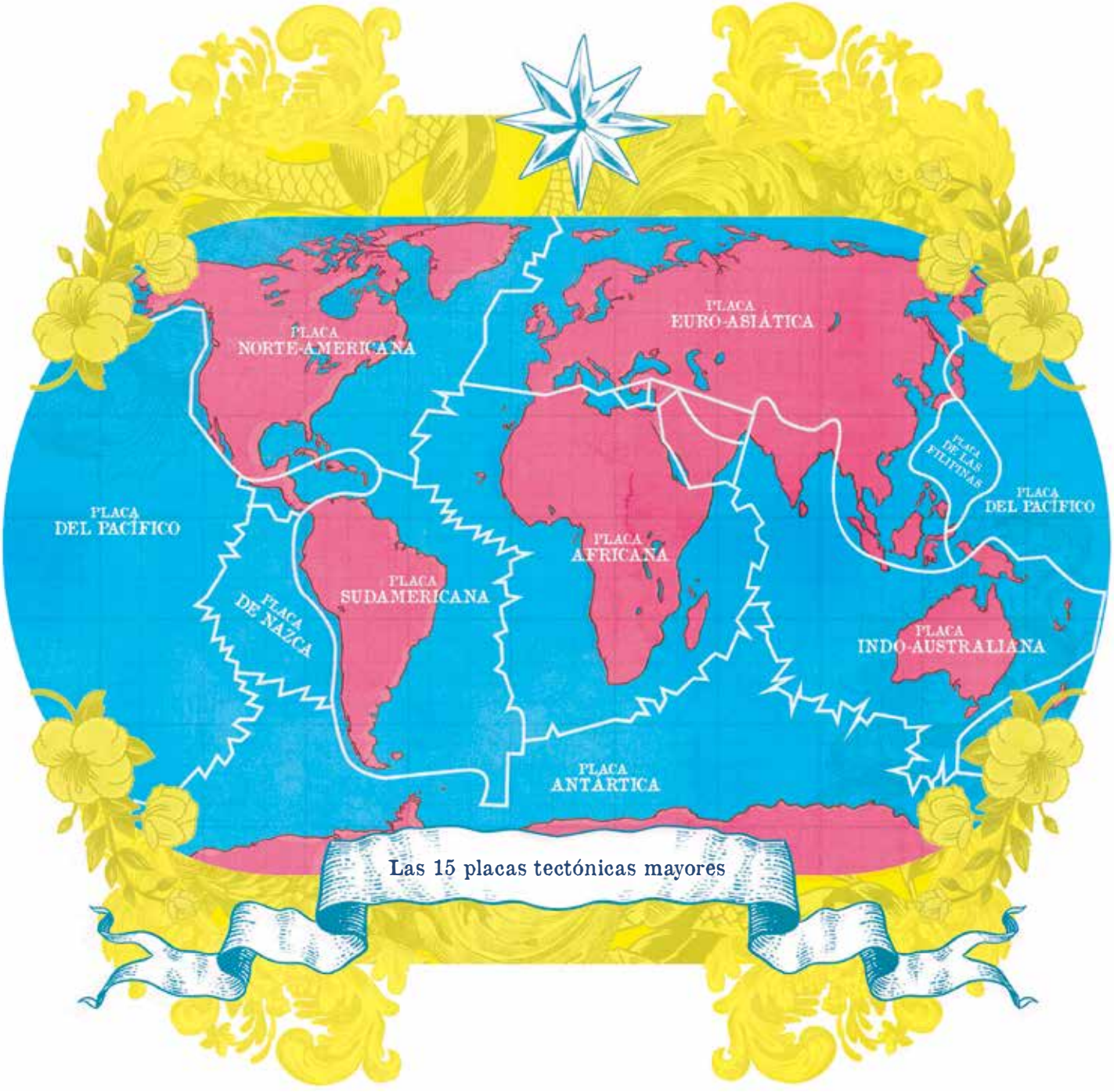


Charles Darwin

Principios del siglo XX: la deriva continental

En 1915, el geofísico y meteorólogo alemán Alfred Wegener publicó El origen de los continentes y océanos. Ahí proponía una nueva y llamativa hipótesis: en el pasado, los continentes habrían estado unidos en un único y gran supercontinente que llamó Pangea. Este se habría disgregado en distintas masas continentales debido a la deriva continental, un movimiento que Wegener no supo explicar del todo pero que de todas maneras sirvió de base para la tectónica de placas que surgiría años después.





Las 15 placas tectónicas mayores

Mediados del siglo XX: tectónica de placas

En los años 60 surgió la teoría tectónica de placas, que postulaba que la corteza terrestre está formada por varias capas rígidas, separadas por cadenas montañosas, que se mueven lentamente sobre un estrato de roca líquida. En ese proceso se rozan entre sí y generan terremotos. Esta teoría no niega la existencia de los supercontinentes, sino que la complementa.

El puente escondido de la Antártica chilena

Antes de que llegara el meteorito y acabara con los dinosaurios, el sur del mundo era muy distinto a lo que conocemos. La Antártica era un terreno verde y boscoso, y estaba conectado con la Patagonia chilena por tierra, por donde desfilaban distintas especies. ¿Por qué es ese paisaje hoy tan diferente? ¿Qué pasó? Un grupo de investigadores, liderado por un chileno, parece haber encontrado la respuesta.

Dicen que ocurrió hace 68 millones de años. La extinción de los dinosaurios vino de golpe, literalmente. La teoría con más adeptos asegura que un asteroide cayó en la Península de Yucatán, México, y causó una lluvia radiactiva que mató a estos grandes animales y a la inmensa flora que los rodeaba. El mundo se transformó en otro.

Los científicos han seguido múltiples huellas para establecer cómo era esa época pasada, antes de que el Tiranosaurio Rex desapareciera del mapa. Y en el año 2010, el paleobotánico Marcelo Leppe, del Instituto Antártico Chileno (Inach), encontró plantas fosilizadas en la Patagonia que cambiarían todo lo que se creía hasta ahora. En una expedición informal al Cerro Guido, a 340 kilómetros al noreste de Punta Arenas, se topó con una localidad llena de vestigios de plantas, dinosaurios, insectos y bivalvos de la Era de los Dinosaurios. El hallazgo lo impulsó a seguir investigando, y en 2014 se encontró con las primeras hojas fosilizadas de Nothogafus: la puerta para investigar un pasado muy remoto.

¿Qué nos dicen estas hojas?

Nothofagus es un género de árboles de la familia del roble, coihue, raulí, ñirre y lenga, especies que conocemos bien porque son propias del sur de Chile. Hace varios millones de años dominaba la Antártica, como evidencian también otros fósiles encontrados por Leppe y su equipo:

"Tenemos los registros más antiguos de Nothofagus de Sudamérica, y de la Antártica también. Y no coinciden en edad: el de Sudamérica tiene 68 millones de años, mientras que el de la Antártica debe tener unos 80 millones", explica el investigador. Por esta diferencia de edad es que se entiende que la versión encontrada en Cerro Guido tuvo que venir del continente blanco.

Lo interesante es que Nothofagus solo puede propagarse por tierra. No atraviesa mares ni océanos, menos distancias largas como las que separan a los dos territorios. ¿Qué significa esto? Que para llegar a la Patagonia chilena, Nothofagus tuvo que cruzar por algún tipo de puente o conexión terrestre. Joseph Dalton Hooker tenía razón.

¿Cómo se formó el puente?

La Era de los Dinosaurios fue una época muy cálida. El dióxido de carbono (CO_2) llegaba a 2100 partes por millón (ppm), unas cinco veces más que las actuales. Esto se traducía en que la temperatura era muy alta, y no había hielo en casi ninguna parte del mundo. La Antártica era un continente verde y plagado de bosques similares a los que existen hoy en la Región de los Ríos.

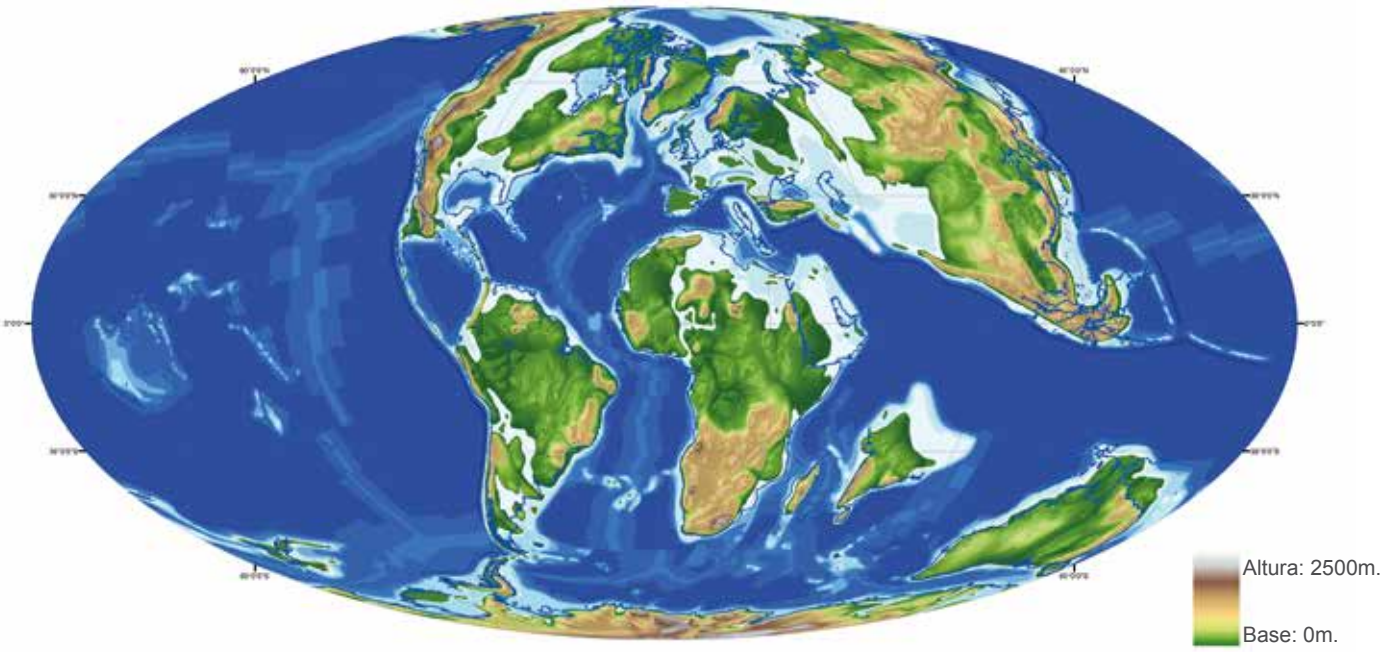
Debido al efecto invernadero ocurrieron distintos períodos de frío. "Eran unos pulsos muy cortos pero muy intensos, tan intensos que provocaron la formación de hielo en la Antártica y en el Ártico", precisa Leppe. Con esto, los niveles del mar descendieron hasta 125 metros y dejaron descubiertos puentes de tierra entre los continentes (ver mapa).

La evidencia apunta a que el nivel del mar bajó en tres momentos, hace 73, 70 y 68 millones de años: "La hipótesis que estamos manejando ahora es que Nothofagus no entró en un solo pulso", explica Leppe. "La primera oleada fue un Nothofagus que estaba completamente adaptado a condiciones cálidas, y eso explica la existencia del ruil que encontramos hoy cerca de Constitución y que tiene muchas similitudes con los fósiles de la Antártica", dice el investigador.

La segunda oleada explicaría las especies de la Región de los Lagos, Concepción y algunas áreas más nortinas. Y el tercer y último pulso habría traído a los coihues: "Todo esto explicaría que tengamos 31 especies de Nothofagus vivas en el mundo, con cuatro linajes principales. De esos, hay uno que solo vive en Nueva Caledonia, otro que vive solo en Sudamérica, y hay dos que viven en sudamárica, Nueva Zelanda y Australia", precisa Leppe.

--¿Esto significa que también hubo un puente con Australia?

-- Hay algunos australianos que están estudiando ese tema, testeando el modelo.



Mapa del cretáceo tardío. 70 millones de años atrás
Basado en Markwick (1977); ver Markwick & Valdes (2004). Modelo: Rowley (1995)

REFLEXIÓN

Después de leer el texto, analiza cada afirmación.

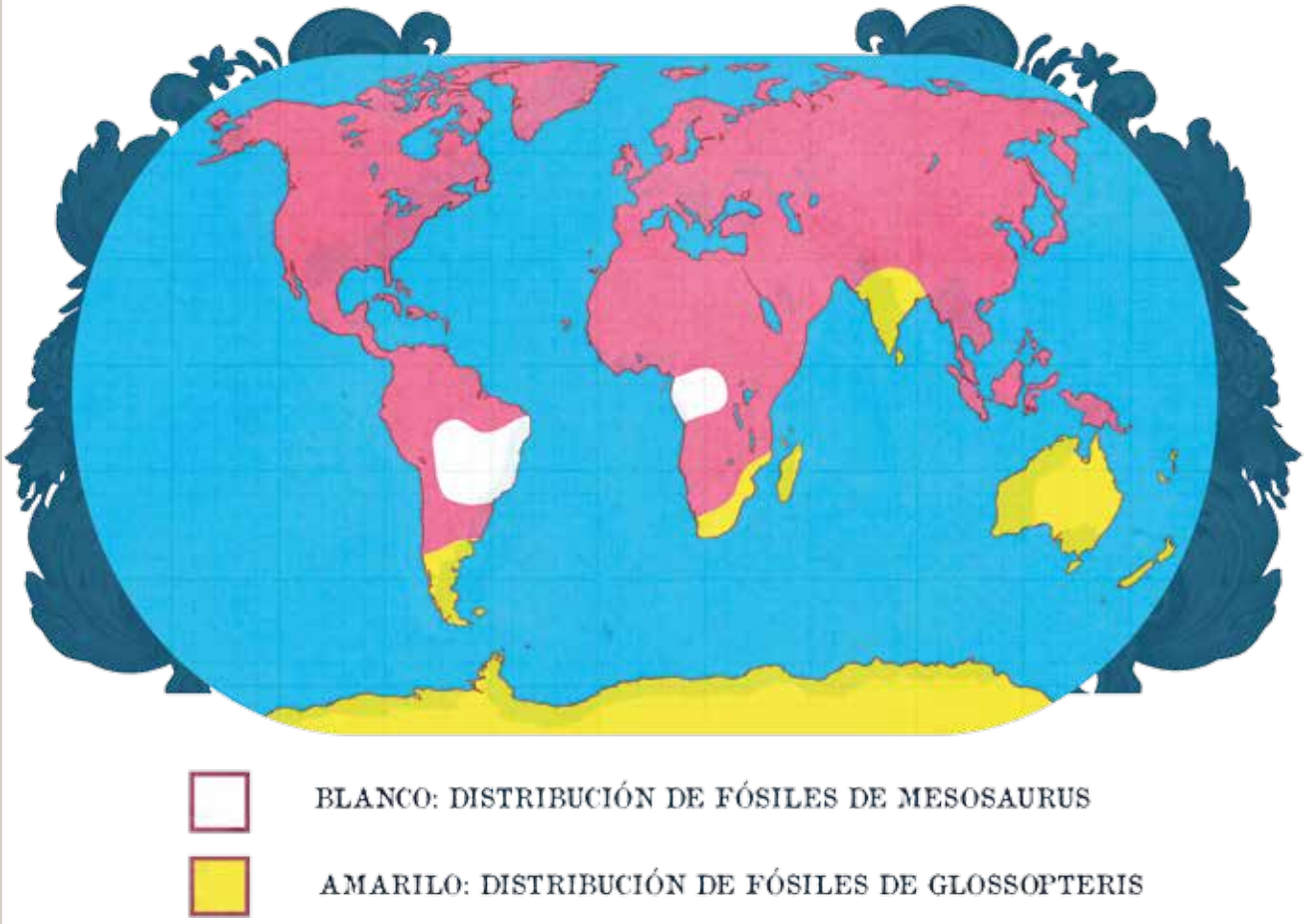
En la columna "Después", encierra V o F para indicar tu elección. Si cambiaste tu respuesta después de leer el texto, explica por qué la cambiaste.

¿Tus respuestas fueron correctas?

EXPLORACIÓN Y APLICACIÓN

La especie vegetal *glossopteris* y el reptil *mesosaurus* habitaron la tierra durante el período pérmico. El siguiente mapa muestra las regiones donde se han encontrado fósiles de estas especies. En base a lo que has aprendido, ¿cómo podrías explicar la distribución de estos fósiles?

Haz un dibujo que te permita explicar tu hipótesis.



El equipo de trabajo

- **Marcelo Leppe**, paleobotánico. INACH.
- **Felipe Hinojosa**, paleobotánico. U. Chile.
- **Harufumi Nishida**, paleobotánico. U. Chuo.
- **Wolfgang Stinnesbeck**, paleozoóloga. U. Heidelberg.
- **Gerson Fauth**, micropaleontóloga. UNISINOS.
- **Maritza Mihoc** , botánica. U. Chile.
- **Alexander Vargas**, paleontólogo. U. Chile.
- **Julia Clarke**, paleontóloga. U. Texas.
- **Leandro Martínez**, paleoxiliólogo. UNLP.
- **Tania Dutra**, paleobotánica. UNISINOS.
- **Cristine Trevisan**, paleobotánica. UNISINOS.
- **Joaquin Bastias**, geocronólogo. U. Zurich.
- **Toshiro Jujihara**, paleontólogo. U. Heidelberg.
- **Thiers Wilberger**, paleobotánico. UNISINO.
- **Sergio Soto**, paleontólogo. U. Chile.
- **Viviana Lobos**, paleobotánica. UACH.
- **Héctor Mansilla**, palinólogo. U. Magallanes.
- **Jhonatan Alarcón**, paleontólogo. U. Chile.

Cómo se financiaron las investigaciones

Hasta el momento, se han llevado a cabo tres proyectos Fondecyt para estudiar la existencia del puente terrestre y las plantas que lo acreditan.

EL DINOSAURIO DEL FIN DEL MUNDO

INTRODUCCIÓN

Las distintas especies que habitan la Tierra no siempre se vieron ni actuaron como las conocemos hoy. Ni siquiera el ser humano era, hace 200 mil años, lo que es en la actualidad. La necesidad de sobrevivir, de buscar alimento, de adaptarse al entorno y a los cambios climáticos tuvieron un impacto en los seres vivos, y es por eso que a lo largo de las distintas generaciones las especies fueron cambiando.

Ahora bien, ¿cómo sabemos los cambios ocurridos hace miles de años? ¿Cómo estudiamos las especies que están hoy extintas? ¿Evolucionaron ellas también? Dentro de las distintas disciplinas científicas, la paleontología intenta responder estas preguntas, mediante el análisis de fósiles y a través de la combinación de la biología y la geología.

¿Cómo trabaja un paleontólogo?

Un paleontólogo es un especialista en fósiles y en vida prehistórica. Su objetivo es comprender la historia y la evolución, y para ello pasa gran parte de su vida laboral en laboratorios, museos y universidades. Pero también realiza trabajo en terreno, donde le toca extraer muestras que estudiará más tarde.

Etapas del trabajo paleontológico:

Análisis: Habitualmente son los geólogos quienes encuentran restos fósiles durante su trabajo de campo. De todas maneras, un paleontólogo puede investigar por su cuenta los lugares donde supone que encontrará restos. Para esto, debe analizar las cartas geológicas para determinar los sitios de interés.

Exploración: Una vez determinado el lugar a investigar, el paleontólogo irá a terreno en búsqueda de los fósiles.

Extracción: Cuando se encuentra un fósil, se cava a su alrededor para extraerlo junto a las rocas y sedimentos a los que está adherido. Luego se cubre todo con yeso, para mayor protección, y se envía al laboratorio.

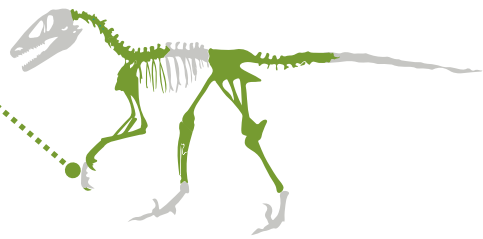
¿Qué es un fósil y para qué sirve?

Para entender cómo era la vida hace miles de años, los especialistas estudian los mejores testigos de la época que quieren descifrar: los fósiles. Estos pueden ser troncos petrificados, animales atrapados en el hielo -como los mamuts descubiertos en Siberia-, insectos atrapados en ámbar, o cualquier otra evidencia de vida pasada.

Como explica el paleontólogo David Rubilar, hay una pequeña complicación cuando hablamos de este término: "la palabra 'fósil' es un concepto vago, uno lo podría asociar a la petrificación, pero hay mamuts congelados en Siberia cuya carne es fresca". Por eso, cuenta, hay un consenso entre paleontólogos y geólogos para entender por fósil cualquier vestigio de al menos 10 mil años de antigüedad. Lo importante, finalmente, es que gracias a estas reliquias naturales podemos estudiar y entender lo que pasó en épocas tan remotas como la de los dinosaurios.

Limpieza: Se "prepara" el fósil, es decir, se limpia mediante diversos mecanismos que permiten separar la roca de la pieza de interés. Este proceso puede llegar a tardar años.

Estudio comparativo: Con el fósil ya despejado, se puede comenzar a analizar sus características en función de otras piezas o elementos de los que se tiene conocimiento.



FOCALIZACIÓN

Los dinosaurios estuvieron en el planeta por millones de años antes de extinguirse. Hoy en día los paleontólogos buscan fósiles en distintas partes del planeta para tratar de reconstruir su historia. ¿Crees que existieron dinosaurios en Chile? Si existieron, ¿cómo eran? ¿Qué comían? ¿En que región de Chile vivieron?

El chilesaurus

Es un puzzle. Una mezcla de piezas diferentes que los científicos aún no logran descifrar del todo. El llamado chilesaurio parece armado con partes de diferentes dinosaurios. Sus investigadores están asombrados y aseguran que esta especie es uno de los mejores ejemplos para entender la evolución.

A mediados de 2015, la portada de la revista científica Nature llevaba como protagonista una curiosa imagen: la ilustración de lo que parecía un lagarto de patas traseras robustas y brazos cortos. El titular, "Come brotes y hojas", venía acompañado de una curiosa explicación: "Dinosaurio de aspecto rapaz es pariente vegetariano del T. Rex".

La noticia causó revuelo en Chile por más de un motivo: se trataba del descubrimiento de un nuevo dinosaurio, desconocido hasta entonces, y había sido encontrado en nuestro país por un niño chileno. El hallazgo se produjo en 2004, pero fueron necesarios varios años para que los paleontólogos pudieran descifrar las características de esta nueva especie.

Ojo al fósil

La historia comienza con una expedición. Manuel Suárez y Rita de la Cruz son un matrimonio de geólogos que en 2004 visitaba el sector de Mallín Grande, en la Región de Aysén, como parte de un proyecto Fondecyt. Estudiaban las relaciones entre volcanismo y sedimentación, entre otras cosas, para lo cual salían habitualmente a terreno.

En una de esas excursiones los acompañaron sus hijos, Macarena, de 18 años, y Diego, de 7. Mientras los mayores trabajaban, ellos se entretenían jugando con lo que pudieran encontrar: piedras, palos, huesitos. "Estaba buscando huesos de mamíferos, de los que conocía la textura: son huecos, livianos, medio verdosos", recuerda hoy Diego. "Pero me encontré con estos que parecían más rocas. Me di cuenta de que estaban fosilizados porque tenemos la casa llena de troncos fósiles", explica el actual estudiante universitario.

Una vez que se reunió con sus padres, Diego les entregó su descubrimiento, pensando que ellos podrían aclarar de qué se trataba. "Les dije: 'se los paso con una condición: que me los devuelvan después'. ¡Nunca más los vi!", se ríe, pero reconoce que ganó algo único: el dinosaurio fue bautizado Chilesaurus diegosuarezi, en su honor.

EXPLORACIÓN

Observa las siguientes imágenes y describe las características de cada uno de los fósiles. ¿Con qué especies los relacionas? ¿Qué puedes decir sobre la alimentación de estos animales?

Las huellas de un largo trabajo

Cuando Manuel Suárez recibió los huesos que había encontrado su hijo, supo que tenía que enviarlos a analizar: "No teníamos los datos de las rocas del lugar, pero existía la posibilidad de que fueran del Jurásico. Y si eran del Jurásico, los huesos podían ser de dinosaurio". Recolectaron varias muestras y las enviaron al Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), para su estudio.

David Rubilar, paleontólogo del Museo Nacional de Historia Natural y participante de la investigación, cuenta que inicialmente hubo confusión en torno a los fósiles: se pensaba que pertenecían a distintos tipos de dinosaurios. "Los argentinos decían: 'este hueso que tenemos acá pertenece a este tipo de dinosaurio de cuello largo', 'este otro pertenece a los dinosaurios herbívoros de pico de pato', 'y estos otros pertenecen a los carnívoros bípedos", explica el científico.

La sorpresa vino cuando en 2010 un equipo de expertos viajó a la zona, y encontró un esqueleto completamente articulado: un raro dinosaurio de 1,60 m. de alto. "No eran tres animales separados, era uno solo", resume Rubilar. "Era un linaje completo que no se conocía". Desde entonces se ha encontrado cerca de una docena de ejemplares, incluyendo cuatro esqueletos completos.

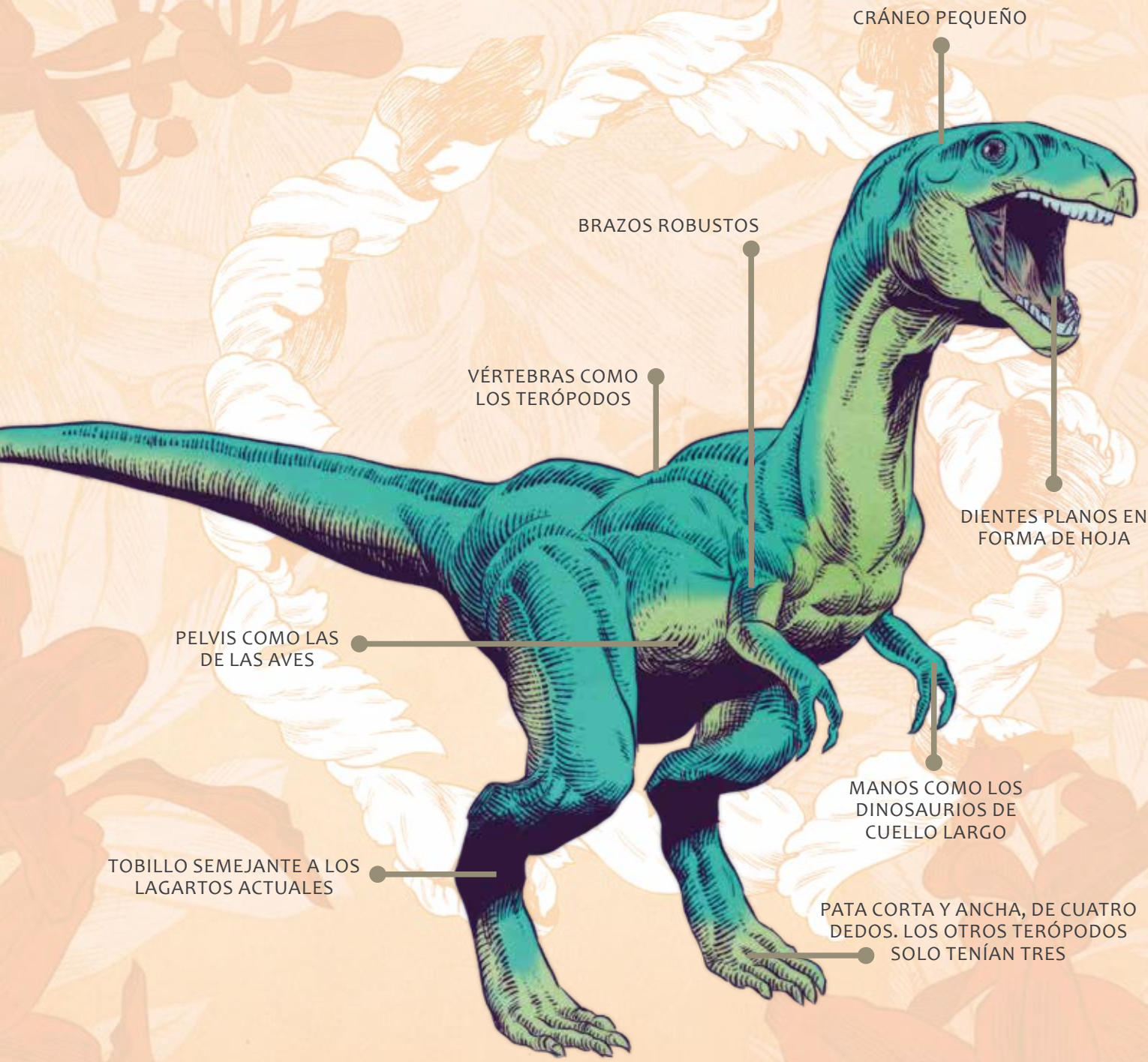
Un dinosaurio ornitorrinco

El Chilesaurus diegosuarezi es tan particular que los investigadores lo han comparado con el ornitorrinco, el mamífero que pone huevos y que parece estar armado con partes de diferentes animales.

¿Cuáles son las particularidades de este dinosaurio? Tiene las manos, cabeza y dientes similares a las de los sauropodomorfos (dinosaurios de cuello largo). La pelvis se parece a la de los ornitisquios (con cuernos). El cuello, la espalda y las patas traseras, son como las de los terópodos (carnívoros bípedos, como el tiranosaurio y el velocirraptor). Se sabe que era hervíboro por algunas de sus características: sus manos tenían dos dedos, es decir, no servían para cazar, tenía un pico córneo y dientes espatulados, sin punta, que no le habrían sido útiles para despedazar otros animales.

Algunas de las características del chilesaurio se asemejan a las de otras especies, debido a modos de vida similares y a la presión evolutiva. Así, por ejemplo, sus dientes se parecen a los de los dinosaurios de gran cuello, porque durante millones de años tuvieron un régimen de alimentación comparable. Los análisis arrojaron que el chilesaurio pertenece al linaje de los terópodos, pero que en algún momento dejó de ser carnívoro. Este paso a herbívoro habría tardado millones de años, mientras fue adquiriendo las características necesarias para comer vegetales.

No es de extrañar, entonces, que los investigadores lo consideren "uno de los casos más interesantes de evolución convergente" de la historia.



La Era Mesozoica es el período durante el que vivieron los dinosaurios en la Tierra, incluyendo nuestro chilesaurio. Se divide en tres períodos:

Triásico (251 a 199 millones de años atrás):

Era de los reptiles. El mundo consiste en un solo gran continente, conocido como Pangea.

Jurásico (199 a 145 millones de años atrás):

Apogeo de los dinosaurios. Pangea se separa en los continentes Laurasia y Gondwana. A fines de este período surge el chilesaurio.

Cretáceo (145 a 65 millones de años atrás):

Ocurre la aparición de los continentes que existen hoy. Hacia el final de este período ocurre la extinsión masiva de los dinosaurios.

¿Qué es la evolución convergente?

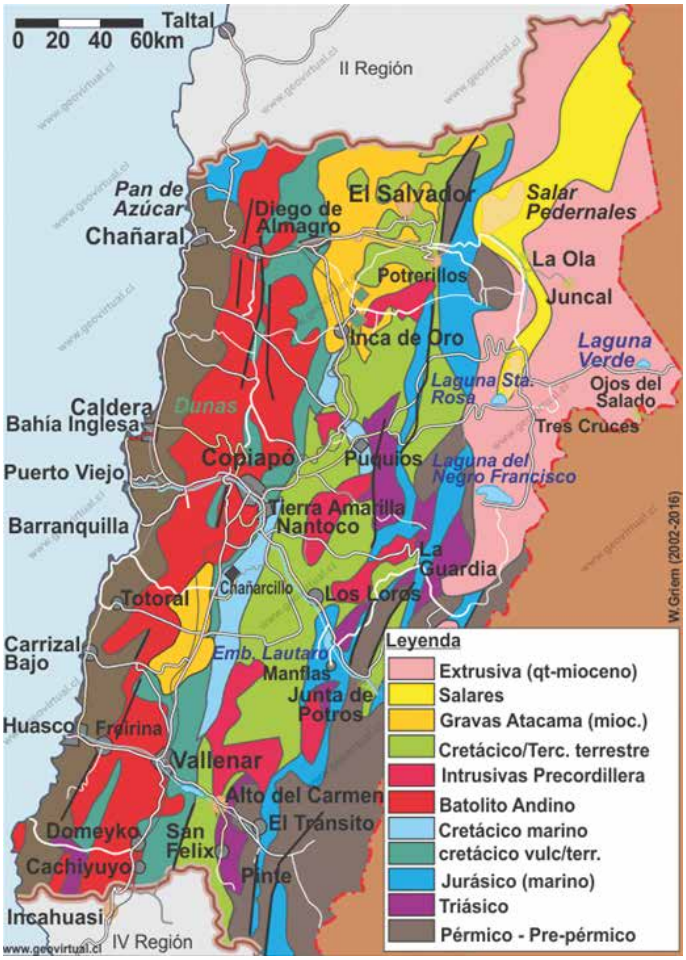
La evolución convergente ocurre cuando dos organismos diferentes han evolucionado con características similares. Un buen ejemplo son las alas, que han aparecido en aves, insectos y murciélagos: ¡todas especies distintas! Lo mismo ocurre con los dientes de sable, que surgieron en ciertos carnívoros y marsupiales.

EXPLORACIÓN Y APLICACIÓN

Las cartas geológicas son mapas topográficos que representan las diferentes rocas o formaciones de distintas edades que se aprecian en la superficie de la corteza terrestre, mediante colores y símbolos. También se representan diversas "estructuras" geológicas (fallas, pliegues, foliaciones o lineamientos), relacionadas con la deformación de esas rocas.

A continuación se presenta una carta geológica de la III Región de Atacama. Si fueras un paleontólogo, ¿dónde irías a buscar fósiles de dinosaurios? ¿Por qué? ¿Qué especies esperarías encontrar en las zonas azules?

¿Cómo harías la carta geológica de tu comuna?



El equipo de trabajo

- **Manuel Suárez**, geólogo. Universidad Andrés Bello.
- **Rita de la Cruz**, geóloga. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile.
- **Alexander Vargas,** biólogo. Universidad de Chile.
- **David Rubilar Rogers**, paleontólogo. Museo Nacional de Historia Natural.
- **Fernando Novas**, paleontólogo. MACN.
- **Leonardo Salgado,** paleontólogo. Universidad Nacional de Río Negro.
- **Lic. Federico Agnolín**.
- **Lic. Nicolás Chimento**.
- **Marcelo Isasi**, técnico profesional. MACN
- **Martín Ezcurra,** paleontólogo. Universidad de Birmingham.

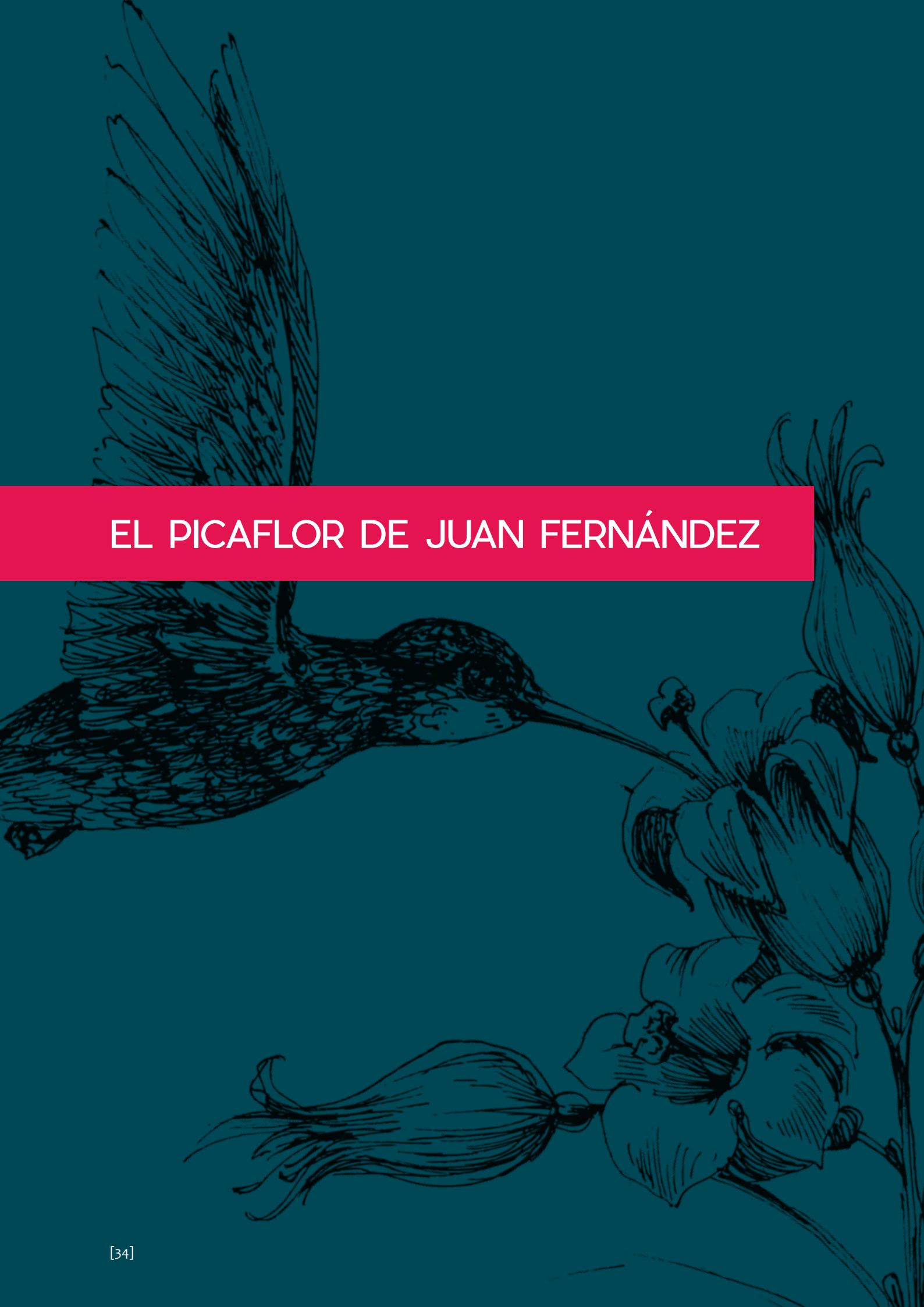
Cómo se financiaron los estudios

La investigación se financió con parte del proyecto Fondecyt que estaban trabajando en ese momento Manuel Suárez y Rita de la Cruz.

Referencia utilizada

Fernando E- Novas, Leonardo Salgado, Manuel Suárez et al. An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile. Nature 522, 331–334 (18 June 2015)

EL PICAFLOR DE JUAN FERNÁNDEZ



INTRODUCCIÓN

Era el año 1831, y en ese entonces todavía quedaba mundo por descubrir. El naturalista Charles Darwin, por entonces de 22 años, decidió embarcarse en la expedición del Beagle, que buscaba llegar a lugares aislados, poco frecuentados por los navegantes.

Durante ¡cinco años! el buque recorrió zonas como Valparaíso, Callao, islas Galápagos, Tahití, Nueva Zelanda, Australia y Cabo Buena Esperanza. Darwin usó ese tiempo para tomar nota de la vida silvestre que veía, plantas y animales muy distintos a las especies a las que estaba acostumbrado. En islas Galápagos notó que existía una quincena de pinzones diferentes, los que pensó podrían provenir de un mismo ancestro común.

Esta idea se convirtió en el germen de **El origen de las especies**, la obra en que Darwin desarrolla la teoría de la evolución: la hipótesis de que los seres vivos evolucionan mediante el proceso de selección natural. Esta teoría, reforzada a lo largo de los años, sigue vigente hasta el día de hoy y puede apreciarse especialmente en lugares aislados, como ocurre en el archipiélago chileno de Juan Fernández.

FOCALIZACIÓN

¿Crees que la evolución sigue ocurriendo en este momento? ¿Las especies que actualmente habitamos el planeta, continuaremos evolucionando?

¿Qué es la evolución?

Darwin definió la evolución como "descendencia con modificación". Esto quiere decir que las especies cambian a lo largo del tiempo, dando origen a nuevas especies que tienen un ancestro en común.

¿Cómo se llevan a cabo estas modificaciones? De manera totalmente involuntaria: a partir de mutaciones que ocurren al azar en el ADN durante la formación de los gametos o en el proceso reproductivo, se pueden generar nuevas características en el individuo -beneficiosas o no. Este proceso se conoce como selección natural y supone que, como los individuos deben competir por los limitados recursos de la naturaleza, sobreviven aquellos que desarrollan características favorables al ambiente donde habitan. Estas características se van traspasando a la descendencia, de tal manera que se forma una nueva especie distinta a la que le dio origen.

Esto supone que, como los individuos deben competir por los limitados recursos de la naturaleza, sobreviven aquellos que desarrollan características favorables al ambiente donde habitan. Estas características se van traspasando a la descendencia, de tal manera que se forma una nueva especie distinta a la que le dio origen.

En su viaje por islas Galápagos, Darwin encontró un buen ejemplo de esta teoría. Estas islas son un archipiélago del océano Pacífico ubicado a 972 km de la costa de Ecuador, es decir, bastante aisladas del resto del mundo. De los distintos pinzones que vio en este lugar, Darwin notó que las especies eran similares, pero no idénticas: cada una estaba adaptada a las características del entorno donde vivía. Los pájaros tenían diferentes formas de pico, según los alimentos que consumían: los pinzones que se alimenta-

¿Qué es una especie?

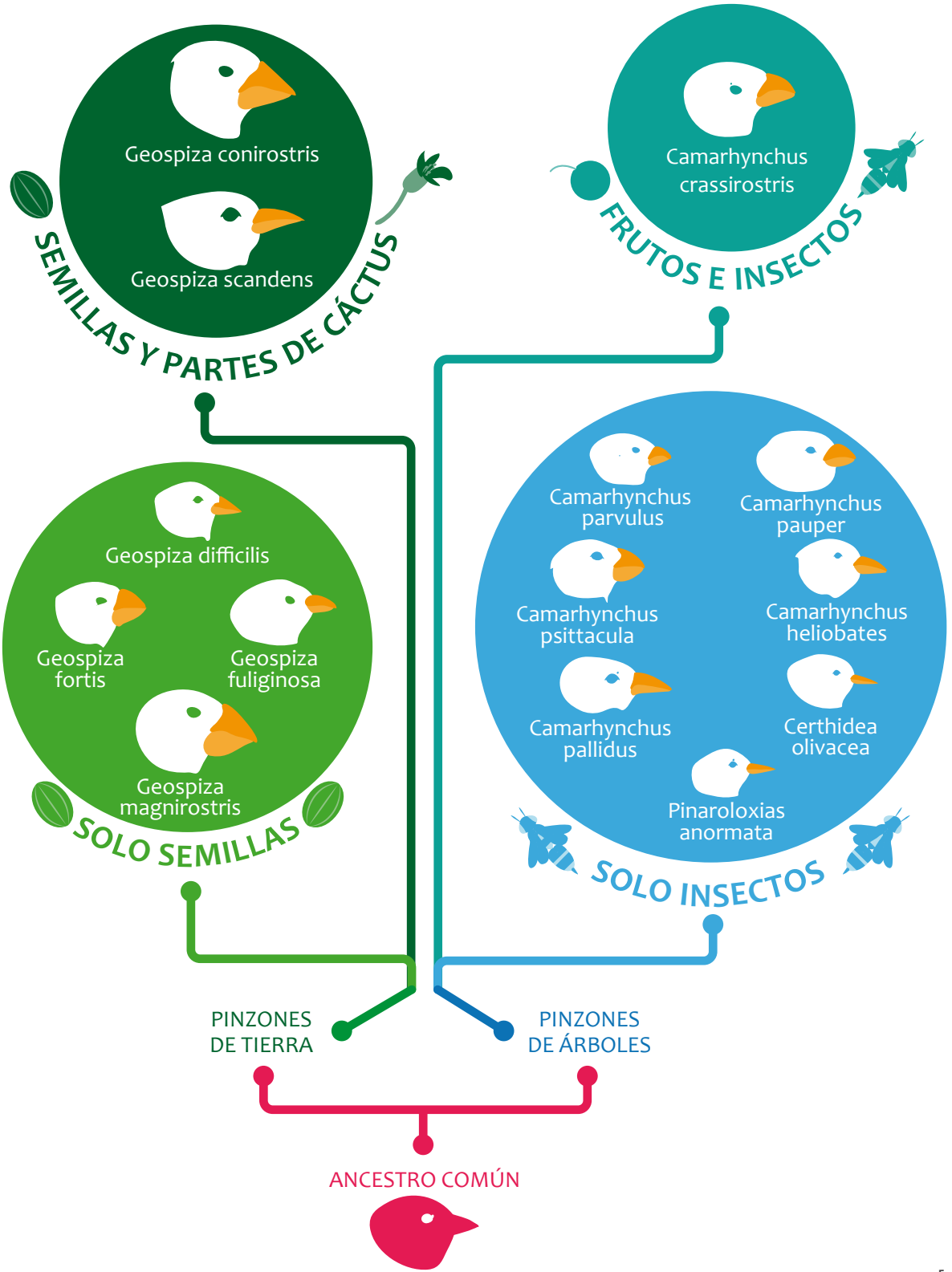
Una especie es un grupo de organismos semejantes que pueden procrear entre ellos y producir una descendencia fértil. Generalmente, no pueden reproducirse con individuos de otras especies. Por ejemplo, todos los humanos pertenecemos a la misma especie, Homo sapiens, y los perros domésticos pertenecen a otra, la Canis familiaris.

¿Qué ocurrió con los pinzones de Galápagos? ¿Cómo pudieron transformarse en especies diferentes? Los distintos grupos de pájaros, aislados unos de otros por barreras geográficas –como montañas, o el mismo océano alrededor de las islas-, evolucionaron de forma distinta de acuerdo al entorno donde vivían.

Las diferencias entre los grupos se fueron traspasando durante muchas generaciones a la descendencia, hasta que se transformaron en especies separadas: ya no podían cruzarse entre ellos.

ban de semillas tenían los picos grandes y duros, mientras que los que comían insectos tenían los picos delgados y puntiagudos.

¿Qué había ocurrido? Probablemente, las distintas especies de pinzones descendían de una sola especie que llegó a las islas desde Sudamérica. Según donde se habían asentado, y los alimentos que consumían, los pájaros habían desarrollado características propias para adaptarse a su nuevo entorno, dando origen así a su propia especie.



El picaflor de Juan Fernández

El mismo fenómeno que llamó la atención de Darwin en islas Galápagos puede verse, hoy, en el archipiélago de Juan Fernández. Allí vive una especie de picaflor única en el mundo, un pajarito que desciende del mismo ancestro del que proviene el picaflor chico que habita en el continente, pero que tiene características tan distintas que es inevitable preguntar: ¿por qué cambió tanto? ¿Qué le hizo convertirse en esta ave tan particular?

Frente al puerto de San Antonio, en la Región de Valparaíso, se encuentra el archipiélago Juan Fernández. Compuesto por tres islas, Robinson Crusoe, Alejandro Selkirk y Santa Clara, está bastante alejado del continente: para llegar a él hay que cruzar los 670 kilómetros que lo separan del puerto.

Debido a su distancia con el resto del planeta, el archipiélago tiene características únicas: es la zona con mayor endemismo en el mundo, considerando su pequeña superficie. Esto quiere decir que en estas islas se encuentran especies que solo existen ahí, tanto en su flora como en su fauna.

Una de estas especies únicas es el picaflor de Juan Fernández *(Sephanoides fernandensis)*. Este pajarito solo habita en la isla Robinson Crusoe, y su población es escasa: hoy está en peligro de extinción.

En esta isla, además de esta ave local, habita el picaflor chico *(Sephanoides sephanoides)*, que también está presente en todo Chile continental.

Las hembras de ambas especies se parecen, pero los machos son completamente distintos a pesar de que, hace un par de décadas, se descubrió que ambos descienden de un mismo ancestro.

EXPLORACIÓN Y REFLEXIÓN

Observa la siguiente ilustración e indica las principales características de estas especies.

Si la selección natural favorece las características que traen ventajas a la especie, ¿qué beneficio podría traer para los picaflores de Juan Fernández las diferencias observadas entre macho y hembra?

Características únicas

De las 500 especies de picaflores que existen en el mundo, el de Juan Fernández "es el único que tiene tan marcadas las diferencias entre el macho y la hembra", explica el ornitólogo Juan Carlos Torres-Mura, quien tiene varias investigaciones realizadas sobre esta especie. En 1998 lideró una investigación que concluyó que el picaflor de Juan Fernández descendía del mismo ancestro que el picaflor chico. Desde entonces, otros estudios no han hecho más que confirmar esta afirmación.

A pesar de este ancestro común, ambas especies son distintas. ¿Por qué? Porque el picaflor de Juan Fernández evolucionó durantes siglos en la isla, mientras que el picaflor chico llegó más tarde desde el continente. "Probablemente, en el siglo XIX", dice Torres-Mura. Así, el proceso de selección natural se produjo en estas dos zonas geográficas muy alejadas y se desarrollaron ambas especies, que hoy se encuentran en un mismo hábitat.

¿En qué se diferencian? El macho de Juan Fernández tiene un color rojizo que nada tiene que ver con su pariente chico. Además, es considerablemente más grande que el macho Sephanoides sephanoides, y que cualquiera de las hembras.

Torres-Mura explica la diferencia de tamaño entre macho y hembra del picaflor de Juan Fernández, aduciendo a necesidades de sobrevivencia: "Si fueran iguales, irían hacia las mismas flores. Y estas no están disponibles todo el año. Una manera de usar bien los recursos es la lógica de `tú eres chica, así es que comes cosas chicas, y yo que soy grande como cosas más grandes y así convivimos sin competir". El entorno habría originado entonces, como siempre, la evolución.

Como dato anecdótico está la confusión original que causaron estas diferencias entre los dos sexos de la especie de Juan Fernández. Debido a sus colores tan distintos, naturalistas del siglo XIX pensaron que macho y hembra pertenecían a especies distintas. Esto se aclaró cuando se encontró un nido que albergaba a una pareja de estas aves.

Ahora bien, con la introducción del picaflor chico, el picaflor de Juan Fernández recibió competencia: "El chico es generalista: come cualquier flor. Y el de Juan Fernández es más selectivo". Además, debido a las especies introducidas como las cabras y las zarzamoras, el alimento del picaflor local ha ido menguando, y es una de las razones por las que actualmente se encuentra en riesgo.

APLICACIÓN

¿Cómo podrías confirmar que el macho y la hembra de Juan Fernández son de la misma especie?

Para algunos científicos, las islas pueden ser un laboratorio natural para estudiar la evolución. Si quisieras favorecer la evolución de una nueva especie de picaflores, ¿cómo lo harías?

¿Por qué la evolución es distinta en las islas?

Las islas son un tesoro para los científicos, en especial, cuando están aisladas del resto del mundo. En ellas se pueden encontrar especies únicas, nacidas justamente porque sus poblaciones no se han relacionado con otras más lejanas y se han tenido que adaptar a las condiciones propias de su entorno. En el archipiélago de Juan Fernández, por ejemplo, el ambiente es muy distinto al que se puede encontrar en Chile continental: el clima es subtropical, húmedo, y el suelo es de origen volcánico.

Pero, además, otra razón explica que las islas tengan un proceso evolutivo distinto al resto del planeta. Debido a su aislamiento, no se han visto afectadas por los grandes eventos que provocaron extinciones masivas a lo largo de la historia. Deben, eso sí, adaptarse a peligros propios: las especies invasoras generan más daño en las islas que en los continentes, porque las "víctimas" no tienen dónde escapar. Es lo que ocurre con los gatos asilvestrados, por ejemplo. Presentes en la mayoría de las islas del mundo, suponen "una de las especies invasoras más perniciosas para las comunidades de vertebrados en islas", según un estudio dirigido por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) de España.

Esta variedad de características da origen a ecosistemas insulares propios, que sirven para estudiar los mecanismos de formación de las especies. Incluso, dependiendo de su edad y de su grado de aislamiento, las islas pueden conservar especies que han desaparecido en el resto del planeta, como el dragón de Komodo de Indonesia.

El equipo de trabajo

- **Michael S. Roy.** Dr. En Genética Molecular. Universidad de Londres.
- **Juan Carlos Torres-Mura,** Magíster en Ciencias Biológicas. Universidad de Chile.
- **Fritz Hertel.** Phd, Universidad de California.

Cómo se financió el estudio

El estudio "Evolution and history of hummingbirds (Aves: Trochilidae) from the Juan Fernandez Islands, Chile" (1998) fue un proyecto Fondecyt.

LOS GENES CHILENOS

INTRODUCCIÓN

Desde que, a mediados del siglo XX, se desentrañara el misterio del ADN, los descubrimientos y avances en genética en el mundo se han disparado. Con los nuevos conocimientos fue posible, por ejemplo, clonar seres vivos, como la famosa oveja Dolly que abrió este camino en 1996.

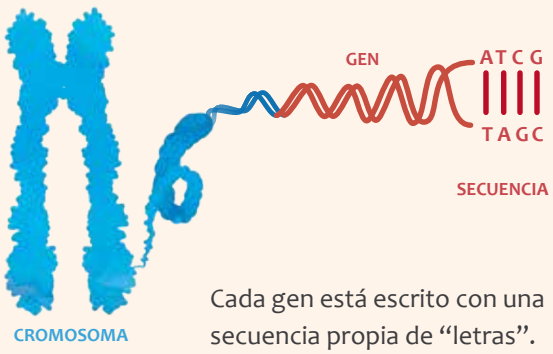
Pero lo más importante está relacionado con la salud. En los años sesenta se describió por primera vez la causa de una condición genética, el síndrome de Down: la copia adicional del cromosoma 21. Desde entonces, los científicos han descubiertos genes y mutaciones que explican numerosas enfermedades, lo que favorece su prevención y tratamiento. En Chile, los estudios avanzan por el mismo camino. Distintas investigaciones buscan desentrañar las características particulares del genoma nacional, con resultados novedosos.

¿Qué es el genoma?

El genoma es todo el material genético que tiene un organismo. Está escrito con cuatro "letras" repetidas miles de millones de veces. Estas "letras" son cuatro moléculas químicas diferentes: adenina, guanina, citosina y timina, y se representan con sus iniciales A, G, C y T. Según el orden que formen, escriben miles de "palabras" (genes) que determinan la mayoría de nuestras características.

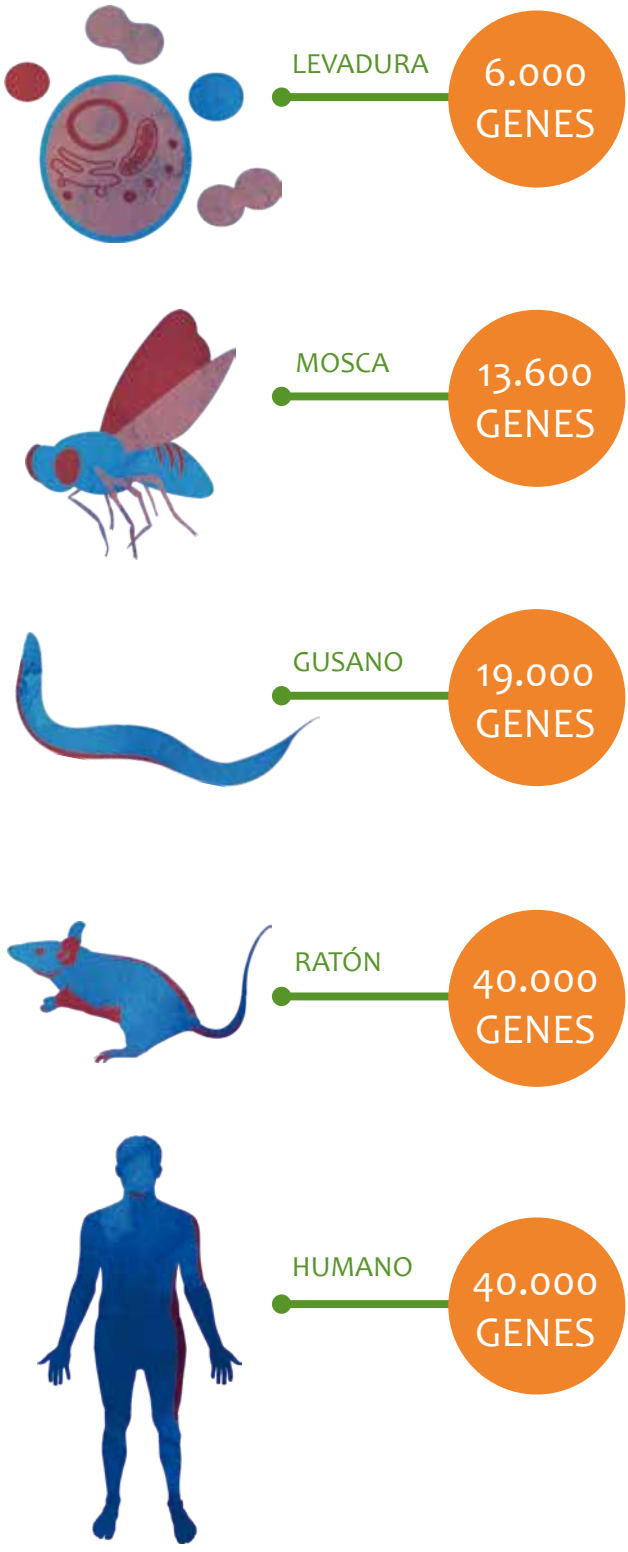
La mayoría de estas secuencias son iguales en las personas. Distintos estudios han comprobado que los seres humanos, independiente de la raza, compartimos el 99,8 por ciento de nuestro material genético. El 0,2 restante es lo que nos hace únicos.

Aunque todavía no se conoce una cifra exacta, se calcula que el genoma humano tiene cerca de 40.000 genes. Cuando se empezó a investigar, se creía que estaba compuesto por cerca de 100.000, lo que han ido desmintiendo las distintas investigaciones. Hasta ahora, el organismo más pequeño conocido, la bacteria 'Mycoplasma genitalium', tiene apenas 517 genes.



Cada gen está escrito con una secuencia propia de "letras".

Estimación de genes por especie



Fuente: Instituto Médico Howard Hughes

FOCALIZACIÓN

De acuerdo a los rasgos más comunes de la población y a nuestra historia, ¿qué componentes genéticos crees que tenemos la mayoría de los chilenos?

El puzzle genético de los chilenos

La historia nos dijo que somos mestizos, una mezcla entre indígenas y europeos. Hace no mucho, la ciencia agregó otro dato: también somos africanos. Con los avances en los estudios genéticos, hoy sabemos cómo se compone el ADN chileno y este dato, que podría quedarse en lo anecdótico, abre las puertas a futuros avances en políticas de salud e, incluso, en medicina forense.

Uno de cada dos chilenos tiene un antepasado africano. Así lo arrojan los estudios genéticos que se han hecho en el país, y que indican que, en promedio, tendríamos un 4% de genes provenientes de África. Si nos observamos frente al espejo, sin embargo, no siempre detectaremos esta ascendencia: "cuando estos genes están en muy baja proporción, puede que no se noten físicamente", explica Francisco Rothhammer, académico del Instituto de Alta Investigación de la Universidad de Tarapacá.

El investigador -quien es también Premio Nacional de Ciencias Naturales 2016- lideró en Chile el proyecto "Candela" (Consorcio para el Análisis de la Diversidad y Evolución de Latinoamérica), el estudio genético más grande que se ha realizado a la fecha en el continente: contempló el análisis de cerca de 800 latinoamericanos. En nuestro país se tomaron muestras a casi 2 mil personas provenientes de las 15 regiones del territorio nacional.

EXPLORACIÓN

El proyecto Candela, a través de su estudio genético analizó alrededor de 2000 chilenos de distintas regiones del país. A continuación una representación de los datos obtenidos por el Dr. Francisco Rothhammer y su grupo de investigación. La distribución genética en Chile.

	AMERICANO 44%	EUROPEO 52%	AFRICANO 4%
XV REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA	51%	45%	4%
I REGIÓN DE TARAPACÁ	53%	41%	6%
II REGIÓN DE ANTOFAGASTA	51%	44%	5%
III REGIÓN DE ATACAMA	51%	47%	2%
IV REGIÓN DE COQUIMBO	52%	45%	3%
V REGIÓN DE VALPARAÍSO	42%	54%	4%
REGIÓN METROPOLITANA	41%	55%	5%
VI REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O´HIGGINS	41%	57%	3%
VII REGIÓN DEL MAULE	43%	55%	2%
VIII REGIÓN DEL BÍO BÍO	45%	51%	4%
IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA	53%	44%	3%
XIV REGIÓN DE LOS RÍOS	54%	44%	3%
X REGIÓN DE LOS LAGOS	50%	48%	2%
XI REGIÓN DE AYSÉN	56%	44%	0%
XII REGIÓN DE MAGALLANES	41%	57%	2%

PORCENTAJE INDÍGENA SEGUN NIVEL SOCIOECONÓMICO

ABC1	C2	C3	D	E
40,1%	40,1%	48,4%	54,1%	54,7%

Describe lo que observas ¿Qué podrías concluir de estos resultados? ¿Cómo explicarías lo observado?

REFLEXIÓN y ANALISIS

1 ¿Por qué crees que hay diferencias entre las distintas regiones?

2 ¿A qué se deberían las diferencias entre los distintos grupos socioeconómicos?

¿Los resultados de tamaña investigación? Un chileno posee en promedio un 44% de genes indígenas, 52% europeos y 4% africanos. En algunas regiones, la presencia de los genes africanos es mayor que en otras. Es lo que pasa en el extremo norte del país, donde la esclavitud fue más común; en Valparaíso, por donde ingresaban los esclavos; y en Santiago, donde se vendían.

La presencia de genes indígenas y europeos también se explica desde la historia. En el norte, entre Valparaíso y Magallanes lidera el componente europeo, debido a las oleadas de inmigrantes de los siglos XIX y XX.

"Candela" no es el único estudio genético que se ha hecho en el país. Entre otros grupos de investigación, el programa ChileGenómico, de la Universidad de Chile, llegó a conclusiones similares en la distribución local del ADN europeo, indígena y africano. Este estudio recolectó muestras de 3.400 chilenos a lo largo del país, y agregó un dato adicional que no había considerado la investigación de "Candela": la variable socioeconómica.

Los resultados vinieron a confirmar lo que ya se intuía a simple vista. Desglosados por nivel socioeconómico, el componente genético de los chilenos varía más que entre regiones: el grupo ABC1 posee un 40% promedio de genes amerindios: el C2, un 44%; y el C3, 48%. Mientras que el D y E, un 54%. Las diferencias entre las personas de cada grupo son amplias: por ejemplo, en el ABC1, hay individuos con un 4% de genes amerindios, hasta otros con un 75%.

¿Para qué sirven estos datos?

Lucía Cifuentes, genetista y directora de ChileGenómico, sabe que estos estudios llaman la atención de los medios de comunicación y el público en general, pero aclara que la importancia de estas investigaciones trasciende lo anecdótico: "Esto interesa porque es importante desde del punto de vista histórico, pero también tiene un interés práctico: hay algunas enfermedades que tienen distintas frecuencias dependiendo de si la persona es de origen africano, europeo o amerindio". Por ejemplo, el cáncer de mama es mucho más común en poblaciones europeas que amerindias; el cáncer de próstata y la hipertensión arterial, en africanos. Los problemas de vesícula y de vía biliar son más frecuentes en amerindios. Al contar con los datos genéticos ya explicados, resulta más fácil para la autoridad de salud pública implementar políticas destinadas específicamente a la población que tiene que atender. "El Ministerio de Salud podría hacer, por ejemplo, un

programa de prevención en patología vesicular en la Araucanía, donde hay más genes amerindios", detalla Cifuentes.

Lo mismo podría aplicarse a futuro en los tratamientos: los diversos fármacos que hoy existen para tratar enfermedades tienen efectos diferentes en las personas, según los genes que tengan estos individuos. En algunos países desarrollados se piden estudios farmacogenéticos al paciente antes de administrar ciertas drogas. Los costos han impedido que esta práctica se masifique, pero Cifuentes cree que, por mientras, existe una solución intermedia: "Si yo sé que soy más amerindia, puedo inferir qué variantes genéticos tengo".

Las posibilidades en salud no se detienen ahí. Cifuentes explica que ha comenzado la segunda etapa de ChileGenómico: hoy busca los genes responsables de enfermedades como la presión arterial, vesícula, cáncer gástrico y de mama. Este proyecto no es sencillo porque se trata de enfermedades complejas que no dependen de un gen exclusivo. "A lo mejor las dos somos hipertensas, pero tú tienes malos los genes 1, 3, 5, y 8 y yo tengo malos el 2, 4, 6 y 9. Son distintas combinaciones de distintos genes", grafica la especialista.

La información de la ascendencia genética puede ser un aporte en esta investigación, explica Cifuentes. "Por ejemplo, la hipertensión arterial es mucho más frecuente en la población africana. En Estados Unidos se ha visto que las personas con antecedentes africanos son más hipertensos que sus pares blancos, viviendo en la misma ciudad y ambiente. Entonces, voy a buscar qué genes tienen distintos las personas blancas, para tratar de encontrar cuáles determinan la hipertensión". Con esta aproximación comparativa, entonces, es que pretende estudiar los males chilenos.

Medicina forense

Francisco Rothhammer, por su parte, también sigue trabajando en nuevas investigaciones y aproximaciones genéticas. El destacado científico explica que hoy estudia los genes que determinan la morfología facial: "estamos investigando cuáles son los que definen la forma de la nariz, del mentón, el color del cabello y el encanecimiento precoz, entre otras cosas. Y hemos descubierto los genes que determinan estas características".

Estos conocimientos tienen una novedosa aplicación práctica: "En medicina forense, por ejemplo, puede tener un gran impacto. Si encuentro algún tipo de fluido humano en un lugar donde ocurrió un crimen, se podría reconstruir la cara de la persona que estuvo ahí", explica Rothhammer. Los genes hablan.

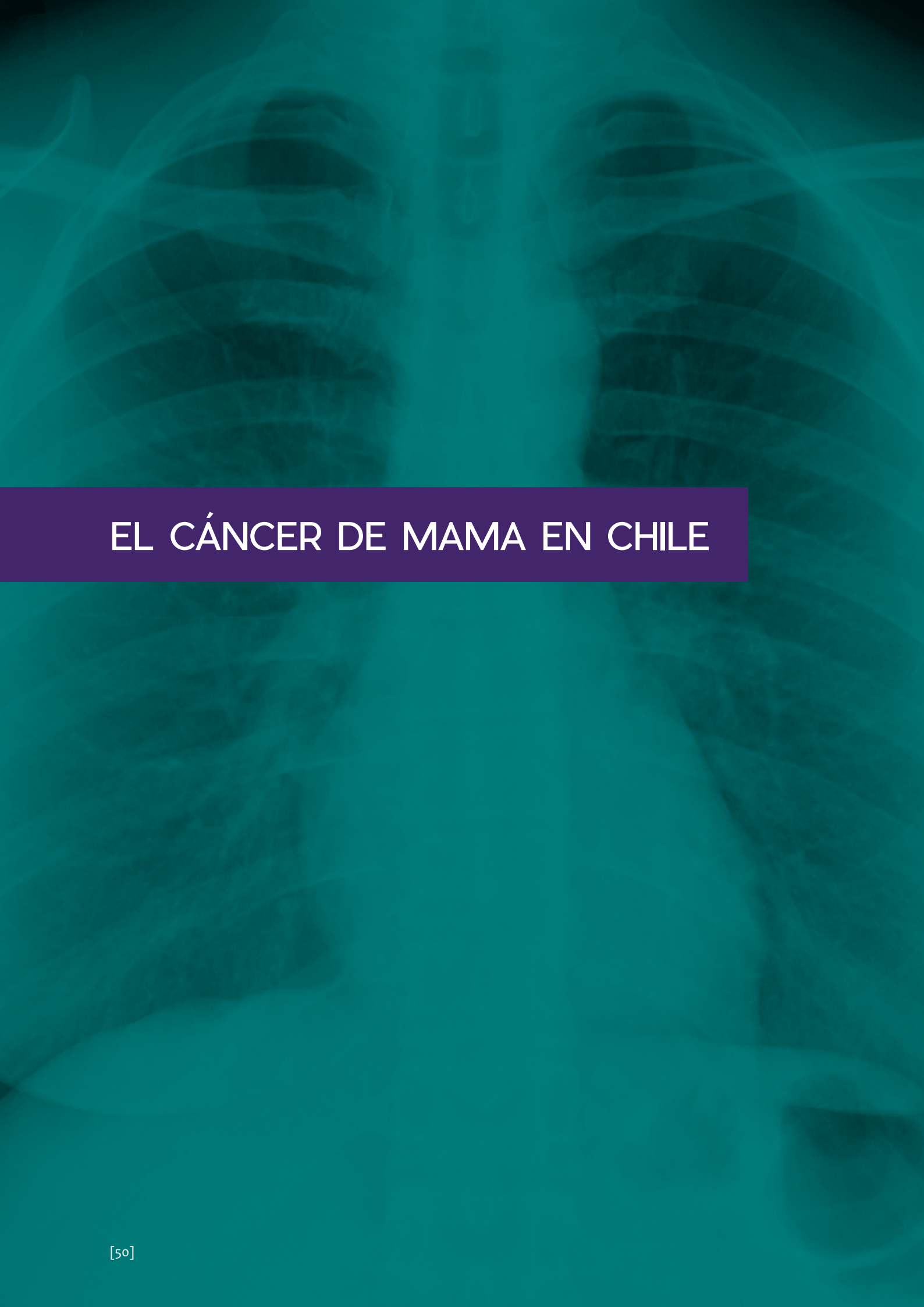
El equipo de trabajo de Candela

- **Francisco Rothhammer**, Dr. en Ciencias U. de Chile.
- **Macarena Fuentes**, tecnólogo médico, Mg. y Dra(c).
- **María Pizarro**, tecnólogo médico, Mg.
- **Pamela Salinas**, técnico en enfermería nivel superior.El equipo de trabajo de ChileGenómico
- **Lucía Cifuentes**, médico cirujano, Mg. en Ciencias, mención Genética. U. de Chile.
- **Elana Llop**, tecnólogo médico, Mg. en Ciencias Biológicas, mención Genética. U. de Chile.
- **Ricardo Verdugo**, Médico veterinario, PhD in Genetics. U. of California, Davis. U.S.A.
- **Luisa Herrera**, bioquímico, Dra. en Ciencias U. de Chile
- **Mauricio Moraga**, bioquímico, Dr. en Bioquímica, U. de Chile
- **Soledad Berríos**, tecnólogo médico, Mg. en Ciencias. U. de Chile
- **Mónica Acuña**, tecnólogo médico
- **M. Leonor Bustamante**, médico cirujano, Dr. en Ciencias Médicas. U. de Chile.
- **Carlos Valenzuela**, médico cirujano, Dr. en Ciencias mención Genética. U. de Chile.
- **Emmanuelle Barozet**, socióloga, Dra. en Sociología de l'École des Hautes Études en Sciences Sociales, Francia.
- **Fresia Caba**, matrona, Dr. en Ciencias de la Salud Mención Epidemiología (Instituto Nacional de Salud Pública, México.
- **Marcelo Villalón**, Médico cirujano. Mg. en Salud Pública. U. de Chile
- **Sergio Alvarado**, profesor de Matemáticas, U. Metropolitana de Ciencias de la Educación. Dr. en Salud Pública, Universidad Autónoma de Barcelona.
- **Dante Cáceres**, médico veterinario, Mr. en Salud Pública. U. de Chile
- **Alejandro Maass**, ingeniero civil en Matemáticas U. de Chile. Dr. en Matemáticas, Université d'Aix-Marseille II, Francia.
- **Alex Di Genova**, ingeniero en Bioinformática. U. de Talca

Cómo se financiaron los estudios

"Candela" fue financiado por el Leverhulme Trust y el Biotechnological and Biological Sciences Research Council de Reino Unido, así como por fondos de investigación local aportados por todos los investigadores del consorcio.

ChileGenómico fue financiado por un proyecto Fondef.



EL CÁNCER DE MAMA EN CHILE

INTRODUCCIÓN

Lo sabíamos gracias a la historia, pero hoy la ciencia le puso números: los chilenos somos mestizos. Distintos estudios genéticos lo han confirmado: contamos con una ancestría genética que es en un 52% de origen europeo, un 44% amerindia –aymara o mapuche y un 4% africano.

Pero, ¿de qué sirve este dato? ¿Qué aporte puede traernos conocer nuestra genética? La respuesta está, principalmente, en la salud. De los genes depende en gran parte el desarrollo de ciertas enfermedades, por ejemplo, la ascendencia cercana a los pueblos originarios está más vinculada a la aparición de diabetes o problemas a la vesícula. La población con ascendencia europea, en tanto, tiene un mayor riesgo de desarrollar fibrosis quística o algunos tipos de cáncer, como el cáncer de mama. Este último, de hecho, es el más frecuente entre las chilenas y, de acuerdo a investigaciones recientes, tiene características propias que vale la pena conocer. Nuestros genes mestizos están hablando.

FOCALIZACIÓN

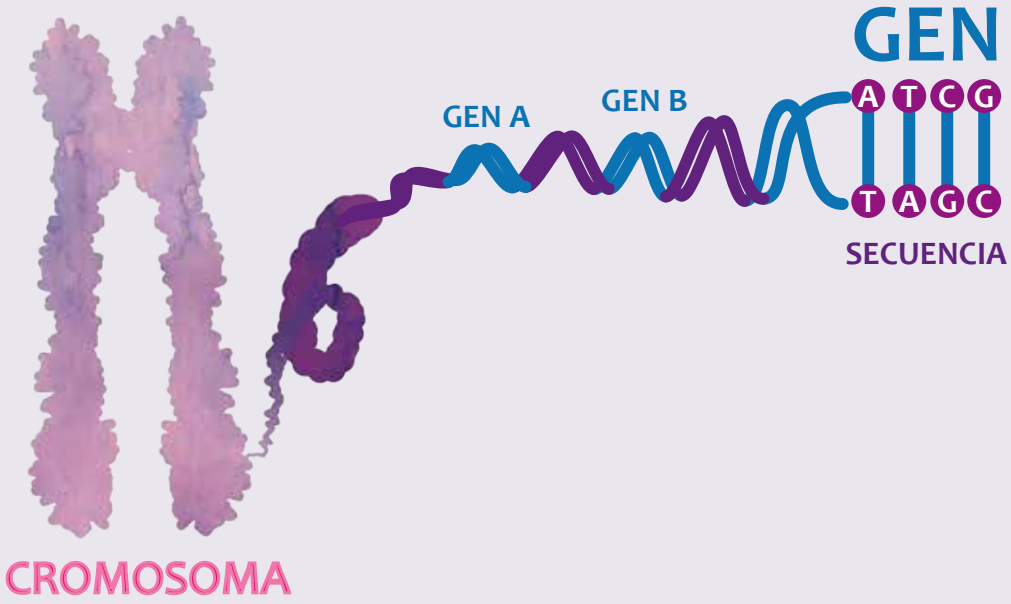
¿Cómo podrías relacionar una enfermedad con los genes de una determinada población?

¿Qué es un gen?

El color de los ojos, el tamaño de la orejas, la forma de los pies. Nuestras características físicas dependen en gran parte de los genes que tenemos y que hemos heredado de nuestros padres. Pero, específicamente, ¿qué es un gen?

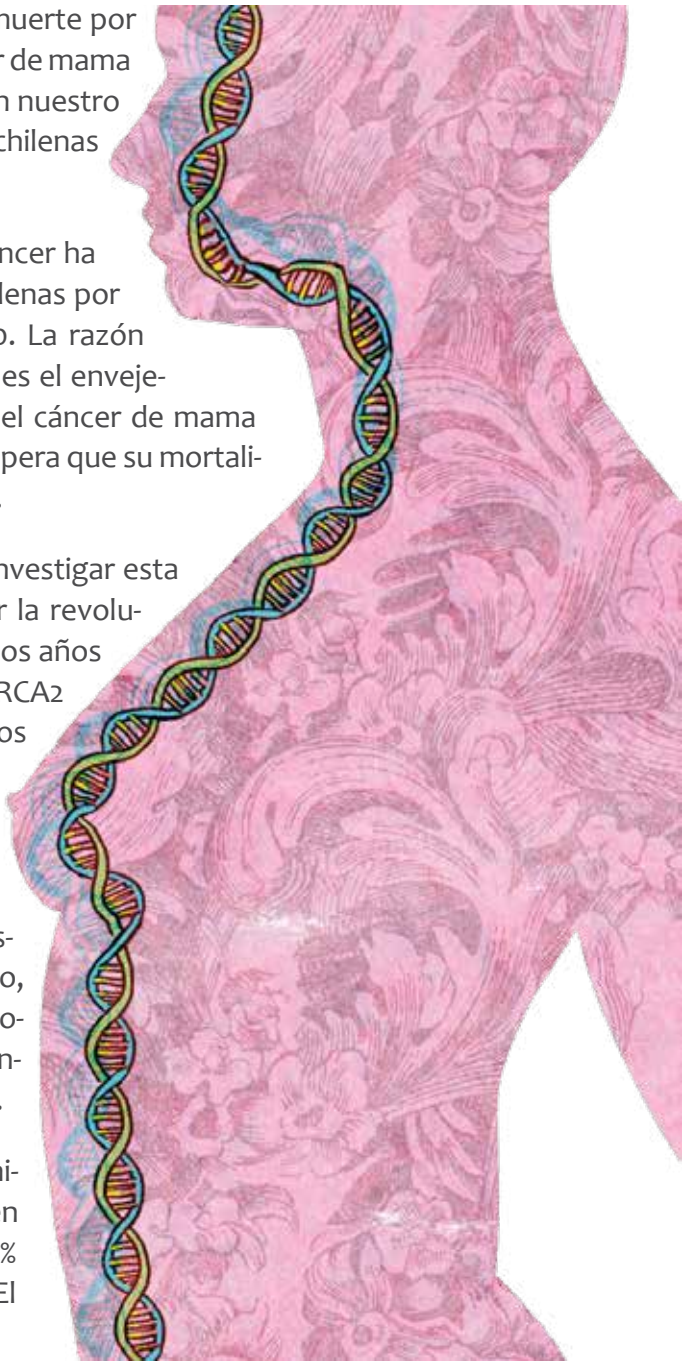
En palabras simples, un gen es un pedazo de ADN (ácido desoxirribonucleico), la molécula que contiene nuestra información genética. Para entenderlo mejor, partamos de algo más grande: la célula. En el núcleo de casi todas las células de nuestro cuerpo se encuentran 46 cromosomas: 23 heredados de la madre, y 23 heredados del padre. Si desplegamos cada cromosoma como si fuera una cinta, se ve la estructura del ADN, que parecen dos hilos entrelazados. El gen es un pedacito microscópico de este ADN.

Los genes le indican a la célula que proteínas debe fabricar, y en que momento, estableciendo así la inmensa mayoría de nuestras características.



Los genes mestizos del cáncer de mama

A fines de los noventa se desclasificaron dos genes relacionados con el desarrollo del cáncer de mama: el BRCA1 y el BRCA2. Entonces se supo que cuando estos sufrían mutaciones, el riesgo de presentar la enfermedad era de tres a sietes veces mayor. Durante años, la investigadora Pilar Carvallo ahondó en este tema y descubrió que, en el país, hay características genéticas propias de las chilenas que inciden en el desarrollo de este cáncer.



A nivel mundial, es la primera causa de muerte por cáncer en la mujer. Anualmente, el cáncer de mama mata a 458 mil mujeres en el planeta y en nuestro país, los datos no son mejores: cuatro chilenas fallecen al día por esta enfermedad.

Eso no es todo: la mortalidad de este cáncer ha ido creciendo. Si en 1990 morían 823 chilenas por esta causa, en 2012 fueron más de 1300. La razón de esta alza, coinciden los especialistas, es el envejecimiento de la población: la incidencia del cáncer de mama aumenta con la edad. Por lo mismo, se espera que su mortalidad siga creciendo en los próximos años.

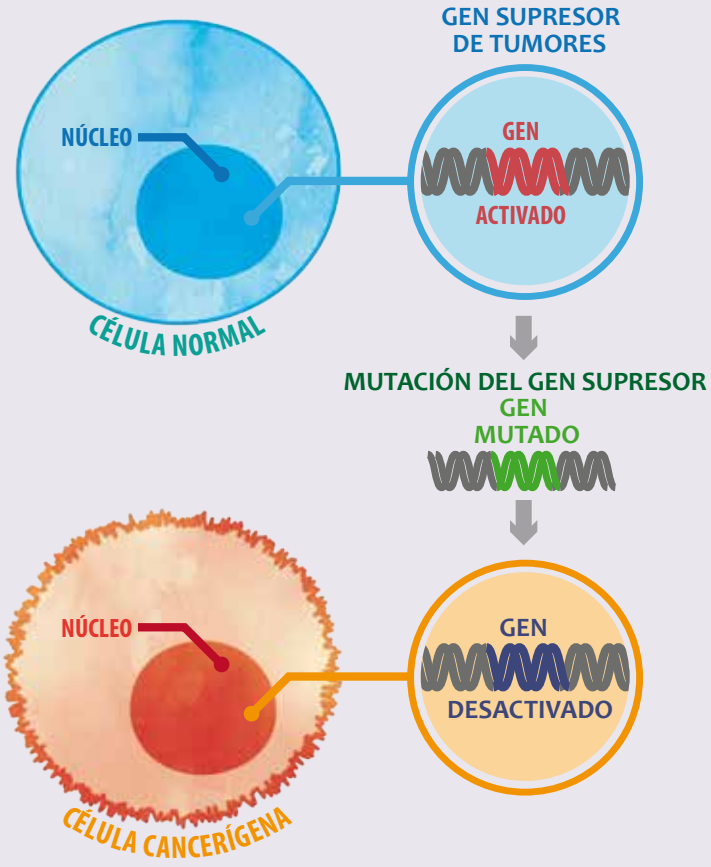
En este contexto, sobran razones para investigar esta enfermedad. Por eso, no es de extrañar la revolución que significó el descubrimiento, en los años noventa, del rol de los genes BRCA1 y BRCA2 en el desarrollo del cáncer de mama. Estos genes, en condiciones normales, reparan el ADN y mantienen el crecimiento de las células mamarias. Son "supresores de tumores", es decir, reducen la probabilidad de que una célula se transforme en una célula cancerígena. Por eso, si sufren alguna mutación, dejan de funcionar como debieran y ahí es cuando aumenta el riesgo de desarrollar la enfermedad.

De acuerdo a la organización estadounidense Breastcancer.org, las anomalías en estos genes pueden explicar hasta el 10% de todos los casos de cáncer de mama. ¿El resto de los casos? Poco se sabe.

¿Qué son los genes supresores de tumores?

Las células de nuestro cuerpo nacen, crecen, se dividen y mueren. Pero este proceso puede tener errores y es necesario evitar que células defectuosas proliferen en nuestro cuerpo. Los genes supresores de tumores son los encargados de detener la progresión del ciclo celular cuando notan algún fallo en el ADN. Así evitan que una célula dañada se multiplique, y que se transforme en un tumor. El problema viene cuando estos genes supresores tienen mutaciones.

Cuando los genes supresores de tumores no funcionan adecuadamente, la célula sigue realizando sus ciclos de división celular a pesar del daño provocado en el ADN. Así comienza la proliferación anormal de células, las que además acumulan mutaciones que no son corregidas, dando origen a tumores.



El rol del mestizaje

Tenían en promedio 27 años, y conformaban prácticamente un Club de Toby. Los españoles que llegaron a conquistar Chile eran jóvenes y estaban solos: con ellos, había venido una mujer blanca por cada ocho hombres. Por eso, el intercambio con las llamadas "indias" no se haría esperar.

El proceso fue inicialmente forzoso: abundaron las violaciones. El resultado fue el nacimiento de múltiples niños descendientes de españoles y mujeres indígenas. Un ejemplo es el conquistador Francisco de Aguirre, a quien los cronistas de la época le asignaron más de cincuenta hijos a lo largo del territorio nacional.

"Los españoles que llegaron fueron muy pocos, pero dejaron mucha descendencia. Eso quiere decir que repartieron los cromosomas; se multiplicaron los genes españoles", dice la doctora en Ciencias Biológicas de la Universidad Católica, Pilar Carvallo. El fenómeno histórico le sirve para explicar por qué, en Chile, se repiten con frecuencia algunas mutaciones en el gen BRCA1 y BRCA2:

"Hicimos un estudio en trescientas pacientes con cáncer de mama hereditario, y encontramos 25 mutaciones diferentes en 70 familias. De estas mutaciones, nueve se repiten, y la mitad están descritas en España", explica la genetista. Para tener una idea de

la cantidad de alteraciones que se pueden encontrar, un dato: solo para el gen BRCA1 se han descrito, en el mundo, más de seiscientas mutaciones asociadas al cáncer de mama. Es decir, las que hay en el país son apenas unas cuantas.

¿Y qué pasa con el resto de las familias estudiadas? "Las otras mutaciones que encontramos son mundiales: están en Europa, Estados Unidos, probablemente desde antes de Cristo", explica la especialista.

Francisco de Aguirre (1507-1581).

Conocimientos que abren preguntas

En sus estudios, Pilar Carvallo descubrió que solo el 20% de las familias estudiadas tenía alguna mutación en los genes BRCA1 o BRCA2. Este porcentaje es similar a lo encontrado en España, donde es el 25%, lo que confirma el rasgo hereditario del cáncer de mama.

Las preguntas que se hizo la genetista, sin embargo, iban más allá: si las mutaciones a estos genes explican 1 de cada 5 casos hereditarios en Chile, ¿qué ocurre con el resto? Se abrió entonces una nueva línea de investigación, y comenzó a estudiar otros genes que podrían estar relacionados con el cáncer de mama y que se habían mencionado ya en la literatura especializada, como ATM, BRIP1, CHEK2 y PALB2. "En Chile no encontramos nada relevante", dice Carvallo.

Otra pregunta aún sin responder está relacionada a los genes BRCA1 y BRCA2: tener una mutación no significa que se vaya a desarrollar la enfermedad. La probabilidad, en estos casos, varía entre el 40% y el 85%. "Hay personas portadoras de una mutación que no tienen ningún tipo de cáncer en toda su vida", dice Carvallo. ¿A qué se debe esto? "No lo sabemos. Podemos pensar en distintos mecanismos moleculares, o en condiciones ambientales que tal vez protegen. Pero ¿por qué a una mamá con la misma mutación que su hija no le da cáncer, y a su hija, sí? ¿Por qué a una le da a los 60 años y a la otra, a los 25?", pregunta la doctora.

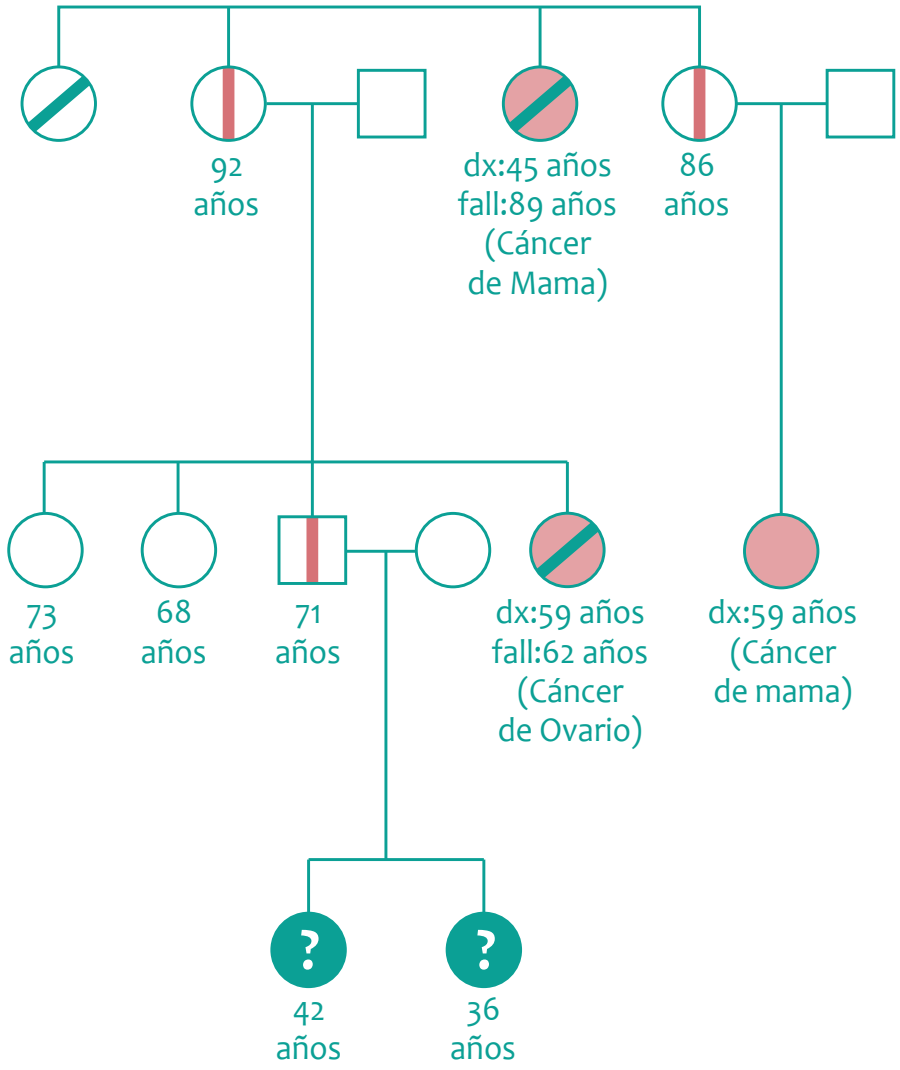
Como suele ocurrir con las investigaciones científicas, hay más preguntas que respuestas.

Otra vuelta de tuerca

Hasta ahora, los estudios realizados se han centrado en familias que comparten la herencia de las mutaciones en estos genes. Hoy, Pilar Carvallo tiene interés en estudiar a mujeres con cáncer de mama no hereditario. Entre ellas, hay un 10% que presenta mutaciones genéticas. "Hay un mundo dentro de los genes y funciones biológicas que desconocemos. Pero seguramente, las respuestas están ahí", dice la doctora.

EXPLORACIÓN

Observa y analiza el siguiente pedigree del gen BRCA1.



dx: DIAGNÓSTICO
fall: FALLECIDO

HOMBRE	MUJER		HOMBRE	MUJER	
		FALLECIDO			PORTADOR DE LA MUTACIÓN **BRCA1**
		NO PORTADOR			AFECTADO CON CÁNCER

De acuerdo a lo observado en el pedigree:

¿Es el gen BRCA1 un rasgo dominante o recesivo? Utiliza fundamentos científicos sostenidos en evidencias, para responder.

Algunos de los individuos de la última generación, indicados con el signo (?), ¿podrían tener cáncer? ¿Qué tipo de cáncer?

REFLEXIÓN

1 ¿Por qué crees que a ciertos portadores del gen no les da cáncer y a otros si?

2 ¿Cuál sería tu hipótesis para explicar por qué a ciertas personas les da cáncer a los 25 años y a otras a los 60 años?

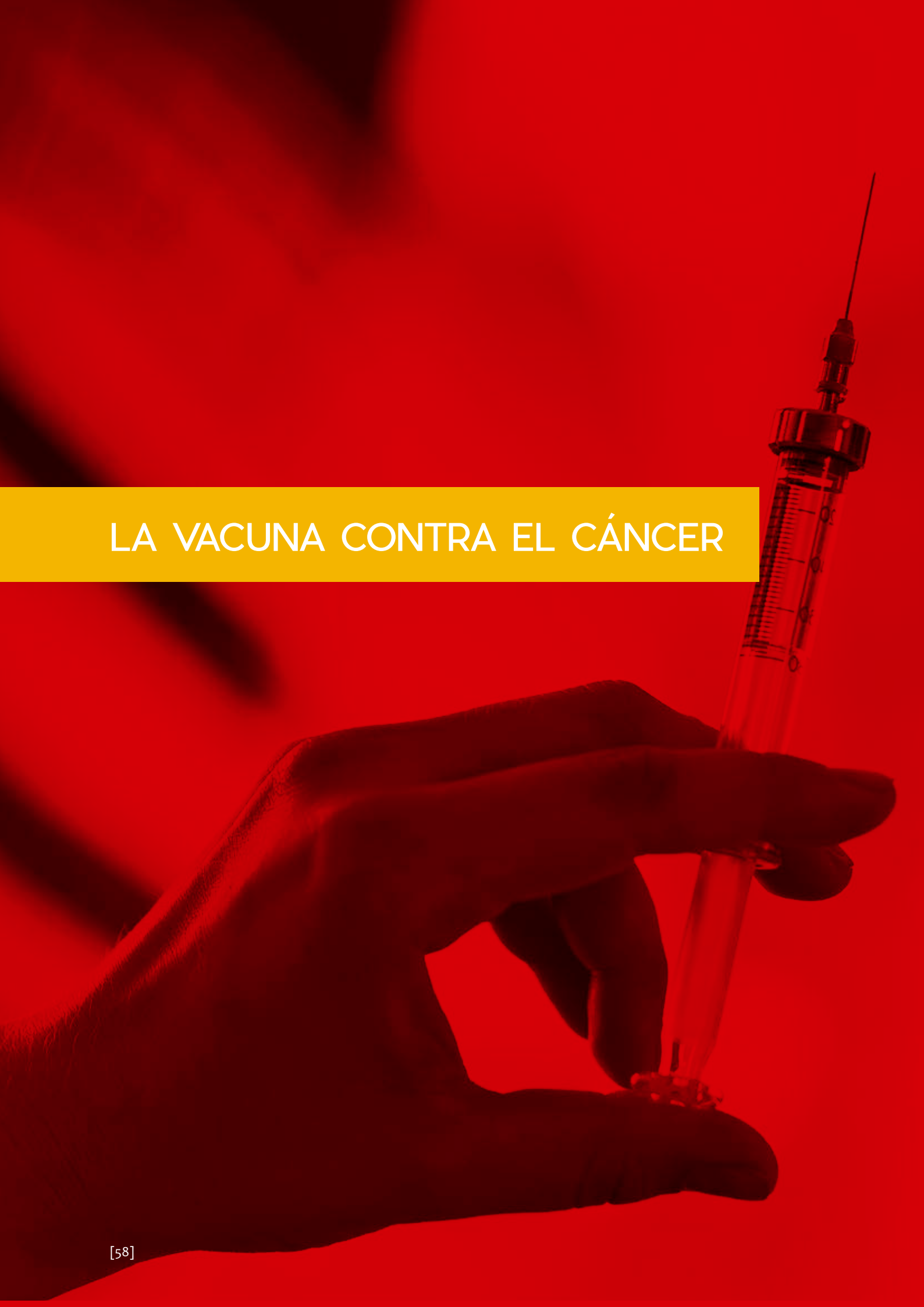
El equipo de trabajo

- **Hospital de Valdivia:** doctor Claudio Missarelli, doctora Mariela Silva y enfermera matrona Mabel Ríos.
- **Hospital de Barros Luco:** doctor Hernando Paredes y enfermera Isabel Avendaño.
- **Hospital Antofagasta:** doctor Luis Matamala y las enfermeras Cynthia Rodríguez y Carolina Cortés.
- **Red de Salud Universidad Católica:** doctor Mauricio Camus y enfermera Catalina Ruiz.
- **Laboratorio UC:** genetista Pilar Carvallo y las doctoras en bioquímica Carolina Álvarez y Teresa Tapia.

Cómo se financiaron los estudios

El trabajo relacionado con BRCA1 y BRCA2 fue financiado por un proyecto Fonis y otro Fondef.

LA VACUNA CONTRA EL CÁNCER



INTRODUCCIÓN

Nuestro cuerpo se compone de células, la unidad estructural y funcional de todos los seres vivos. En 1830 Theodor Schwann junto con Matthias Schleiden postularon que las células son las unidades elementales tanto en plantas como en los animales.

En nuestro cuerpo existen distintos tipos de células, todas ellas se forman de una preexistente, cumplen su función y finalmente mueren. En ciertos casos este proceso se puede alterar generándose mayor número de células de las adecuadas, nuevas células que presentan alteraciones o, por otro lado, células que sobreviven más de lo esperado. Cuando esto ocurre, estas células pueden generar tumores, que, en determinados casos, pueden desencadenar lo que conocemos como cáncer.

¿Por qué nos da cáncer?

El cáncer ocurre cuando las células crecen de manera descontrolada y se extienden a los tejidos que las rodean, debido a determinados cambios en los genes que las controlan. Puede originarse a partir de casi cualquier célula del cuerpo humano, y formar masas de tejidos denominadas tumores. Algunos tipos de cáncer forman tumores sólidos, mientras que otros, los que afectan la sangre como las leucemias, no lo hacen.

Aunque todavía no se conocen todas las razones que provocan cáncer, existen varios factores de riesgo que aumentan las posibilidades que una persona desarrolle la enfermedad.

Estos son:

Predisposición genética: Se estima que entre el 5% y el 7% de los casos de cáncer se produce porque las personas heredan genes alterados. Las personas con antecedentes familiares de la enfermedad pueden realizarse estudios para detectar si han heredado determinada mutación genética.

Agentes externos: Un 40% de los cánceres se debe a factores externos que causan alteraciones en las células. De estos, el de mayor riesgo es el tabaco: de acuerdo al Instituto Nacional del Cáncer, el consumo de tabaco es responsable del 40% de las muertes ocasionadas por esta enfermedad. Otros factores relevantes son ciertos hábitos de vida, como el consumo de alcohol, el sedentarismo y la obesidad. Así también, la exposición a algunos elementos químicos, como el arsénico, mercurio, níquel, plomo, entre otros, también aumentan las posibilidades de padecer este mal.

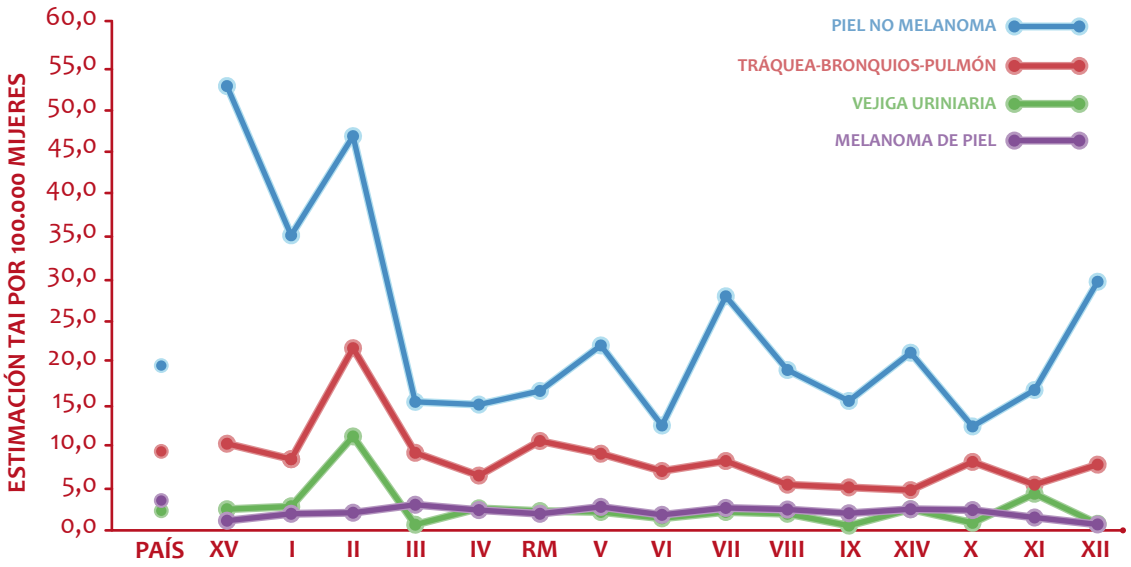
Envejecimiento: Para que el cáncer se origine deben producirse de cuatro a seis mutaciones o alteraciones genéticas celulares. Esto toma tiempo, lo que explica que el riesgo aumente con los años y que la enfermedad sea más frecuente a partir de los 60 años.

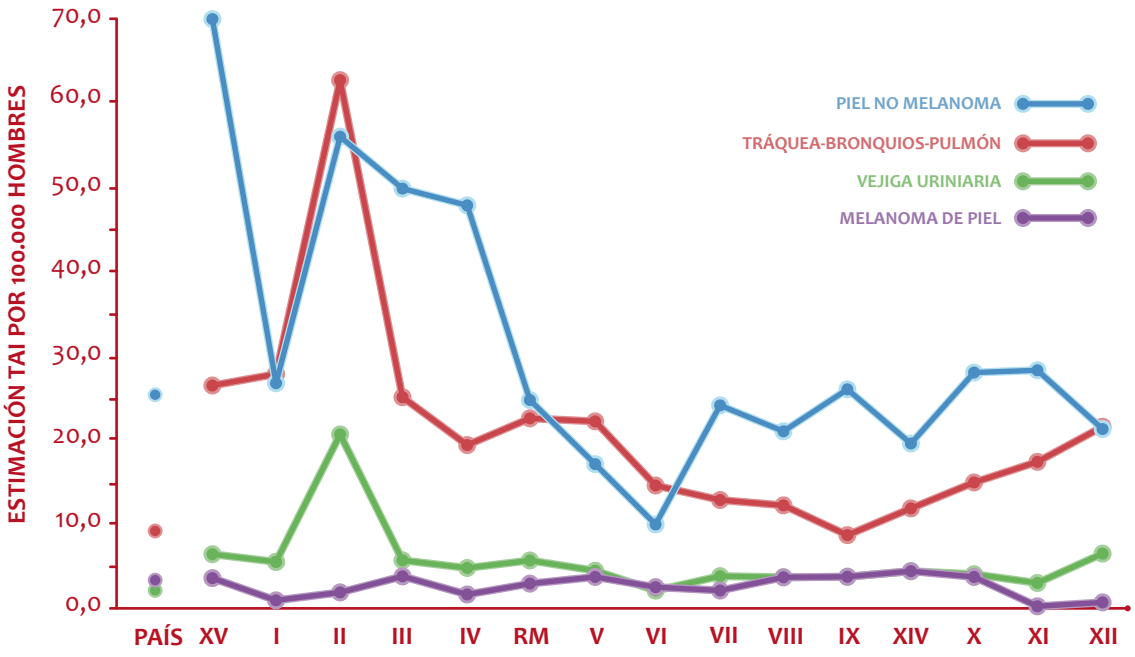
FOCALIZACIÓN

Normalmente nuestro sistema inmune destruye a las células tumorales, pero muchas veces esto no es suficiente para evitar la aparición del cáncer ¿Crees que es posible fortalecer nuestro propio sistema inmune para combatir esta enfermedad? ¿Cómo lo harías?

EXPLORACIÓN

Los siguientes gráficos fueron obtenidos del Primer Informe de Registros Poblacionales de Cáncer de Chile. En ellos se observa la incidencia estimada en hombres y mujeres, para diferentes tipos de cáncer, según regiones.





¿Qué relación observas entre el desarrollo de los distintos tipos de cáncer, género y las distintas regiones de Chile? ¿Cómo podrías explicar lo observado?

TAI: Tasa ajustada de incidencia

¿Cuáles son los tipos de cáncer más habituales?

Existen más de 200 tipos de cáncer, cada uno con sus características, síntomas y tratamientos propios. En conjunto, matan a 8,2 millones de personas al año, transformándose así en el responsable del 13% de todos los fallecimientos en el mundo.

¿Qué ocurre en Chile? Se estima que hoy, cada 25 minutos un chileno muere por esta enfermedad, lo que se traduce en 22 mil fallecimientos anuales.

Según el informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Cáncer en las Américas: Perfiles de país 2013, el cáncer de estómago es el que produce la mayor cantidad de muertes de chilenos por año: 3.350. Le sigue el cáncer de pulmón, con 2.532 fallecimientos anuales, una cifra absolutamente prevenible si se considera que el 95% de este tipo de cáncer es producto del tabaco. El tercer lugar se lo adjudica el cáncer colorrectal, con 1.806 casos.

Separados por sexo, los tipos de cáncer con los mayores números de casos de mortalidad entre los hombres son el de próstata, estómago y pulmón. Mientras que, para las mujeres, corresponden al de mama, vesícula biliar y estómago.

Se espera que para el año 2020 el cáncer se transforme en la principal causa de muerte en el país, superando a las enfermedades cardiovasculares. En algunas regiones del país como Arica y Parinacota, Antofagasta y Aysén, ya encabeza este triste ranking.

La vacuna chilena contra el cáncer

Se espera que el año 2020 el cáncer sea la principal causa de muerte en Chile, superando incluso a las enfermedades cardiovasculares. Ante este panorama, el Dr. Flavio Salazar ha desarrollado una vacuna que fortalece el sistema inmune, y permite así dar la pelea contra este mal. ¿Cómo funciona? Aquí lo explicamos.

Era mediados de los años 90 cuando el biólogo Flavio Salazar realizó su doctorado en el Instituto Karolinska, en Suecia. En ese entonces, cuenta él, la inmunología contra el cáncer era un tema que todavía estaba en pañales: "se trabajaba en modelos celulares, pero sin ninguna evidencia clínica", dice. Como una de las áreas fuertes del centro era la inmunología tumoral, decidió usar los conocimientos adquiridos ahí y hacer algo al respecto.

De vuelta al país en 1999, se incorporó al Programa Disciplinario de Inmunología del Instituto de Ciencias Biomédicas de la Universidad de Chile, y estableció un grupo de investigación que incluye a oncólogos, inmunólogos, bioquímicos y biólogos. "Conocí a Carlos Ferrada, oncólogo, y a Mercedes López, inmunóloga. Entonces empezamos a ver cómo podíamos establecer un estudio clínico", cuenta.

Pronto llegaron a una idea que no se demoraron en poner en práctica, y que ha arro-

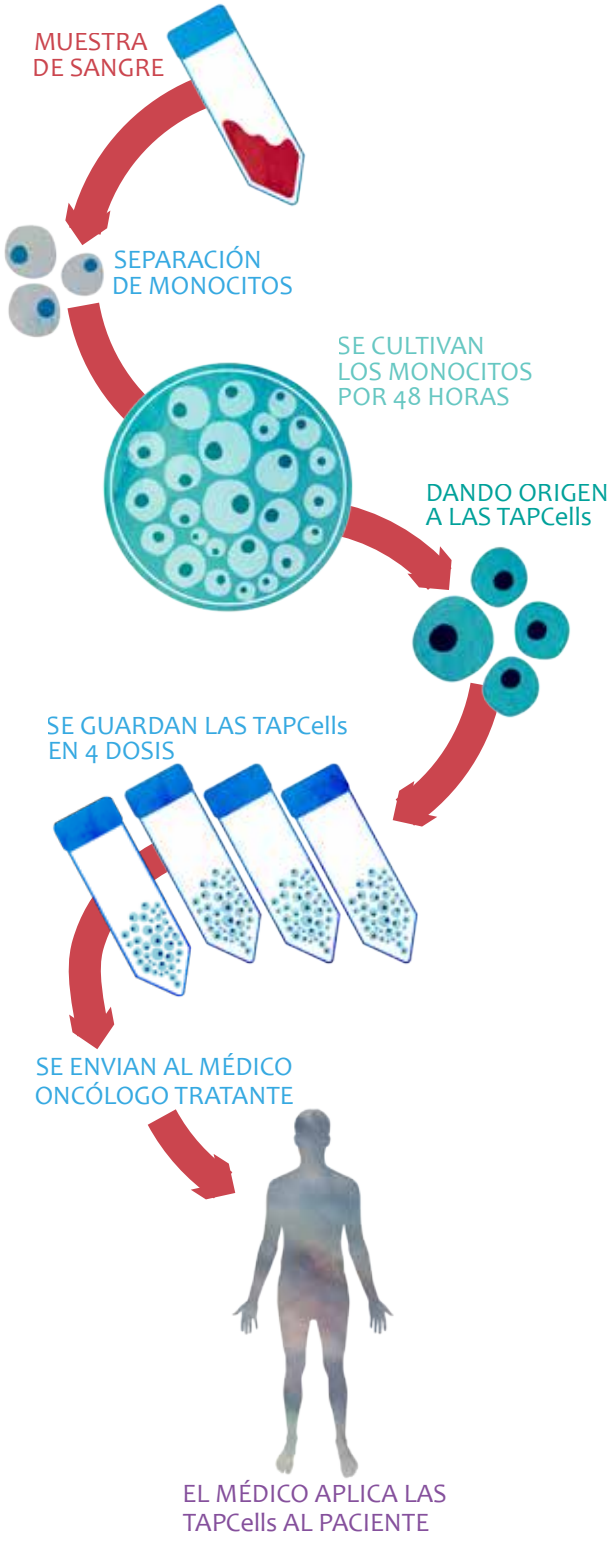
jado resultados sorprendentes. ¿En qué consiste? En términos sencillos, toman una muestra de sangre del paciente, le "informan" que hay un tumor, y vuelven a inyectarla al cuerpo de la persona. Así se activa el sistema inmunológico, que se vuelve más eficiente en su lucha contra el cáncer.

"Nosotros tenemos células dendríticas en todos los tejidos del cuerpo, que son las verdaderas vigilantes del sistema inmune", explica el Dr. Salazar. "Cuando crece un tumor, estas células se alteran, van al lugar, "comen" una muestra del tumor, y lo transportan a los ganglios linfáticos. Ahí le entregan la información a los linfocitos T, que son los soldados del sistema, que parten a atacarlo". Ahora bien, el sistema inmune no siempre reconoce al tumor como una amenaza: como estos nacen de células propias del cuerpo, muchas veces los tolera.

Por este motivo, el grupo de investigación decidió que había que enseñarles a las células dendríticas a detectar los tumores. Pero había un problema adicional: "Las células dendríticas son apenas un 0,5% de los glóbulos blancos, y la mayoría se encuentra en la piel, no en la sangre". Para hacer frente a esta escasez, el equipo inventó un método: "Tomamos otros glóbulos blancos, los monocitos, y los manipulamos en el laboratorio de tal manera que generamos células dendríticas", explica el especialista. Luego las mezclaron con extractos tumorales para activarlas, y se las inyectaron a los pacientes para que el sistema inmune siguiera su curso.

A estas células nacidas en el laboratorio las llamaron TAPCells. Hoy esta terapia se aplica en dos clínicas privadas de la capital: la Clínica Las Condes, y Oncobiomed.

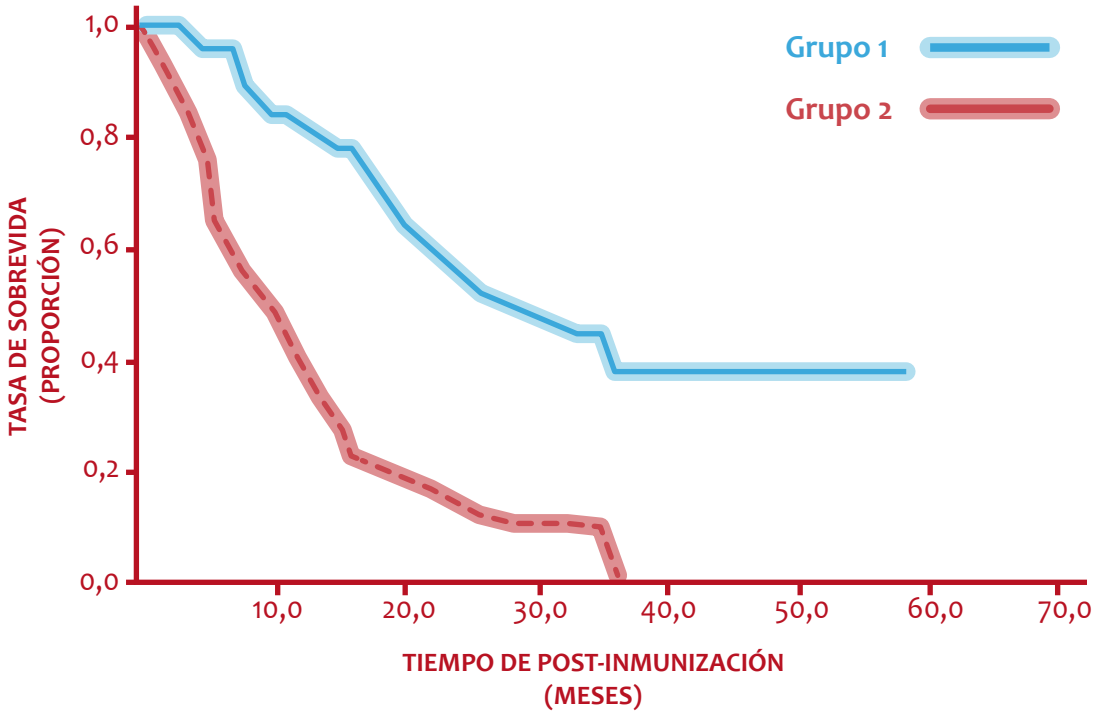
¿Cómo funciona la vacuna?



Fuente: adaptado de tapcells.com

EXPLORACIÓN

El Dr. Flavio Salazar junto a su grupo de investigación desarrolló la terapia TAPCells para tratar personas enfermas de cáncer. En el siguiente gráfico se compara la sobrevida de los pacientes con melanoma (cáncer de piel) en etapa 4. Considera que ambos grupos recibieron el tratamiento.



¿Qué diferencias observas entre el grupo 1 y grupo 2? ¿Qué conclusiones podría obtener en base a estos resultados, respecto a la terapia TAPCells?

Resultados esperanzadores

En 2003 el grupo de investigación comenzó a realizar estudios en personas. Se eligió partir con el melanoma (cáncer de piel) porque es muy resistente a los tratamientos de quimio y radioterapia. En su etapa más avanzada, la etapa 4, la sobrevida de un paciente en general no supera los diez meses. "Vimos que, con este tratamiento, el promedio aumentaba a 16 meses", explica el Dr. Salazar. Y si se considera a las personas que respondieron a la terapia, el 60% de los casos, el promedio de sobrevida pasaba a ser de tres años: "Algunos incluso superaron los 5 años".

Lo más interesante es lo que ocurrió con los pacientes en etapa 3: "Estas personas tienen un 80% de posibilidades de hacer metástasis en un año. Pero a las que vacunamos, solo un 20% la hizo", puntualiza el Doctor.

A raíz de estos buenos resultados, el equipo se puso a trabajar con el cáncer de próstata. Aplicaron el mismo principio, y los resultados fueron igualmente alentadores. "Esta vacuna puede ser universal, siempre que hagamos los cambios para cada tipo de tumor", explica el Dr. Salazar. Además, tiene como beneficio adicional el no producir efectos secundarios, tan propios de la quimio y la radioterapia.

De todas maneras, el Dr. Salazar es cauto: "Uno no puede generalizar y decir 'me resultó en melanoma, así es que va a resultar en próstata'. Hay que probar uno por uno, cáncer por cáncer. Cada tumor es de origen distinto, algunos son más resistentes y otros responden mejor a la quimio".

Hoy, el equipo está enfocado en estudiar el cáncer de vesícula biliar, una enfermedad que otorga a Chile la particularidad de ser el país con los más altos indicadores de mortalidad en el mundo para esta patología. Afecta principalmente a las mujeres, convirtiéndose en el segundo cáncer con mayor mortalidad para las chilenas. "Creo que vamos a tener un impacto importante desde la epidemiologia", dice el Dr. Salazar.

REFLEXIÓN

¿Por qué crees que algunos individuos responden a la terapia, mientras otros no lo hacen?

APLICACIÓN

El Dr. Flavio Salazar está trabajando actualmente con el cáncer de próstata. Si tuvieras que realizar el protocolo de TAPCells para pacientes con este tipo de cáncer, ¿cómo lo harías? ¿Y cómo evaluarías si funciona el tratamiento? Haz un esquema.

Equipo de trabajo

- **Flavio Salazar.** Biólogo, PhD.
- **Carlos Ferrada.** Médico. Cirujano oncólogo.
- **Mercedes López.** Médico. Especialista inmunología clínica, PhD.
- **Cristian Pereda.** Ingeniero en biotecnología.
- **Diego Reyes.** Médico. Especialista en urología, PhD.
- **Andrés Tittarelli.** Ingeniero en biotecnología, PhD.
- **Alejandra Gleisner.** Ingeniero en biotecnología, PhD.
- **Fermín González.** Odontólogo, PhD.
- **Eugenio Rivas.** Publicista.
- **Virna Salazar.** Psicóloga.
- **Marisol Briones.** Asistente.

Cómo se financiaron los estudios

Los estudios han tenido un costo que se acerca a los 3,5 millones de dólares. Han sido financiados mediante proyectos concursables de agencias del Estado (FONDECYT, FONDEF, Corfo Innova) y con aportes de la Universidad de Chile, de la Clínica Las Condes y de la empresa Oncobiomed.

LA ENFERMEDAD DE STEPHEN HAWKING

INTRODUCCIÓN

En 1665, el científico inglés Robert Hooke revisaba un corcho bajo un rudimentario microscopio fabricado por él mismo, cuando notó unas diminutas unidades que se repetían como las celdas de un panal. Las llamó "células". Años más tarde, cuando la tecnología avanzó lo suficiente para crear el microscopio óptico, surgió la biología celular, la disciplina que estudia justamente estos pequeños elementos.

Gracias al microscopio y al interés de la ciencia en comprender el funcionamiento de las células, es que se ha logrado entender diversas enfermedades y encontrar maneras de frenarlas. Un ejemplo es el cáncer de cuello de útero, provocado por el Virus Papiloma Humano (VPH), para el cual existe ahora una vacuna. Hoy, dentro de la amplia gama de investigaciones a nivel celular, destaca la búsqueda para comprender y ojalá curar la Esclerosis Lateral Amiotrófica (ELA), una enfermedad paralizante que causa la muerte a quien la padece.

FOCALIZACIÓN

¿Por qué crees que se mueren las neuronas en los pacientes con ELA? ¿Cómo podrías investigar esto?

¿Qué es la Esclerosis Lateral Amiotrófica?

Es una enfermedad de las neuronas que controlan el movimiento de los músculos, las llamadas motoneuronas. Estas se desgastan y dejan de enviar mensajes a los músculos, lo que va provocando una parálisis progresiva en quien la padece.

La expectativa de vida es de entre tres y cinco años, aunque aproximadamente una de cada cuatro personas vive más tiempo. Hasta el momento no existe una cura, y los medicamentos se usan para aliviar los síntomas y prolongar un poco más la supervivencia.

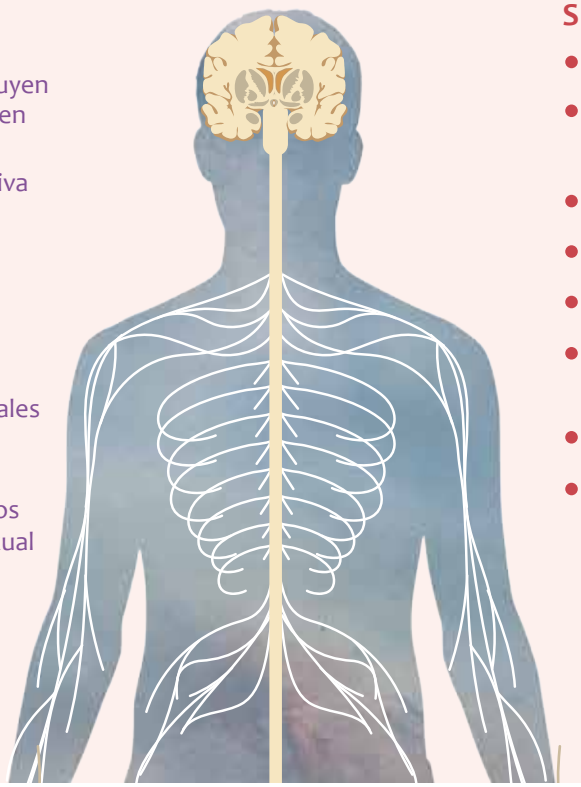
El físico británico Stephen Hawking es una excepción a la sobrevida de esta enfermedad: contra todo pronóstico lleva más de 50 años viviendo con ella.

La enfermedad provoca una gran discapacidad motora

CÓMO ACTÚA

- Neuronas motoras disminuyen su funcionamiento y mueren
- Parálisis muscular progresiva
- Pérdida de masa muscular
- Riesgo de complicaciones y muerte
- No afecta funciones mentales ni sensibilidad
- No daña los músculos de los esfínteres ni la función sexual

EXPECTATIVA DE VIDA
2 a 5 años



SÍNTOMAS

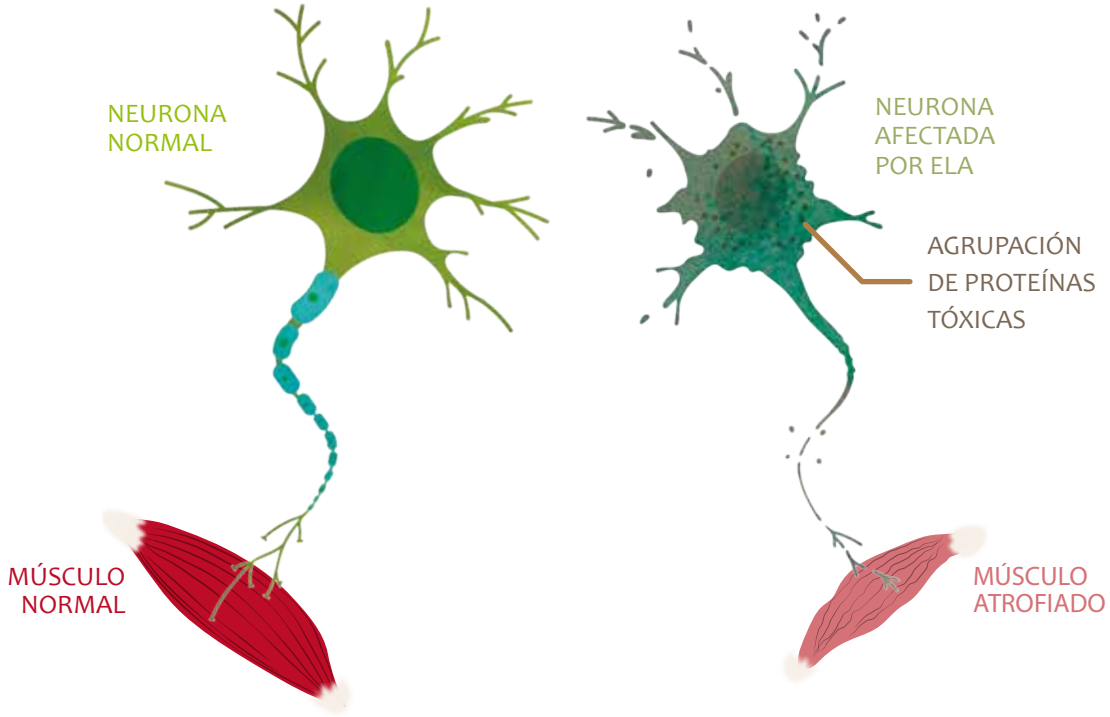
- Depresión
- Dificultad para respirar o para deglutir. Babeos o arcadas.
- Pérdida de peso
- Ahogos
- Caída de la cabeza
- Calambres, contracciones o rigidez muscular
- Parálisis
- Problemas en el lenguaje, cambios en la voz, ronquera

INCIDENCIA
2 de cada
100.000 personas

¿Por qué ocurre?

Aunque la Esclerosis Lateral Amiotrófica todavía presenta más incógnitas que certezas, conocemos algunas características que explican su desarrollo: las motoneuronas se van degenerando porque están sometidas a un alto nivel de estrés celular. Este estrés celular ocurre porque ciertas proteínas, que son necesarias para el funcionamiento de la neurona motora, comienzan a formar agregados dentro de la célula.

Estos agregados proteicos afectan el funcionamiento normal de la célula, impidiendo que la señal pase por el axón y viaje hacia el músculo. Y cuando al músculo no le llega la señal, deja de responder. Como lo explica Soledad Matus, doctora en Ciencias Biológicas, tener estos agregados de proteínas en las motoneuronas es como "tener un elefante en la casa": la señal no tiene cómo salir a la calle.



¿A quiénes afecta la ELA?

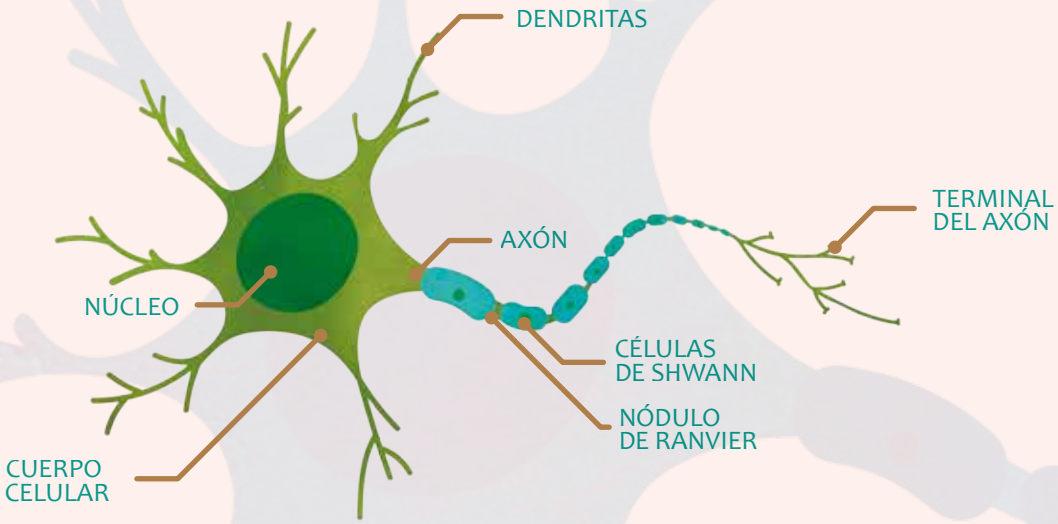
Existen dos tipos de ELA: la familiar y la esporádica. La primera ocurre en una de cada diez personas y tiene como causa directa un gen compartido con otros miembros de la familia. La ELA esporádica es la más común y su causa es desconocida.

La enfermedad aparece generalmente entre los 40 y 70 años de edad, y es tres veces más común en los hombres que en las mujeres. En Chile, se estima que hay entre 500 y 800 personas afectadas, aunque no existe un registro nacional y los cálculos se basan en estadísticas internacionales.

Por su dramatismo, y porque tampoco está cubierta por el Auge, es que urge avanzar hacia una cura.

¿Qué son las neuronas?

Las neuronas son un tipo de células del sistema nervioso, especializadas en recibir estímulos y conducir el impulso nervioso entre ellas o hacia otros tipos de células. Tienen un cuerpo celular, llamado soma; una o varias prolongaciones cortas que transmiten impulsos hacia el soma, denominadas dendritas; y una prolongación larga, denominada axón, que conduce los impulsos desde el soma hacia otra neurona u órgano.



Podemos clasificar a las neuronas de acuerdo al tipo de función que cumplen:

Neuronas sensoriales: Llevan los impulsos nerviosos desde los receptores hacia la médula espinal y el cerebro.

Neuronas motoras (motoneuronas): Llevan los impulsos nerviosos desde la médula espinal o el cerebro, hacia los músculos o glándulas.

Interneuronas: Son las más numerosas, y están en la médula espinal y el cerebro. Conectan unas neuronas con otras.

Curar la enfermedad de Stephen Hawking

A nivel celular pueden ocurrir muchas anomalías. Una de ellas es el aumento de muertes neuronales, lo que da origen a distintas enfermedades degenerativas. Una de estas es la Esclerosis Lateral Amiotrófica, la patología que afecta al famoso físico británico y cuya cura depende de entender a fondo qué ocurre en estas células que mueren, y por qué.

Algunos van perdiendo la capacidad de moverse. Otros, la memoria inmediata o las competencias cognitivas, como la dificultad de entender imágenes. Se conocen como enfermedades neurodegenerativas, y afectan seriamente a quienes las padecen. El Alzhéimer, el Parkinson, o la Esclerosis Lateral Amiotrófica son las más conocidas, aunque

hasta el día de hoy los científicos no terminan de entender sus causas.

Hasta ahora, sabemos que en el cuerpo humano existen miles de millones de células. Las neuronas son algunas de ellas, y se encargan de transmitir los impulsos nerviosos a lo largo de nuestros cuerpos. Cuando ocurre un aumento en los procesos de muerte celular, las neuronas disminuyen y esto genera la pérdida de movimiento, de memoria inmediata o de competencias cognitivas, según la enfermedad que se presente.

En la Esclerosis Lateral Amiotrófica, las neuronas que controlan los músculos son las afectadas. Estas llamadas motoneuronas transmiten señales desde el cerebro y la médula espinal hacia los músculos en la cabeza, las piernas y los brazos, controlando los movimientos voluntarios. Por eso, los primeros síntomas que aparecen cuando se presenta esta enfermedad son dificultades para caminar, correr, hablar y escribir. En la medida que avanza, se ven afectadas otras áreas del cuerpo, como los músculos del pecho, lo que provoca muchas veces la muerte por insuficiencia respiratoria.

EXPLORACIÓN

La Dra. Soledad Matus, en su laboratorio, evaluó un compuesto que podría mejorar la sobrevida de los animales que normalmente desarrollan la enfermedad a los 60 días de vida. Se adjunta una tabla con los datos obtenidos para los animales tratados con este compuesto y con un compuesto control (es decir, que no provoca los efectos atribuidos al compuesto en evaluación). El número inicial de animales fue de 20 por cada grupo. Cada 20 días se evaluó el número de animales sobrevivientes. Realiza un gráfico con los datos.

Días	Grupo control	Grupo tratado con el compuesto
0	20	20
20	20	20
40	20	20
60	20	20
80	15	19
100	12	17
120	10	15
140	8	15

¿Qué observas en el gráfico? ¿Qué efecto observas en el grupo tratado con el compuesto? ¿Qué podrías concluir del experimento?

Estrategias contra la ELA

Hace algunos años surgió en Estados Unidos el "Desafío del Balde de Hielo" (The Ice Bucket Challenge) para crear conciencia sobre el drama que esta enfermedad supone para el afectado y su familia. Este reto, que se viralizó y llegó a portadas de los medios, involucró a muchas celebridades que publicaron en las redes sociales videos de ellas mismas volcando sobre sus cabezas baldes con agua gélida.

En Chile, la investigadora de la Fundación Ciencia y Vida, y del Instituto Milenio de Neurociencia Biomédica (BNI), Soledad Matus, lleva más de ocho años investigando las características y causas de la ELA, mucho antes de que personas como Justin Bieber o Britney Spears vertieran hielo sobre sus cabezas. Para ello, trabaja con un modelo de ratones que le permite estudiar la progresión de la enfermedad y aplicar estrategias terapéuticas.

Uno de los resultados que han dado sus investigaciones es el descubrimiento de un tipo de azúcar llamada Trehalosa, un preservante de alimentos, que ayuda a eliminar estos agregados proteicos que perturban a las motoneuronas. Cuando se probó este compuesto en los ratones, se generó un retraso en la progresión de la ELA. "El resultado fue muy drástico. Los animales presentan los síntomas a los 120 días de provocada la enfermedad. Con la Trehalosa aparecían a los 140 días, lo que en el equivalente humano podría significar años", explica Matus. Todavía no se realizan estudios clínicos en personas, pero los científicos están optimistas respecto a lo que significa este descubrimiento.

Y eso no es todo. Otra de las aproximaciones que ha tomado Matus es la estrategia de "animar" a las motoneuronas. "Cuando estas neuronas están bajo estrés celular durante mucho tiempo, y la célula no es capaz de soportarlo, se activan mecanismos para provocar su propia muerte. Por lo tanto, la estrategia que estamos utilizando ahora es usar una molécula para apagar estas señales de muerte. La neurona muere porque le llegan señales que le dicen: 'llegó tu día'. Con estos compuestos podemos apagar estas señales y decirle 'anímate", explica la científica. Para conseguir este efecto se podrían utilizar ciertas drogas, o la manipulación genética. "Son experimentos en curso que nos permiten ver de otra manera el problema y tratar de descifrar quiénes son los involucrados en determinar las muertes de las neuronas", subraya Matus.

Mientras más avanzan los estudios sobre la ELA, más conocimientos e ideas aparecen para combatirla. Matus cuenta que trabaja también sobre dos teorías adicionales. Por una parte, dice: "Me gustaría ayudar a otras células que colaboran con las motoneuronas, las que las acompañan y les dan soporte nutricional. Estas células gliales también fallan en la enfermedad, entonces podríamos generar una ayuda indirecta a las motoneuronas, haciendo que estas otras células sean mas eficientes en su funcionamiento".

Por otro lado, Matus vuelve a la situación de estrés que genera la ELA a nivel celular. "Una de las preguntas que hay en el campo es si este estrés es bueno o malo, porque podría ser las dos cosas. Es lo que pasa en el trabajo: cuando uno está bajo estrés, uno

puede hacer muchas más cosas que las que hace habitualmente, o colapsar". Bajo esta premisa, dice, se podría pensar en el estrés neuronal como una respuesta de adaptación o sobrevivencia: "No es tan loca la idea de pensar en darle un pequeño estrés a la neurona, antes de que venga el período más fuerte, para que esté alerta. Sería como entregarle herramientas antes. Mi hipótesis es que en la enfermedad el estrés celular es positivo y hace que la neurona esté preparada, pero después de un punto se vuelve crónico y por eso muere".

Al compartir características comunes con otras enfermedades neurodegenerativas, los descubrimientos acerca del ELA podrían significar también avances en el estudio del Parkinson o el Alzhéimer. Así, por ejemplo, si se pudiera detener la "señal de muerte" en la Esclerosis Lateral Amiotrófica, se podría utilizar el mismo principio para tratar los otros males. De momento, aún hay que tener paciencia y esperar que las investigaciones sigan su curso.

REFLEXIÓN Y APLICACIÓN

1. ¿Crees que el compuesto utilizado en los experimentos podría ser administrado a pacientes humanos que tengan la enfermedad?

2. ¿Como se aprueba el uso de un nuevo tratamiento clínico para personas?

3. ¿Qué opinas respecto al uso de animales de experimentación en este tipo de experimentos?

4. La muerte de neuronas específicas del cerebro, ¿podrían generar efectos en la respiración, en la capacidad de caminar, o en las funciones de órganos como el hígado o el pulmón? ¿Por qué?

El equipo de trabajo

- **Soledad Matus.**
  Investigadora, bioquímica.
- **Evelyn Pardo.**
  Investigadora, bioquímica.
- **Natalia Muñoz.**
  Asistente de investigación, técnico analista químico.
- **Luis Osorio.**
  Estudiante de doctorado, biotecnólogo.

Cómo se financiaron los estudios

Los estudios reciben financiamiento de distintas líneas. Por una parte, del Instituto Milenio de Neurociencia Biomédica (BNI) y de un proyecto Fondap de Gerociencia. Para la investigación que busca apagar las "señales de muerte" de las neuronas, Soledad Matus cuenta con un proyecto Fondecyt.

Experimentación con animales:

Es importante mencionar que todos los experimentos que incluyan la utilización de animales requieren pasar por un proceso de evaluación por el comité de bioética de la Universidad o Instituto en donde se desarrollan. Su aprobación depende del compromiso del investigador de asegurar el bienestar y cuidado del animal durante la duración del experimento.

LOS CABLES DE NUESTRO CUERPO

INTRODUCCIÓN

Nuestro sistema nervioso es el más complejo y sofisticado del cuerpo. Está encargado de regular y coordinar nuestras funciones y actividades corporales, ¡es una gran misión! De esta manera es que parpadeamos sin pensarlo, soñamos o recordamos el camino del colegio a la casa.

El cerebro es el jefe de esta misión, quien está a cargo de dirigir que todo funcione, día y noche. Controla los músculos de movimiento voluntario (los músculos que se mueven cuando lo deseamos), y es por eso que no podemos bailar o patear una pelota de fútbol sin nuestro cerebro. El cerebro también nos ayuda a razonar: es el que permite que nos demos cuenta de que es mejor hacer las tareas ahora porque más tarde iremos al cine.

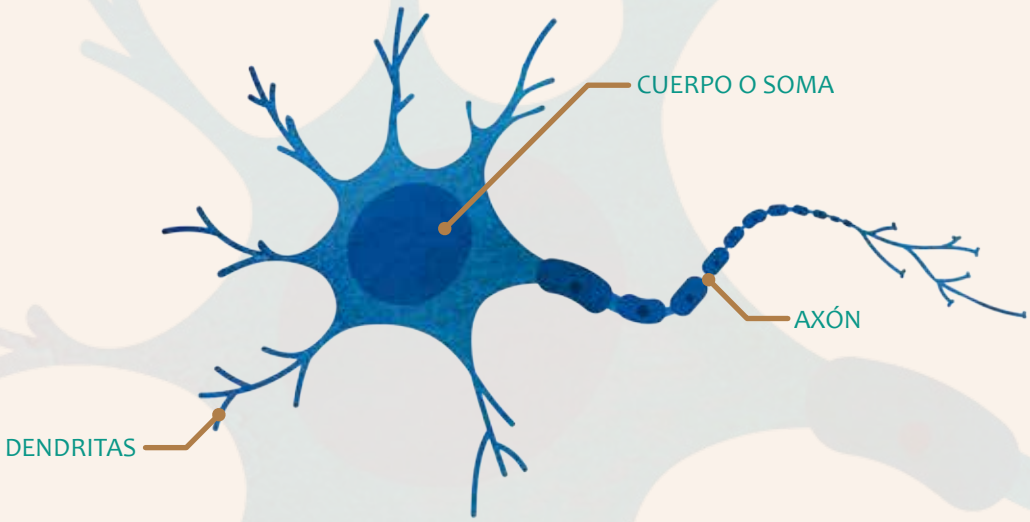
FOCALIZACIÓN

Habitualmente vemos representaciones de células redondas y con los organelos ordenados, ¿cómo te imaginas la estructura y organización al interior de una neurona?

¿Qué es una neurona?

El sistema nervioso está compuesto por las neuronas que son sus células fundamentales y básicas. Su forma es alargada y se especializa en la conducción de impulsos nerviosos.

En la siguiente infografía se pueden distinguir las principales estructuras de las neuronas:



Cuerpo o Soma: es la parte que tiene mayor diámetro. Al centro tiene una esfera a la que se denomina "núcleo", el cual tiene la información que dirige la actividad de la neurona. También aquí se encuentra el citoplasma.

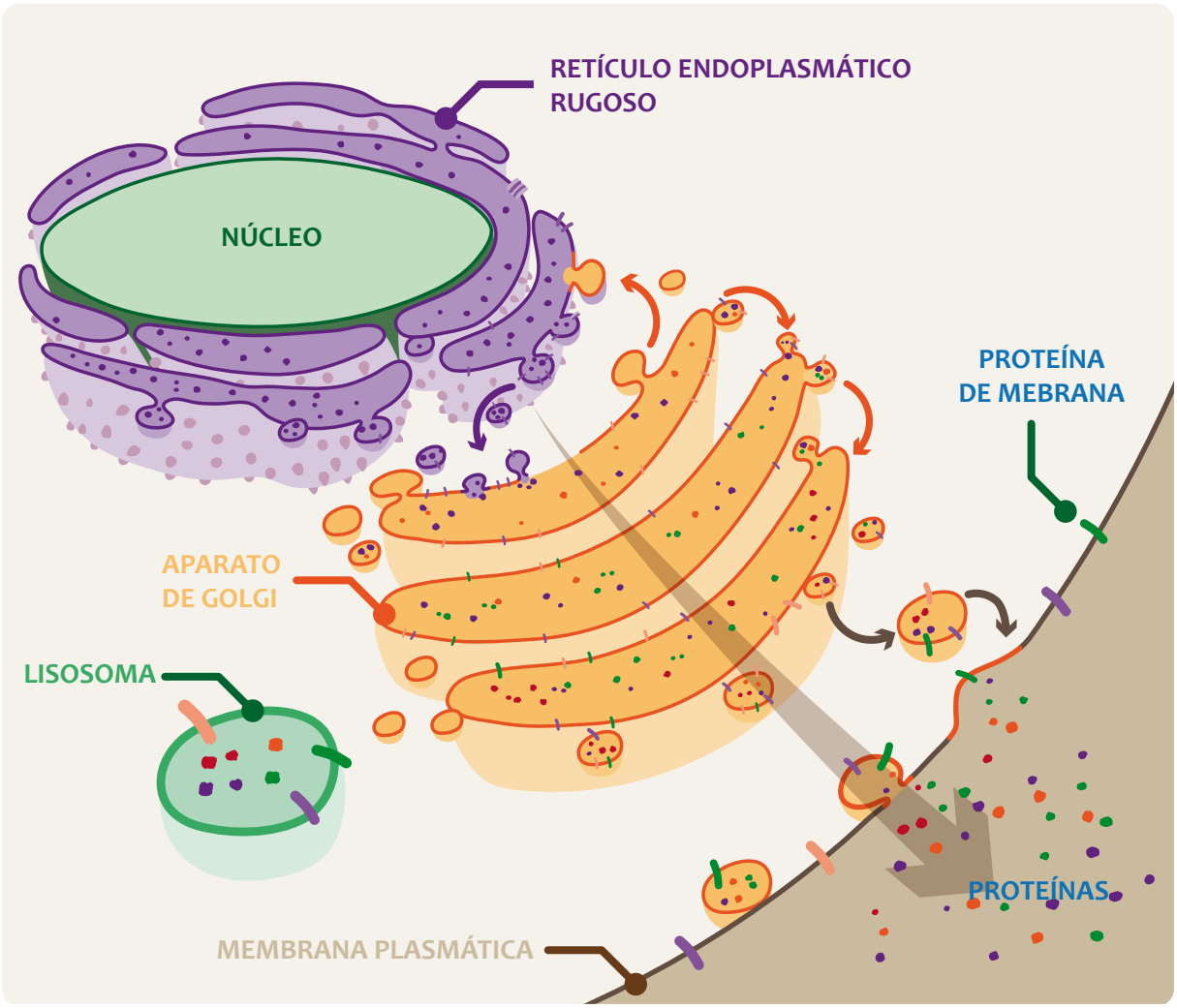
Dendritas: nacen desde el cuerpo o soma como prolongaciones cortas. Son las encargadas de recibir los impulsos de otras neuronas y enviarlas hasta el soma.

Axón: es una extensión única y larga, que puede llegar a medir hasta un metro de largo en humanos. Su función es conducir el impulso nervioso desde el soma hacia otras neuronas vecinas.

Tráfico de proteínas

Las proteínas son las biomoléculas más versátiles de la célula. Participan en prácticamente todos los procesos y se ubican en todos los rincones de la célula, incluso pueden ser secretadas al exterior. Debido a su intenso trabajo, las proteínas poseen una vida corta y deben ser reemplazadas constantemente.

Las proteínas que funcionan en el citoplasma son sintetizadas en ese compartimiento, pero aquellas que van al exterior o que forman parte de la membrana plasmática son sintetizadas en el retículo endoplasmático. Este complejo sistema de membranas forma numerosos sacos interconectados, a través de los cuales viajan las proteínas recién sintetizadas. Desde aquí, las proteínas pasan al aparato de golgi, otro sistema de membranas cuya función es procesar y empaquetar las proteínas para enviarlas a su destino final. Las proteínas que formarán parte de la membrana van insertadas en la membrana vesicular, aquellas que van al medio externo viajan en el centro de la vesícula.



Los cables de nuestro cerebro

Toda nuestra percepción del mundo, nuestros movimientos, la mantención de nuestro balance interno, lo que pensamos, lo que somos capaces de recordar, las emociones que sentimos son productos de la actividad cerebral. Por eso, comprender cómo se organiza la actividad del cerebro nos ayuda a entender quiénes somos, cómo hacemos lo que hacemos, si nos diferenciamos o no de otros animales, y cómo nos adaptamos constantemente a un entorno cambiante.

Los axones son los cables de nuestro sistema nervioso, a través de los cuales viajan todas las señales que contribuyen a que el cerebro lleve a cabo sus funciones. Estos cables son parte de nuestro organismo y, por lo tanto, necesitan de mecanismos moleculares y celulares para su formación, mantención y reparación. Entonces, cómo se regula su composición, en animales y humanos, es un problema fundamental en biología.

Los axones son largas y delgadas proyecciones a través de las cuales las neuronas envían sus señales, llamadas potenciales eléctricos o potenciales de acción. Estos potenciales de acción viajan largas distancias, y se generan y se propagan gracias a proteínas especializadas en la membrana plasmática de los axones que se denominan canales iónicos.

Nuevos canales iónicos, junto a otras proteínas fundamentales para la actividad axonal, deben distribuirse constantemente a lo largo del axón para mantener o reparar su función. Este problema se intensifica cuando nos damos cuenta de que en animales existen axones muy largos.

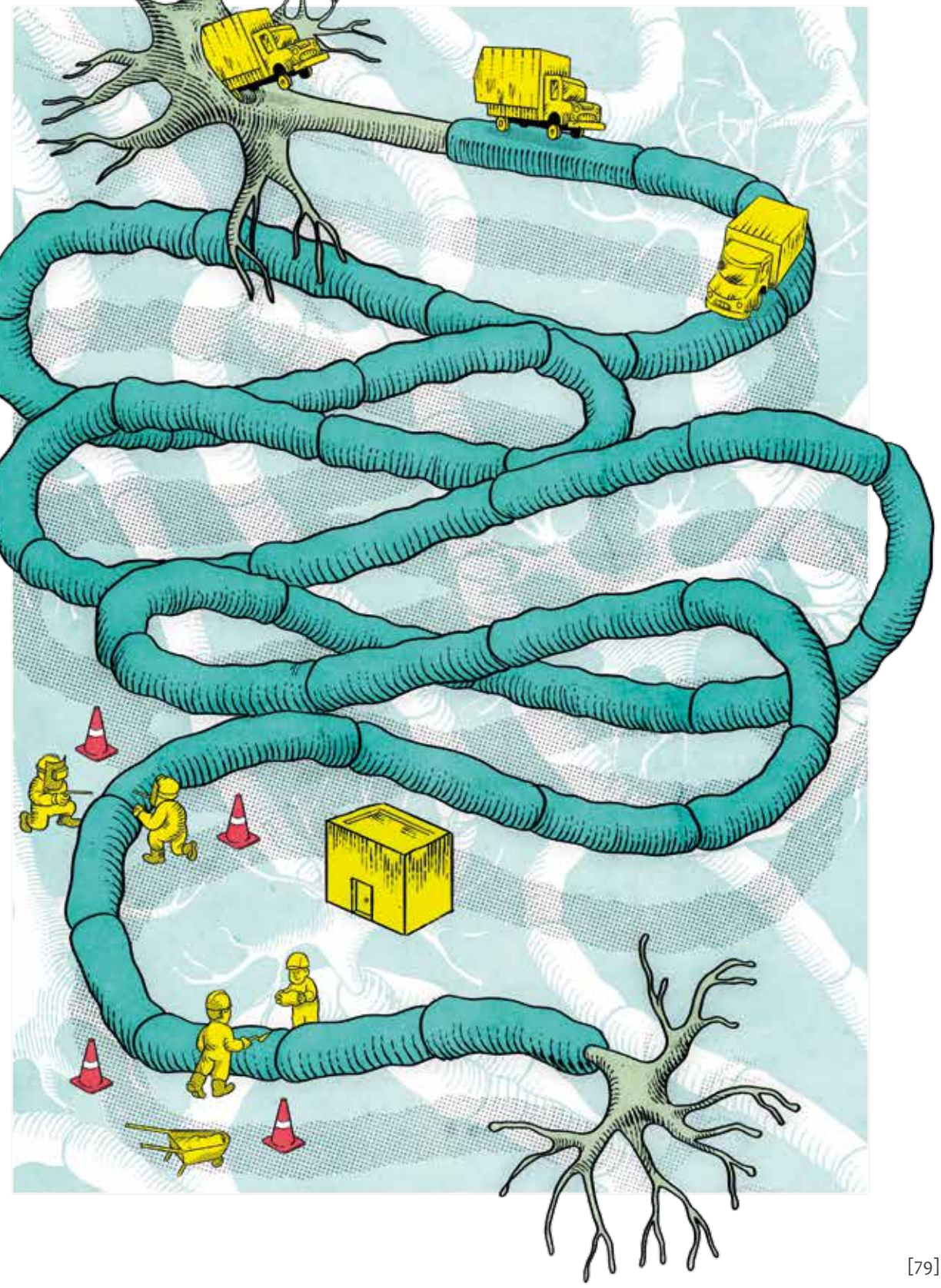
Por ejemplo, en el cuerpo humano tenemos axones de hasta un metro de largo y existen mamíferos, por ejemplo una jirafa, que pueden tener axones de hasta 5 metros o las ballenas, que pueden tener axones de hasta 20 metros. Se estima que en algunos dinosaurios de cuello largo, como los saurópodos, algunos axones habrían alcanzado ¡38 metros de largo!

"Los axones son como largos cables que conducen el impulso eléctrico, pero a diferencia de un cable de corriente eléctrica que uno utiliza para alimentar un televisor, un computador o para encender una ampolleta, el axón es parte de un sistema vivo y, por lo tanto, tiene que mantenerse, tiene que repararse, tiene que asegurar que toda la maquinaria va a estar ahí para cuando el axón deba transmitir sus señales, o para cuando crezca, o se dañe y tenga que regenerarse", explica Andrés Couve, quien junto a un equipo de científicos lideran la investigación "Tráfico local de proteínas de membrana en los axones", la cual estudia de qué manera mecanismos locales en un axón mantienen la producción y entrega de toda su maquinaria molecular que le va a permitir generar la actividad eléctrica. Es decir, cómo se regula la composición proteica de los axones largos que existen en los animales a través de fenómenos locales que ocurren en los mismos cables.

Todos nuestros movimientos, todo lo que somos capaces de sentir, es decir, cuando

Si el cuerpo celular de la neurona fuera del tamaño de una pelota de tenis, su axón mediría 10 Kms

¿Cómo se construye, mantiene y repara este axón?



vemos una imagen, cuando escuchamos un sonido, cuando tocamos una textura que puede ser un poquito áspera o puede ser muy lisa, cuando sentimos frío, todo eso está controlado por actividad eléctrica que circula a través de cables, los axones, que son parte de nuestras neuronas.

Entonces, todo lo que hacemos depende de la actividad eléctrica de nuestro sistema nervioso y esa actividad es controlada por pequeños canales, que son proteínas emplazadas en la superficie de los axones, su membrana plasmática, que a través de flujos de iones generan una corriente eléctrica. "Lo que estamos estudiando es cómo se las ingenia una neurona, cuyo cuerpo celular está, por ejemplo, en la médula espinal y su extremo en la punta de tu dedo gordo del pie, para que ese largo cable siempre funcione de la manera adecuada", explica Couve.

Para establecer una comparación, si el cuerpo celular de la neurona fuese como una pelota de tenis, su axón tendría 10 kilómetros de largo. Entonces, si tuviésemos que reparar el extremo de ese axón o prepararlo para una nueva tarea, ¿recurriríamos a la pelota de tenis o trataríamos de utilizar maquinaria local del cable?

La regulación de la composición de proteínas axonales es clave para generar y mantener la función neuronal. El transporte de proteínas a través de ondas axoplasmáticas rápidas y lentas se conoce desde hace décadas, pero también se han identificado mecanismos alternativos para controlar la abundancia de proteínas axonales basadas en síntesis local.

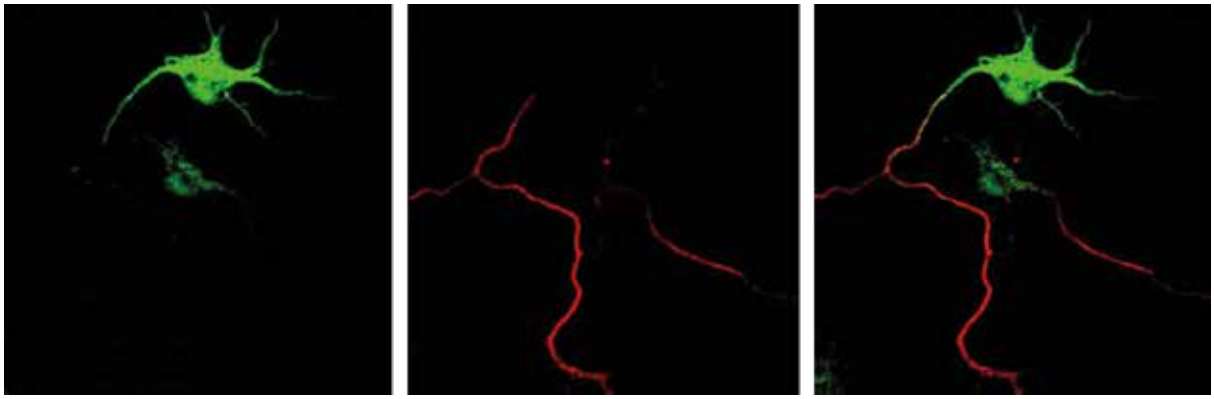
La presencia del retículo endoplasmático, un organelo fundamental para el funcionamiento celular, se ha documentado en axones, pero aún se desconoce si su presencia axonal implica que participa directamente en el suministro de proteínas a la membrana axonal. "Actualmente estamos explorando si los axones contienen componentes del retículo endoplásmico y otros organelos biosintéticos. Estamos interesados en entender cómo controlan la síntesis, el procesamiento y la entrega de las proteínas de membrana en los axones", señala el investigador.

Utilizando modelos de ratones y ratas se evalúa cómo los organelos de la vía secretora axonal contribuyen a la composición proteica en los axones del sistema nervioso central y periférico, y cuál es su función durante la lesión y la reparación.

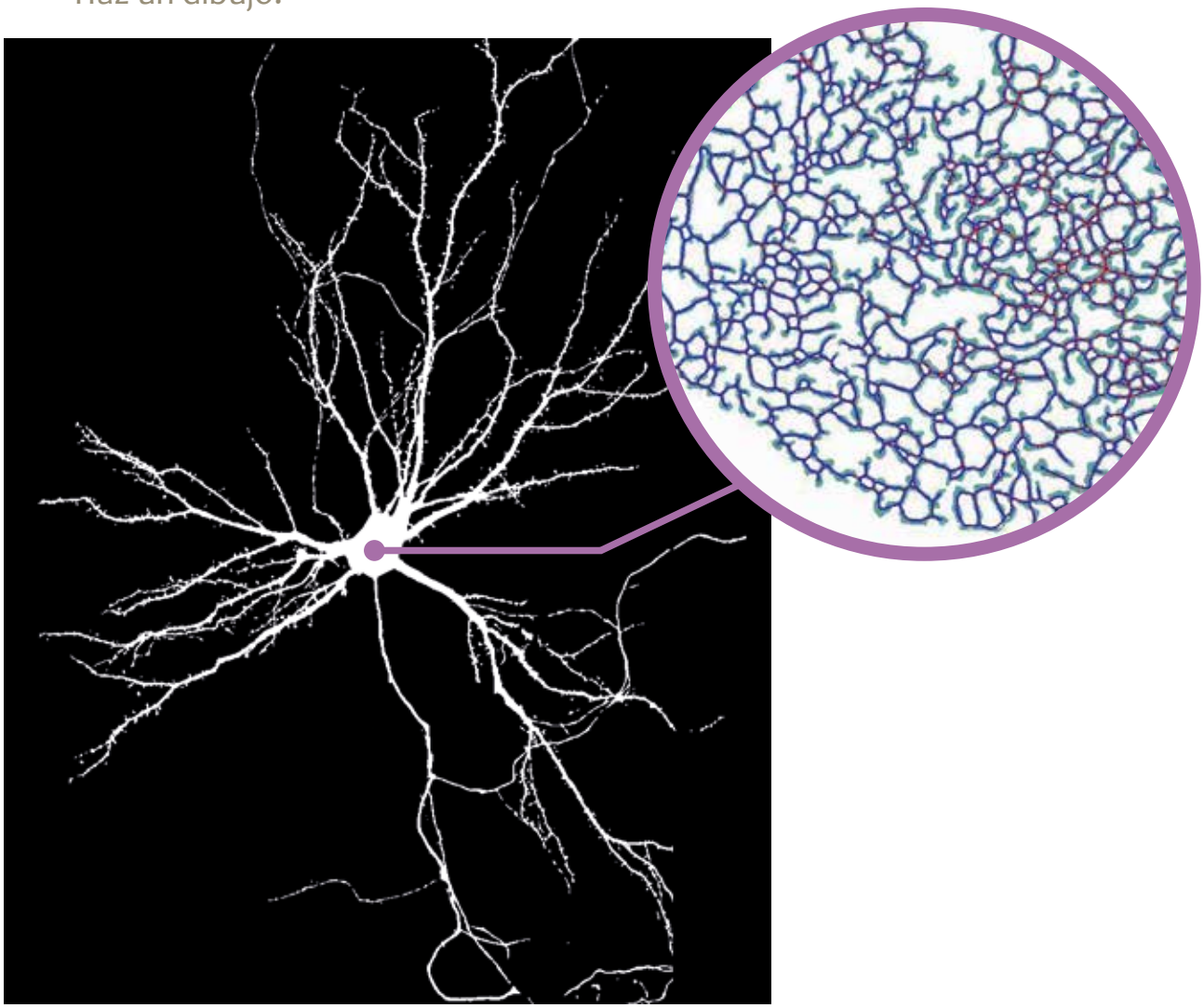
EXPLORACIÓN

La inmunofluorescencia es una técnica que permite marcar proteínas con anticuerpos fluorescentes, y de esta forma a través del microscopio podemos obtener imágenes como las que se muestran en la página siguiente.

En estas imágenes podemos observar una proteína fluorescente roja y otra verde. Identifica las distintas estructuras de la neurona y a partir de tus observaciones determina en que estructura celular se localiza la proteína verde y la proteína roja.



En la siguiente imagen se muestra la organización del retículo endoplasmático en el soma de una neurona. De acuerdo a esto, ¿cómo te imaginas el retículo endoplasmático dentro del axón y las dendritas? Haz un dibujo.



¿Para qué sirve estudiar esto?

Para Andrés Couve, biólogo y Doctor en Biología Celular, es de gran importancia entender cómo se generan los productos de la actividad cerebral en un organismo, en un individuo. "Entonces, básicamente, estamos estudiando mecanismos fundamentales que te permiten hacer las cosas que haces, como moverse y sentir". Muchos de estos mecanismos son muy conservados en la evolución, entonces también lleva a preguntarse, ¿qué nos hace diferentes de otros animales? "Una respuesta más o menos simple es que no depende de las unidades que utilizamos para construir el sistema, como las neuronas, los axones, o las sinapsis, ni de los principios operativos, sino más bien de cómo estamos cableados", responde el científico. Asimismo destaca la importancia de comprender nuestro "cableado" para entender qué es lo que ocurre cuando algunas cosas fallan. "Si pierdes, por ejemplo, la capacidad de moverte, o pierdes la capacidad de sentir, entonces es cuando sirve saber cómo funcionamos", comenta Couve.

Cuando el sistema nervioso falla, tiene consecuencias graves en pacientes neuro-siquiátricos y este es un tema fundamental en nuestra sociedad actual. Pero no toda la investigación debe necesariamente apuntar ahí. El objetivo primario de la investigación científica es uno motivado por la curiosidad, porque queremos saber cosas, explorar y predecir el universo que conocemos. Hay un valor enorme en la exploración humana, de todos los saberes. Algunos tendrán aplicaciones inmediatas, otros más tardías, otros nunca, pero todo el conocimiento tiene valor.

Esta investigación se enmarca en el tema global de comprender cuáles son los mecanismos que controlan la actividad neuronal y cómo ese control va a tener repercusiones, finalmente, en todo lo que hacemos a diario como individuos.

REFLEXIÓN Y APLICACIÓN

1 ¿Para qué nos sirve saber cómo funcionan los procesos celulares? Da ejemplos.

2 Muchas de las enfermedades mentales se generan por problemas en las conexiones entre las neuronas. ¿Crees que es posible desarrollar nuevos tratamientos a enfermedades siquiátricas mediante el estudio del transporte axonal y la síntesis local de proteínas?

El equipo actual de trabajo de Couve Lab

- **Andrés Couve:** Profesor Titular de la Universidad de Chile y Director Instituto de Neurociencia Biomédica.
- **Felipe Salech:** MD PhD Investigador Asociado.
- **Alejandro Luarte Navarro:** Investigador Postdoctoral.
- **Carolina González:** Investigadora Postdoctoral.
- **Víctor Hugo Cornejo:** Investigador Postdoctoral.
- **Javiera Gallardo:** Estudiante de Doctorado.
- **Nataly Venegas Zúñiga:** Estudiante de Doctorado.
- **Francisca Bertín:** Estudiante de Doctorado.
- **Renate Reisenegger:** Estudiante de Magíster.
- **Macarena Smith,** Lab Manager.
- **Angélica Figueroa,** Técnico de laboratorio.

Cómo se financiaron los estudios

Esta investigación se financia gracias a un proyecto Fondecyt (Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico) de tres años para estudiar cómo el axón regula sus proteínas para conducir el impulso eléctrico. También se realiza en el marco del Instituto de Neurociencia Biomédica (BNI), que es financiado por la Iniciativa Científica Milenio, un fondo asociativo para desarrollar investigación colaborativa en neurociencia, desde aspectos moleculares celulares, de desarrollo y morfología, del sistema nervioso en su conjunto, hasta llegar a estudios clínicos en neurología y psiquiatría. También tomando en cuenta la patología y la matemática para profundizar el análisis de fenómenos biológicos.

PLANTAS A LA MEDIDA

INTRODUCCIÓN

El año 2016, más de cien millones de personas en el mundo sufrieron desnutrición aguda, es decir, llegaron al borde de la inanición. La cifra es enorme, especialmente si se toma en cuenta que supone un aumento en casi un 30% respecto al año anterior, según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y al Agricultura (FAO).

Obtener alimentos ha sido siempre una preocupación en un mundo donde la población aumenta continuamente. Por eso, desde hace miles de años se vienen buscando maneras de optimizar la agricultura y producir más y mejores cultivos.

En este sentido surge, el siglo pasado, una herramienta revolucionaria: la ingeniería genética. Esta es una tecnología que permite crear variedades de plantas mejoradas genéticamente, por ejemplo, resistentes a la sequía, a la acidez del suelo, o a temperaturas extremas. Ahora bien, esta herramienta ha suscitado fuertes debates, especialmente porque ha permitido el nacimiento de los llamados transgénicos, cuya sola existencia genera polémica.

FOCALIZACIÓN

¿Qué opinas de los alimentos transgénicos? ¿Crees que son malos? ¿Para qué sirve manipular genéticamente las plantas?

EXPLORACIÓN

Lee las afirmaciones en el cuadro provisto antes de leer el texto. Analiza cada afirmación y decide si es verdadera o falsa. En la columna "Antes", encierra V o F para indicar tu elección. (No se espera que sepas todas las respuestas en esta instancia; solo marca la que consideres correcta según tus conocimientos).

Antes	Después	Afirmación
V / F	V / F	1. La definición de un transgénico es la misma que un organismo genéticamente modificado.
V / F	V / F	2. Un híbrido es cuando se cruzan plantas de la misma especie.
V / F	V / F	3. El arroz se generó a partir de una mutación espontánea.
V / F	V / F	4. Mediante el uso de radiación es posible generar mutagénesis inducida.
V / F	V / F	5. Las primeras manipulaciones genéticas ocurren hace 10.000 años atrás con el desarrollo de la agricultura y la selección de los mejores frutos.
V / F	V / F	6. El monje G. Mendel mediante el cultivo de arvejas sienta las bases de la genética.
V / F	V / F	7. El primer organismo transgénico de la historia fue una bacteria.
V / F	V / F	8. Uno de los objetivos iniciales de la ingeniería genética era generar resistencia a plagas de insectos.
V / F	V / F	9. El primer alimento transgénico que se presentó al mercado fue el maíz que se vende hasta el día de hoy.

¿Qué es un transgénico?

Un transgénico es un organismo genéticamente modificado al que se le ha incorporado un gen de otra especie, como es el caso del maíz Bt. Este tiene la cualidad de ser resistente a ciertas larvas, debido a que se le ha agregado un gen de una bacteria que tiene esta propiedad.

Muchas veces, se confunde el concepto de transgénico con el de Organismo Genéticamente Modificado (OGM). Un OGM es cualquier organismo cuyo material genético ha sido transformado mediante las técnicas de ingeniería genética, lo que permite que tenga características que antes no tenía, pero no implica necesariamente que se le haya incorporado un gen de otra especie. Dicho de otra manera: todos los transgénicos son OGM, pero no todos los OGM son transgénicos.

¿Por qué hay tanto debate en torno a los transgénicos?

Con la llegada de organismos genéticamente modificados a los estantes del supermercado, se levantaron preguntas y voces de alarma. ¿Eran estos alimentos seguros para el consumo humano? ¿Tendrían un impacto en el medio ambiente?

Aunque hoy existe amplia evidencia científica que sostiene que los alimentos transgénicos no son más peligrosos que los convencionales, siguen existiendo detractores. Entre los consumidores europeos, por ejemplo, hay bastante rechazo hacia los organismos genéticamente modificados.

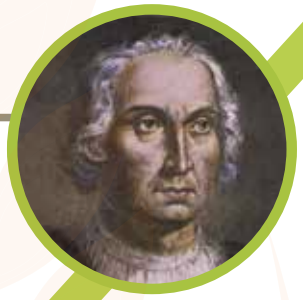
En Chile también hay grupos opositores que difunden información inadecuada sin respaldo científico, dice Gabriel León, doctor en Ciencias Biológicas e investigador del Centro de Biotecnología Vegetal de la Universidad Andrés Bello, quien puntualiza: “No se ha descrito ningún daño a la salud humana por consumir transgénicos y, por el contrario, hoy somos testigos, en Europa, de varias muertes producidas por consumir alimentos orgánicos, que en teoría son más seguros”.

10.000 a.C.

Nace la agricultura. Los hombres pasan de recoger los frutos que la naturaleza produce de forma espontánea, a sembrarlos ellos mismos. La selección de los mejores frutos da lugar a la primera modificación genética guiada por el hombre.

1492

Cristóbal Colón y otros exploradores introducen el maíz y la papa nativa de América del sur al resto del mundo. Los productores europeos realizan mejoramiento al adaptar estas especies a condiciones particulares de cultivo.



1864

El químico francés Louis Pasteur inventa la pasteurización, el proceso que se emplea para destruir microorganismos dañinos en los productos y que actualmente garantiza la seguridad de muchos productos alimenticios en el mundo.

1865

El monje y botánico austriaco Gregor Mendel estudia el principio de la herencia. Experimentando con arvejas, realiza cruces entre variedades con distintas características. Concluye que existen "factores" (que después fueron llamados genes) que determinan el traspaso de estas características. Su trabajo, publicado en 1865, sienta las bases de la ciencia de la genética.

1973

Mediante la utilización de métodos de ingeniería genética, los estadounidenses Herbert Boyer y Stanley Cohen logran el primer organismo transgénico de la historia: una bacteria. Pocos años después logran, con el mismo método, crear insulina para diabéticos.

Se logra transferir genes de una bacteria llamada Bacillus Thuringiensis (Bt), a plantas de algodón. Esto permite que la planta sea resistente a plagas, como las orugas, gracias a la incorporación de una proteína insecticida presente en las esporas de la bacteria.

1987

Sale al mercado el primer alimento transgénico para consumo humano: el tomate FlavrSavr, que tiene una maduración tardía. Pocos años después, en 1996, este producto es retirado del mercado porque el público lo considera insípido, de piel blanda y poco apetecible.

1994

Se comercializa la soja transgénica, modificada para ser resistente al herbicida glifosato. De esta manera, se favorece el uso de glifosato frente a otros herbicidas más tóxicos.

1996

1983

Se crea la primera planta transgénica de tabaco. Mediante la transferencia de un gen, se le confiere a la planta resistencia a un antibiótico.

1996

Se comercializa el maíz Bt, al que se le ha incorporado la proteína Cry de la bacteria Bacillus Thuringiensis. Esta proteína es tóxica para las larvas de insectos barrenadores del tallo, que mueren al comer hojas o tallos de maíz Bt.

¿Con qué técnicas se mejoran los cultivos ?

Desde que nace la agricultura, hace 10 mil años, hombres y mujeres han manipulado las plantas para obtener mejores cultivos. Por eso, las plantas que hoy conocemos son muy distintas a sus antepasados silvestres: los agricultores vienen seleccionando sus propiedades hace siglos.

Hasta hace no mucho, los métodos de mejoramiento habituales eran los convencionales. Estas técnicas en general consisten en cruzar a las mejores plantas –las más resistentes, más grandes o con mejores frutos-, y esperar que el descendiente herede las características más favorables. Por supuesto, esto implica dejar cierto margen a la suerte, y además supone esperar cierto tiempo para ver si los resultados son efectivos.

Algunos ejemplos de estas técnicas convencionales son:

Selección artificial y cruzamientos selectivos: Se cruza a las mejores plantas de una misma especie, con la esperanza de obtener descendencia de mejor rendimiento. Las diferentes coles (brócoli, coliflor, repollo, repollito de Burselas, y otros) fueron obtenidas mediante este método.

Hibridación: No solo se cruzan plantas de una misma especie, sino también entre especies y entre géneros. De esta manera nacen los híbridos. Un buen ejemplo entre especies es la frutilla chilena, que es el cruce entre la Fragaria chiloensis, una especie grande pero poco sabrosa de esta fruta, con la Fragaria virginiana, de mejor sabor pero más pequeña .

Mutagénesis inducida: Las mutaciones espontáneas se dan en la naturaleza, y son la razón de que exista el arroz y el maíz, por ejemplo. Ahora bien, desde mediados del siglo XX el hombre puede inducir mutaciones mediante el uso de sustancias químicas o radiaciones. Una vez realizada, se selecciona a las plantas que tienen las características deseadas.

Fuera de estas técnicas convencionales, en los años setenta se empieza a utilizar una nueva herramienta: la ingeniería genética.

Ingeniería genética: Al igual que los métodos anteriores, busca conseguir los mejores cultivos para el consumo humano. La diferencia con las técnicas convencionales está en que acelera el proceso, porque permite a los científicos tomar directamente los genes deseados de la planta, sin tener que esperar generaciones para obtener un buen resultado y sin tener que dejar parte del trabajo al azar.

Plantas a la medida

Cerezos floreciendo en otoño, o dando frutos en invierno. ¿Imposible? ¡Para nada! Una investigación desarrollada por la Universidad Nacional Andrés Bello (UNAB) asegura que esto podría ser una realidad chilena.

Es una postal habitual cuando se acaba el invierno: de pronto, los días comienzan a alargarse y los árboles florecen. Una primera señal de que la primavera se aproxima son las flores diminutas y rosadas que parecen brotar al unísono en los cerezos, generalmente en septiembre. Es bonito, pero, sobre todo, es tremendamente práctico:

"Uno de los sistemas más relevantes para los cerezos, es el paso del invierno", explica Gabriel León, doctor en Ciencias Biológicas e investigador del Centro de Biotecnología Vegetal de la Universidad Andrés Bello. "Es importante que los árboles perciban que han pasado por un período de frío para tener la capacidad de florecer en primavera". Sin frío, no hay flores, y sin flores, no hay frutos.

Hoy en día, el cerezo se cultiva desde Rancagua hacia el sur, justamente, porque necesita de muchas horas de frío. Pero ¿qué ocurrirá si el cambio climático sigue modificando las temperaturas? "Si los inviernos comienzan a ser cada vez más tibios, las plantas ya no van a producir flores en primavera, o van a florecer mal", explica León. "Por eso es importante entender cómo funciona este proceso, porque así podríamos controlarlo más adelante", explica el científico.

Y eso es justamente lo que está haciendo. En una de sus investigaciones, León y su equipo están tratando de entender cómo las plantas integran las señales ambientales –la temperatura- para florecer. La idea es encontrar una solución que permita la floración sin depender del frío invernal.

"Uno de nuestros objetivos es hacerlo sin manipular genéticamente a los árboles, porque cuando produces frutos transgénicos tienes que pasar por muchos mecanismos regulatorios para vender esa fruta", explica León. La floración de cerezos en laboratorios, cuenta, es algo que se ha hecho pero que ellos quieren evitar por la mala publicidad que tienen los transgénicos. "Esto es como subir el Everest por el lado más complejo", se lamenta. "La respuesta más obvia es hacer plantas transgénicas, pero, aunque sepamos que los transgénicos no tienen nada de malo, si el consumidor no los quiere, sonamos".

Entonces, ¿cuál es la alternativa? "Hace tiempo se identificó una proteína fundamental que regula la producción de flores. Estamos tratando de producir esa proteína en bacterias, purificar la proteína y dársela a los árboles como una especie de suplemento para las plantas". En palabras simples: se usaría la bacteria como fábrica para hacer la proteína de la planta, y luego se traspasaría esta proteína al árbol para hacerlo florecer.

El proceso para producir esta proteína no es tan sencillo. Se parte clonando un gen desde la planta, que se traspasa a la bacteria mediante ingeniería genética. Como los ge-

nes funcionan igual en todos los seres vivos -bacterias, plantas, animales-, esta bacteria "lee" el gen como si fuera propio. Este gen en particular lleva instrucciones para fabricar la proteína requerida, entonces, cuando se inserta este gen a la bacteria, la bacteria produce la proteína de la planta y la guarda en su interior. Los investigadores entonces deben romper la bacteria, tomar la proteína y purificarla para su posterior uso. La gracia está en que la proteína es una proteína de la planta, no de la bacteria, lo que deja fuera toda especulación de transgénicos.

De momento, todavía no se ha conseguido la floración con este método, pero León confía en lograrlo a fines de este año. "Ya hemos pasado el gen a la bacteria, y purificado la proteína", explica.

Ahora falta la última etapa, la de traspasar la proteína a la planta y, posteriormente, probar el proceso en frutales más grandes, como vides y manzanos.

Un beneficio adicional de este proceso es que permitiría acelerar la floración en árboles que aún están en período de juvenilidad, es decir, que no han alcanzado todavía la edad para dar frutos. "Hay especies que tardan hasta 15 años en producir frutas", dice León, y explica: "Cuando uno quiere hacer variedades nuevas de árboles, por ejemplo, un cruce entre un árbol que produce mucha fruta y otro que hace frutas grandes, tienes que sembrar las semillas del primer cruce y esperar varios años para evaluarla". Ese tiempo tiene un costo enorme para el agricultor. "Una alternativa sería acelerar la floración para que produzcan frutas al año. Eso disminuye los costos de producir variedades nuevas", detalla el investigador. Y eso, para un país agricultor como Chile, sería de alto impacto.

EXPLORACIÓN Y REFLEXIÓN

El gen que codifica para la proteína FT en cerezos fue introducido en plantas de *arabidopsis thaliana*. A continuación se muestran fotos de lo observado en estas plantas (L1 y L2).

Si todas las plantas tienen la misma edad y fueron cultivadas en las mismas condiciones, ¿qué efecto tiene la expresión del gen FT? ¿Qué función podría cumplir FT en el cerezo? ¿Para qué utilizamos la planta control?

REFLEXIÓN

1 Después de leer el texto, vuelve a revisar el cuadro inicial. ¿Estuvieron correctas tus respuestas?

2 Considerando tus nuevos conocimientos respecto a los transgénicos, ¿cuál es tu opinión acerca del desarrollo de modificaciones genéticas en productos de consumo humano?

APLICACIÓN

¿Cómo podríamos utilizar plantas transgénicas para enfrentar el cambio climático? Ejemplifica.

El equipo de trabajo

- **Gabriel León**, doctor en Ciencias Biológicas.
- **Felipe Moraga**, Magíster en Bioquímica.
- **Antonia Yarur,** Magíster en Bioquímica.
- **Samuel Parra,** magíster en Bioquímica y estudiante de doctorado en biociencias moleculares.

Cómo se financiaron los estudios

El proyecto de floración en árboles está financiado por Corfo.

Referencias utilizadas

Yarur A, Soto E, León G, Almeida AM. The sweet cherry (Prunus avium) FLOWERING LOCUS T gene is expressed during floral bud determination and can promote flowering in a winter-annual Arabidopsis accession. Plant Reprod. 2016 Dec;29(4):311-322.

PENURIAS BAJO EL MAR

INTRODUCCIÓN

El mar chileno es un centro de riquezas. Bajo sus tres millones de kilómetros cuadrados de superficie suma más de 10 mil especies, en su mayoría, crustáceos, peces y moluscos.

Muchas de las especies que habitan en este inmenso espacio nos sirven de alimento, como la merluza, la jaiba y el loco, por nombrar solo algunas. El problema es que muchas están sobreexplotadas, tanto en Chile como en el mundo, y corren el riesgo de extinguirse. ¿Por qué? La actividad humana es la principal causante de esta situación, en particular, la pesca. Entonces, ¿qué hacemos? ¿Cómo podemos cuidar la vida marina? En Chile, felizmente, la ciencia propone algunas ideas.

FOCALIZACIÓN

¿Qué tan deteriorado crees que se encuentra nuestro ecosistema marino?, ¿cómo podrías evaluar el estado de nuestro mar? ¿Son las autoridades las responsables de cuidar nuestro ecosistema o nosotros podemos ser parte de la solución? Y tú, ¿cómo lo cuidarías?

Penurias bajo el mar

La merluza, la anchoveta y el jurel comparten un futuro poco auspicioso en Chile: si no se toman prontas medidas para su preservación, podrían desaparecer del mapa (y del plato) de los chilenos.

En diez a doce años, las costas chilenas prácticamente no tendrían recursos marinos de consumo habitual. Esto, que parece la trama de una película apocalíptica, no es más que la conclusión del estudio "Informe País: Estado del medio ambiente en Chile", elaborado por las Universidades de Chile y Valparaíso.

El documento, que compara datos desde 1999 hasta el año 2015, entrega datos catastróficos: de cien merluzas y congrios que se pescaban en 1999, hoy se capturan menos de 20. En anchovetas, sardinas y corvinas el panorama no es mucho mejor: de cien especies pescadas a fines de siglo, hoy se capturan unas 30.

¿Qué explica esta situación? Miriam Fernández, directora del Centro de Conservación Marina de la Universidad Católica, dice que los recursos se están agotando por culpa de la actividad humana: "La pesca es uno de los factores más importantes que afecta a los océanos mundiales. En Chile es muy significativa en la zona costera, pero también en la zona oceánica", afirma la también bióloga marina.

"Todo el mundo cree que la culpa es de la pesca industrial –que tiene un gran impacto, nadie lo niega-, pero la pesca artesanal, a pesar de ser de pequeña escala, tiene un efecto enorme", puntualiza.

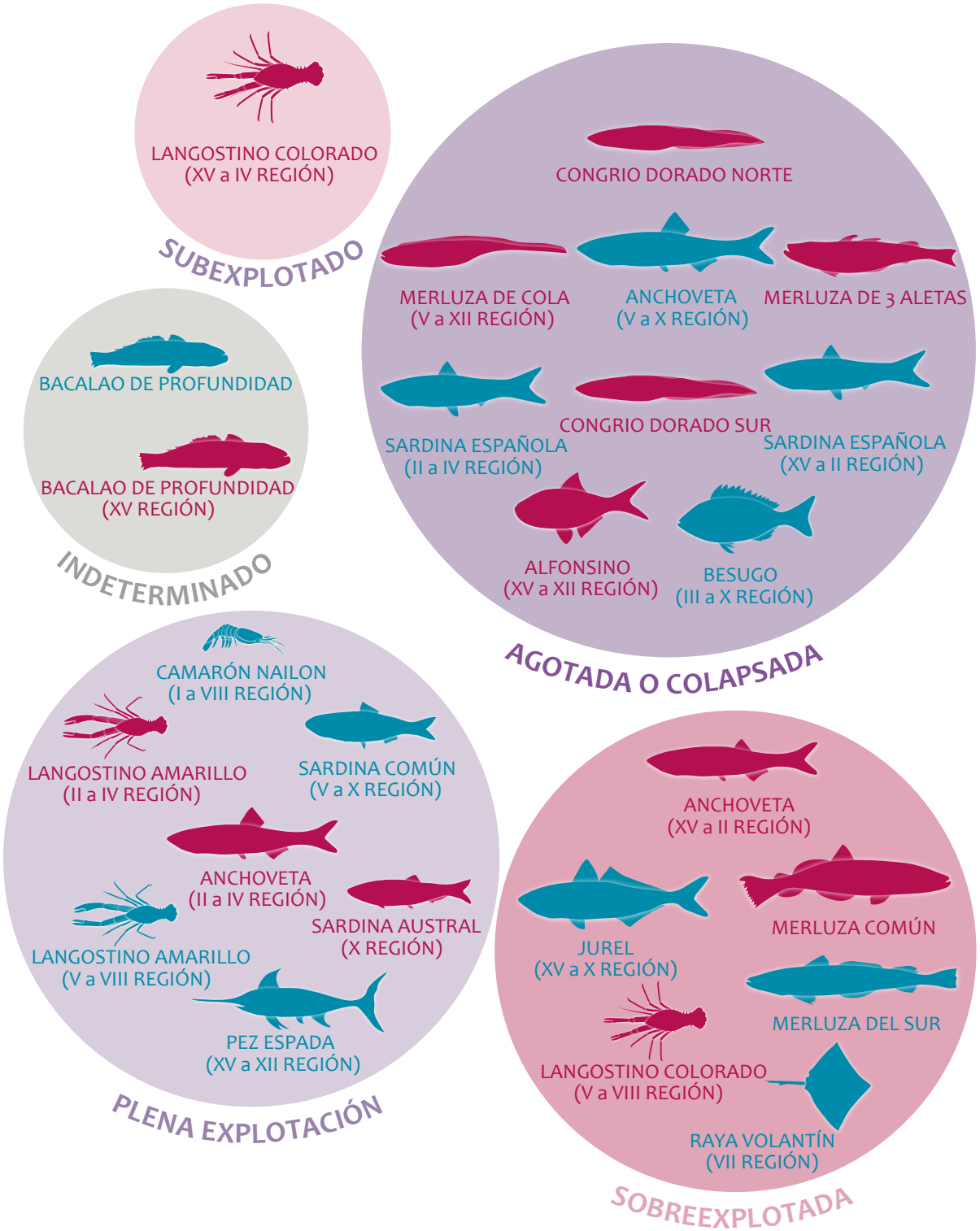
Recursos que se agotan

Es un problema mundial: de acuerdo al Informe Planeta Vivo 2016, las poblaciones marinas han disminuido un 36% solo entre 1970 y 2012. La mayoría de ellas son peces.

En Chile, la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (Subpesca) elabora todos los años un informe con el estado de las principales pesquerías nacionales. El de 2016 reveló el estado de 25 especies capturadas en Chile –entre peces, mariscos, algas y crustáceos-, y los resultados no son optimistas. De las especies analizadas, el 24% está sobreexplotada: la anchoveta (entre la XV y II Región), el jurel, la merluza común, la merluza del sur, el langostino colorado y la raya volantín.

Lo peor: el 36% está colapsada o agotada. Estas son la anchoveta (entre la V y X Región), el congrio dorado (norte y sur), la merluza de cola, la merluza de tres aletas, la sardina española, el alfonsino y el besugo.

El estado de los peces en Chile



Fuente: Subpesca, 2016.

EXPLORACIÓN

De acuerdo a los datos presentados del estado de los peces en Chile, ¿cuáles son las especies que no deberíamos consumir? ¿Qué medidas crees que debería tomar la autoridad para preservar estas especies?

Para proteger estas especies, la autoridad toma medidas como restringir las cuotas de captura, regular el tamaño de las redes de pesca –para que no queden atrapados los peces más chicos-, establecer vedas durante su período reproductivo y designar áreas marinas protegidas, que son lugares de la costa que grupos de pescadores cuidan y pescan de forma exclusiva. Esto último es especialmente importante: "Hemos visto que si uno compara las zonas protegidas, con zonas que tienen pesca controlada -que en Chile se llaman 'áreas de manejo'-, y con zonas abiertas a la pesca sin restricción de uso, la abundancia de los recursos cae: es más alta en zonas protegidas, intermedia en las áreas de manejo y baja en las zonas de libre acceso", detalla Fernández.

La conclusión es clara: la pesca descontrolada está arrasando con nuestros recursos marinos.

Pocos y chicos

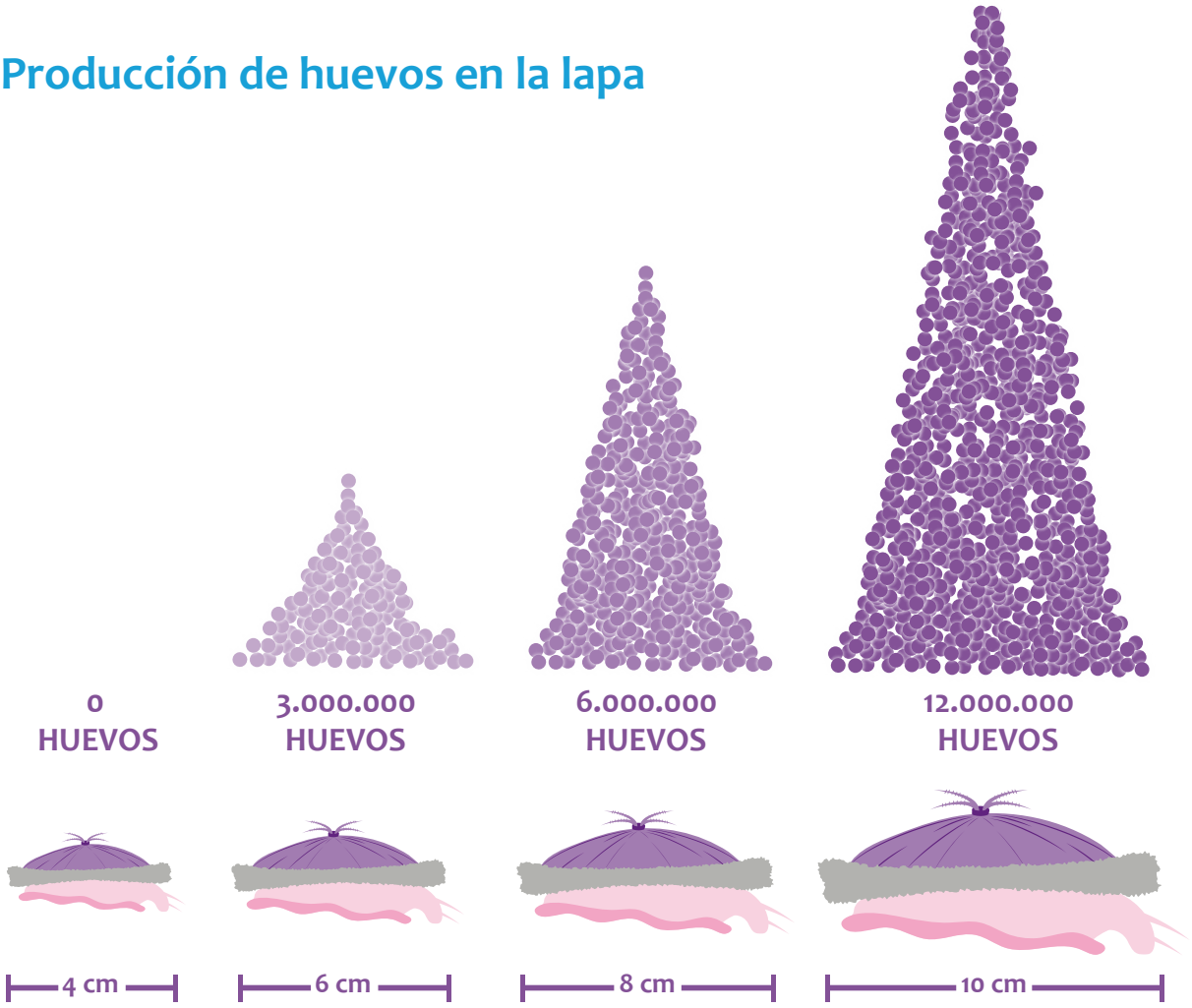
La pesca normalmente captura los peces más grandes, que son los adultos. Cuando la explotación es muy alta, sin embargo, disminuye la cantidad de los "grandes" y se comienza a capturar peces cada vez más pequeños. Esto tiene tremendas consecuencias en el funcionamiento del ecosistema:

"Cuando hay menos padres, y los padres son más chicos, esto significa que ponen muchos menos huevos", explica Fernández. "No es como los humanos, que una mujer de un metro y medio y otra de dos metros pueden tener un hijo por igual. En invertebrados y peces, esto no ocurre: cuanto más grande es la madre, produce exponencialmente más huevos". En la Región de Valparaíso, cuenta la investigadora, la pesca ha disminuido tres veces el número de huevos que podrían producirse en condiciones normales.

Un ejemplo de este impacto se puede observar en las lapas. En lugares protegidos hay más animales grandes. En áreas de manejo, las lapas de gran tamaño empiezan a ser menos frecuentes. Y, en áreas de libre acceso, son muy escasas.

¿Qué impacto tiene esta situación? Una lapa de menos de 4 cm no está madura reproductivamente, por lo que no puede producir huevos. Una lapa de 6 cm puede producir más de 3 millones de ovocitos (gametos femeninos). Pero si la dejamos crecer hasta los 8 cm producirá 6 millones. Y si creciera hasta los 10 cm produciría 12 millones de huevos.

Producción de huevos en la lapa



Lo peor: la pesca ilegal

La pesca ilegal es uno de los principales factores que atenta contra la vida marina. En el caso de la merluza, en Chile, llega a ser hasta dos veces la cuota legal, alcanzando entre 33 mil y 40 mil toneladas anuales.

Al respecto, Miriam Fernández aboga por la responsabilidad de las personas: "Como consumidores, nosotros promovemos la pesca ilegal, la mortandad de los animales, cuando compramos especies sin factura. Hay que pedir la factura porque eso da cuenta de que es legal y extraída de un área de manejo", explica la investigadora, que acaba de ser asignada un proyecto Fondecyt para estudiar el impacto de la pesca ilegal en el loco.

¿Y por qué es tan importante proteger cada uno de nuestros recursos? "Estamos observando un efecto en el ecosistema", dice Fernández. Y ejemplifica: "En la zona costera, la pesca de la vieja (un pez de roca) ha aumentado enormemente. Con esto ha disminuido la cantidad de vieja y otros peces carnívoros que se alimentan de caracoles. Entonces, aumenta la cantidad de caracoles, que a su vez se comen las frondas de las algas, y lo que eran bosques frondosos de algas hoy están esqueléticos. En estos bosques solían esconderse depredadores que ya no se pueden esconder. Así, hay un efecto enorme, que es el efecto cascada".

¿Qué podemos hacer?

Equilibrar las necesidades de consumo de las personas con la preservación del ecosistema marino no es fácil. La ciencia propone frenar la pesca en las zonas importantes para la producción de huevos, y permitirla donde hay abundancia de juveniles. "Es importante mantener una baja tasa de explotación en los lugares con alta producción de huevos, porque no quieres matar a la gallina de los huevos de oro", dice Fernández.

En teoría, suena lógico. En la práctica, no es tan fácil. ¿Por qué? Porque, por un lado, los investigadores deben identificar las zonas donde se producen los huevos. Eso es lo "fácil", porque supone identificar las zonas donde hay más adultos de gran tamaño. Lo complicado viene después: saber dónde viajan esos huevos. "No sabemos dónde se van porque se los lleva la corriente", explica Fernández, que trabaja con un grupo multidisciplinario en el Centro de Conservación Marina para identificar este proceso.

Su investigación busca generar un mapa donde aparezca toda esta dinámica, para saber qué sectores de la costa capturan una mayor cantidad de juveniles:

"Esos lugares debieran ser zonas de explotación, porque los lugares que tienen mucha llegada de larvas van a tener muchos adultos, y si tienen siempre mucha llegada de larvas que vienen de otros lugares, no dependen de la población local para sobrevivir. Si tienes hijos que llegan siempre, no importa que los explote mucho porque vienen de otros lados", resume la bióloga marina.

EXPLORACIÓN Y REFLEXIÓN

Se evaluaron el tamaño y la producción de huevos del molusco *Fissurella Latimarginata* en las costas de Chile central, tanto en zonas protegidas como en áreas de libre acceso. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tipo de zonas	Tamaño promedio (longitud peristoma en cm)	Producción de huevos promedio (oocitos/m2)
Áreas de acceso abierto	7,8	4,700
Zonas protegidas (TURF)*	8,7	30,850

*Derechos de uso territorial de pesca

Realiza un gráfico con los datos presentados. ¿Qué podrías concluir de lo observado?

Además del tamaño, ¿qué otras variables podrían influir en la producción de huevos? ¿Cómo las evaluarías?

¿Una correlación es suficiente para sacar conclusiones?

¿Cómo se estudia el desplazamiento de huevos y larvas?

Las corrientes transportan las larvas desde su lugar de nacimiento hasta donde vivirán como adultos. Así, pueden terminar a miles de metros de su lugar de origen. Como estos organismos son diminutos, y pueden viajar grandes distancias tanto por la superficie del mar como por las zonas más profundas, es muy difícil seguir su recorrido. Felizmente, los científicos utilizan un método que ha resultado ser muy útil:

En primer lugar, los investigadores capturan las larvas. Para hacerlo, usan unas mallas plásticas parecidas a las virutillas que se utilizan para lavar ollas, que se atornillan en las rocas. Estas mallas se disponen en distintos lugares de la costa, y las larvas pronto quedan atrapadas en ellas. Después de un mes se recolectan y comienza el trabajo en el laboratorio: con microscopios, los investigadores analizan qué especies y cuántas larvas llegaron a cada lugar.

Equipo de trabajo

- **Dr. Chris Aiken**, oceanógrafo físico.
- **Dr. Sergio Navarrete**, ecología, oceanografía costera.
- **Dra. Evie Wieters**, Ecología, interacciones biológicas.
- **Dra. Sylvain Faugeron**, genética de poblaciones.
- **Dr. Stefan Gelcich**, socio-ecología, manejo de recursos.
- **Dra. Miriam Fernández**, conservación marina, manejo de recursos.
- **Dra. Maria Dulce Subida**, explotación de macroalga.
- **Dr. Alejandro Perez-Matus**, ecología de peces.
- Además, varios postdoctorantes, doctorantes y estudiantes de pregrado.

Cómo se financiaron los estudios

El proyecto de desplazamiento de las larvas fue financiado por un proyecto Fondecyt, al igual que el futuro estudio del impacto de la pesca ilegal.

Referencias utilizadas

Blanco M, Ospina-Álvarez A, González C, Fernández M (2017) Egg production patterns of two invertebrate species in rocky subtidal areas under different fishing regimes along the coast of central Chile. PLoS ONE 12(5): e0176758. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176758

TRAS LOS PASOS MONTEVERDINOS

INTRODUCCIÓN

En el extremo sur de Chile, donde el mundo parece acabarse y el clima es inclemente durante la mayor parte del año, se descubrió hace algunas décadas un asentamiento humano de más de 15 mil años. En su momento, los restos fueron catalogados como los más antiguos del continente, y el hito significó una revolución en la teoría del poblamiento americano.

Durante años, los investigadores excavaron el sitio y en cada ocasión fueron descubriendo más objetos que les dieron pistas de las personas que pasaron hace tanto tiempo por ahí. Ahora bien, ¿cómo es posible que estos fósiles permanecieran casi intactos durante tantos siglos? ¿Cómo pudieron resistir los restos orgánicos, los cueros de animales? El mismo ambiente, con su clima lluvioso y su entorno volcánico, generó extrañamente las condiciones para que este tesoro humano resistiera el paso del tiempo.

FOCALIZACIÓN

¿Cómo crees que llegaron los primeros humanos a nuestro continente? ¿De dónde venían?

Tras los pasos monteverdinos

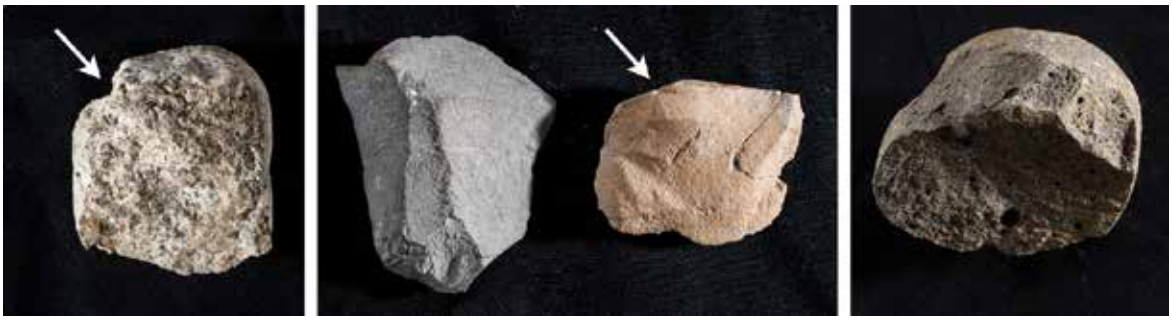
Este año se cumplen cuatro décadas desde que se excavó por primera vez en Monte Verde, un asentamiento humano que cambiaría completamente la forma de ver la llegada del hombre a nuestro continente.

Ocurrió a mediados de los setenta, a 35 kilómetros de Puerto Montt. Un grupo de lugareños despejaba un camino para sus carretas de bueyes, cerca del arroyo Chinchihuapi, cuando se topó con un hallazgo poco habitual: un hueso de mastodonte y artefactos de madera y piedra que parecían vestigios de un pasado muy remoto.

Y lo eran. A partir de este descubrimiento fortuito, un grupo de investigadores liderados por el arqueólogo y antropólogo Tom D. Dillehay llegó a la zona para comenzar la excavación del sitio. Durante años, los científicos trabajaron en el lugar y descubrieron varias "cosas notables e inesperadas", como escribe Dillehay en el sitio de la Fundación Monte Verde: lascas de piedra, huesos animales, proyectiles de doble punta, restos vegetales y artilugios de madera que permiten a los investigadores tener "una vista espectacular de las herramientas y equipos pocas veces observados en el registro temprano de la arqueología".

EXPLORACIÓN

Observa las siguientes lascas de piedra, ¿para qué crees que servían? Fíjate en la zona indicada por la flecha, ¿qué observas?



Huellas que hablan

El yacimiento cuenta con tres sitios: Monte Verde I, Monte Verde II, y Chinchihuapi, separados entre ellos por unos 300 metros. Es en Monte Verde II donde se han encontrado los vestigios más llamativos: puntas de flecha talladas por uno de sus lados, un fogón de barro, yerbas medicinales, numerosas herramientas. Incluso se recuperó una vivienda de gran tamaño en forma de carpa, cubierta con cueros de animales, y cuerdas confeccionadas con junco, utilizadas para mantener los tirantes del toldo. Una pequeña huella humana, tal vez de un niño, se encontró marcada en el suelo.

Inicialmente, los descubrimientos arrojaron una data de 12.500 años para Monte Verde II, pero en 2013, una nueva investigación entregó mayor información. Por una solicitud del Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) para delimitar el sitio, los mismos investigadores volvieron al lugar. Mediante más excavaciones, descubrieron mayores antecedentes que les permitieron concluir que el asentamiento tenía, al menos, 4 mil años más que lo determinado originalmente. Es decir: el sitio tendría entre 14.500 a 18.500 años.

¿Qué nos dicen todos estos hallazgos sobre la vida de los monteverdinos? Por una parte, se piensa que el sitio se usaba de manera esporádica, en verano. La fecha de los objetos coincide con el momento más frío de la Edad de Hielo, lo que lleva a concluir que las personas no habrían soportado el clima en invierno.

También es probable que se realizaran actividades medicinales en Monte Verde. Muchas de las plantas encontradas son las mismas que utiliza el pueblo Mapuche para tratar dolencias pulmonares. Estas yerbas provienen generalmente de más al norte, por lo que los monteverdinos deben haberlas traído desde otros lugares. Además, se encontraron unas especies de bollos, compuestos por boldo y algas, que habían sido masticados por seres humanos con fines medicinales.

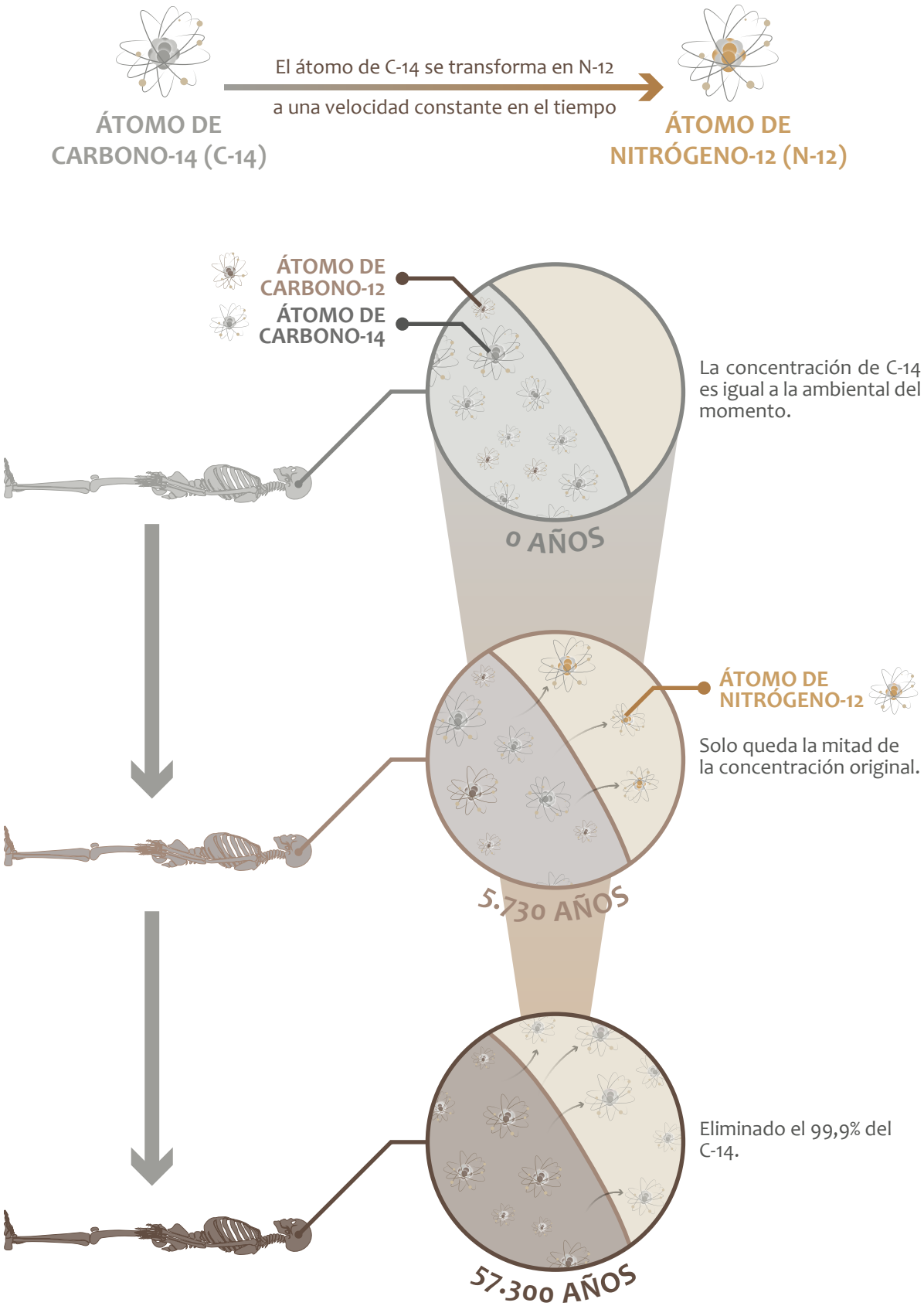
¿Cómo se determina la edad de los fósiles?

Establecer qué edad tiene un resto de cuerda o un pedazo de carpa no es algo que se pueda hacer a simple vista. Menos, cuando se trata de objetos con miles y miles de años. Por eso, una de las técnicas que revolucionó la arqueología es la del carbono-14.

El carbono-14 es un radioisótopo del carbono, es decir, un átomo que emite radiaciones radioactivas. Fue descubierto en 1940 por Martin Kamen y Sam Ruben, y una década después empezó a utilizarse como un método de datación de fósiles muy fiable para muestras menores a 60 mil años.

¿Cómo funciona? Para empezar, se aplica solo a restos orgánicos: huesos, carbón, tejidos, entre otros. Se basa en el hecho de que todos los seres vivos absorbemos carbono-14 del ambiente, pero al morir lo liberamos. Y la ciencia sabe exactamente a qué velocidad lo hacemos: a ritmo exponencial. Por cada 5.730 años de la muerte de un ser vivo, la cantidad de carbono 14 en sus restos fósiles se reduce a la mitad.

Así, conociendo la diferencia entre la cantidad de carbono 14 que debería tener un fósil si estuviera vivo, y la que realmente contiene, se puede conocer la fecha de su muerte (ver infografía siguiente).


El átomo de C-14 se transforma en N-12
a una velocidad constante en el tiempo
ÁTOMO DE CARBONO-14 (C-14)
ÁTOMO DE NITRÓGENO-12 (N-12)
ÁTOMO DE CARBONO-12
ÁTOMO DE CARBONO-14
La concentración de C-14 es igual a la ambiental del momento.
0 AÑOS
ÁTOMO DE NITRÓGENO-12
Solo queda la mitad de la concentración original.
5.730 AÑOS
Eliminado el 99,9% del C-14.
57.300 AÑOS

REFLEXIÓN Y APLICACIÓN

Comenta las teorías que explican el poblamiento americano. ¿Qué opinas acerca del descubrimiento de Monte Verde en este contexto?

Si pudieras obtener ADN de los bollos encontrados en monteverde, ¿qué harías con él? ¿Cómo podrías saber de dónde provenían los monteverdinos?

Si el resultado de tus experimentos indicara que los monteverdinos provenían de Europa, ¿cómo explicarías esto?

¿Cómo eran los monteverdinos?

En el mundo existen muy pocos huesos humanos con más de 10 mil años. Por eso, determinar cómo eran físicamente nuestros antepasados muchas veces depende de lo que se pueda deducir de los objetos que utilizaban o, más recientemente, de los análisis genéticos de los restos.

¿Qué sabemos del físico de los monteverdinos? En la práctica, nada. "En los bollos que encontramos quedaban rastros de ADN", explica el geólogo Mario Pino, quien ha formado parte de todas las investigaciones que se han llevado a cabo en Monte Verde, "pero no fue suficiente para realizar pruebas genéticas". Por eso, nadie sabe cómo eran. Pueden haber sido morenos, de rasgos asiáticos, pero también rubios, si hubieran provenido de Europa, como sugiere una de las teorías del poblamiento americano.

En el ránking de los viejos

Cuando originalmente se determinó la edad de Monte Verde, la noticia causó revuelo. Era, entonces, el asentamiento humano más antiguo del continente. Hoy existen otros lugares en el mundo de mayor edad, ubicados tanto en Estados Unidos, como en Brasil, Colombia y Venezuela.

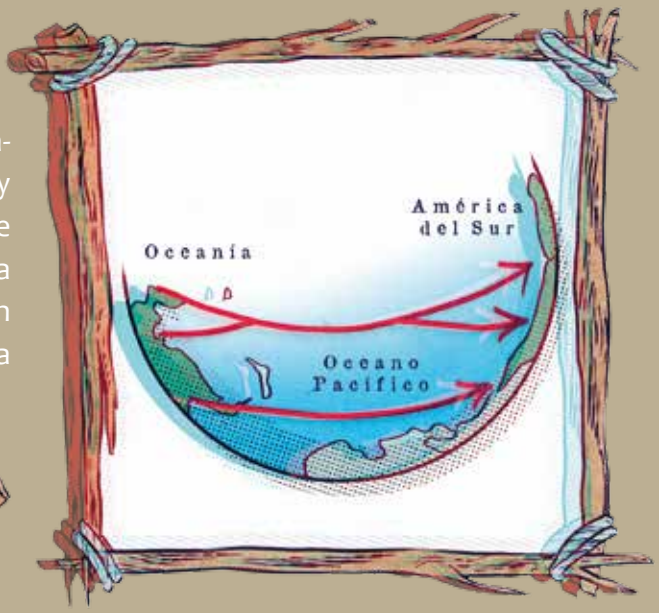
¿Qué importancia tiene la edad de estos sitios? Básicamente, que hace temblar la teoría del poblamiento americano que se afirmaba hace unos años, que indicaba que el hombre llegó a América a través del Estrecho de Bering (ver infografía).

Pero, además, Monte Verde es un buen ejemplo de cómo hacer ciencia: "Lo importante acá es cómo, a través de algo tan simple como la observación, se puede hacer ciencia y derribar un paradigma internacional", dice Mario Pino. Es, por donde se mire, un acontecimiento histórico para la arqueología del país, que ha puesto a Chile bajo la mirada de la ciencia internacional. Por eso, algunos no se explican que no se le haya dado más importancia local. "Este año cumplimos 40 años desde el inicio de las investigaciones, y todavía no existe un museo para exhibir las piezas", ejemplifica el geólogo.

¿Cuáles son las teorías que explican el poblamiento del continente americano?

¿Cómo llegó el hombre a América, y cuándo? Existen distintas teorías al respecto, dentro de las cuales destacan las siguientes:

Poblamiento tardío: (Hace 13.500 años). Durante muchos años, los científicos estuvieron de acuerdo en que la cultura Clovis fue la primera en llegar al continente. Habrían podido hacerlo durante la última glaciación, que produjo el descenso del nivel del mar, y unió Asia con América a través del Estrecho de Bering. El poblamiento se habría efectuado de norte a sur, lo que significa que los asentamientos más antiguos deberían encontrarse en el norte de América.



Poblamiento temprano: Los humanos habrían llegado a América mucho antes, y descubrimientos como Monte Verde, que tienen una antigüedad mayor a la sostenida por la teoría del poblamiento tardío, serían la prueba de ello. La ruta de ingreso habría sido por el mar, desde Australia.

Solución solutrense: Debido a la similitud entre las herramientas usadas por el hombre que habitó el norte de América, y la cultura europea solutrense (desaparecida hace 19 mil años), es que surge la teoría de que el hombre pudo llegar desde Europa a América, a través del mar.

APLICACIÓN

Imagina que eres un investigador. Encuentras un nuevo sitio arqueológico y en él descubres distintos elementos: huesos de animales, puntas de flechas confeccionadas con rocas, un esqueleto humano, vasijas hechas de cerámica ¿Cuáles de ellos elegirías para determinar la edad del nuevo sitio? ¿ Por qué? ¿Qué técnica utilizarías?

¿Cómo se preservan los vestigios en zonas lluviosas?

Durante los miles de años que han pasado desde que los hombres de Monte Verde levantaron el toldo que hoy estudian los científicos, han ocurrido múltiples eventos que podrían haber aniquilado los restos: lluvias, tormentas, paso de animales, viento. El sur es característico por su clima húmedo, que favorece la descomposición de los restos orgánicos.

¿Cómo se explica, entonces, que se preservaran los vestigios monteverdinos? Varias fueron las condiciones que se dieron para que el sur de Chile retuviera este tesoro arqueológico: En primer lugar, debido a un leve ascenso del nivel del agua del arroyo Chinchihuapi, el sitio se convirtió en un pantano donde se fue depositando sedimento, y el asentamiento fue cubierto por una capa de turba, una especie de carbón fósil. Como este sedimento es anóxico, es decir, no contiene casi oxígeno, se inhibió la descomposición bacteriana. Además, gracias a la cantidad de hierro derivado de los volcanes andinos, sobre la turba se formó una segunda capa, de óxido de hierro, que protegió el yacimiento de las lluvias sureñas.

El equipo de trabajo

Distintos especialistas han trabajado a lo largo de las diversas investigaciones que se han realizado en estas cuatro décadas. Todas ellas han sido lideradas por Tom D. Dillehay.

Cómo se financiaron los estudios

Las numerosas investigaciones a lo largo de los años han sido financiadas por diversos organismos. Entre ellos, la Intendencia, el Consejo de Monumentos Nacionales, la Universidad Austral de Chile, Vanderbilt University, SERNAGEOMIN, Universidade de São Paulo, National Geographic Society.

Referencias utilizadas

Dillehay TD, Ocampo C, Saavedra J, Sawakuchi AO, Vega RM, Pino M, et al. (2015) New Archaeological Evidence for an Early Human Presence at Monte Verde, Chile. PLoS ONE 10(11): e0141923. doi:10.1371/journal.pone.0141923

EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

INTRODUCCIÓN

Un año, las noticias nos informan que ha sido la temporada más fría en un siglo. Al otro año, los titulares nos cuentan que es el período más caluroso de la década. Estos extremos, dicen los especialistas, son el resultado del cambio climático, un fenómeno que oímos mencionar continuamente, pero que no siempre entendemos.

¿Qué es, realmente, el cambio climático? ¿Cómo nos afecta? ¿Podemos medirlo de alguna manera? La respuesta a esta última pregunta es: sí. La temperatura del mar, el avance de la deforestación y la cantidad de dióxido de carbono son algunas de las referencias habituales, pero hay otro indicador que, para Chile, es especialmente importante: el impacto en los ecosistemas de alta montaña. Los cambios que se producen en las plantas de altura pueden afectar hasta nuestros recursos hídricos, con todo lo que eso puede implicar en nuestras vidas.

FOCALIZACIÓN

¿Qué especies crees que son las más afectadas por el calentamiento global? ¿Cómo crees que el efecto del calentamiento global sobre otras especies puede afectarnos a nosotros?

¿Qué es el cambio climático?

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático define el cambio climático como "un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables".

En otras palabras, se reconoce que el clima varía en la Tierra de forma natural, como ha ocurrido a lo largo de su historia –las glaciaciones son un buen ejemplo-, pero se considera "cambio climático" al que es provocado por la acción del hombre.

¿Por qué ocurre el cambio climático?

Existe consenso científico acerca de que la principal causa del cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Muchos de estos gases se producen de forma natural pero, debido a la acción del hombre, las concentraciones de algunos de ellos están aumentando en la atmósfera, sobre todo las de dióxido de carbono (CO_2), metano, óxido nitroso y gases fluorados.

Estos gases actúan como el cristal de un invernadero: retienen el calor del sol en la atmósfera, lo que produce un fenómeno conocido como calentamiento global, que es el aumento de la temperatura de la Tierra. Debido a esto ocurre el cambio climático que trae consigo el derretimiento de glaciares, aumento del nivel del mar y desertificación, entre otros efectos.

De todos los gases de efecto invernadero, el CO_2 es producido principalmente por la actividad humana y, según la Dirección General de Acción por el Clima, de la Comisión Europea, es responsable del 63% del calentamiento global causado por el hombre.

En los años 90, se calculaba que para 2025 la presencia de CO_2 en la atmósfera alcanzaría las 400 partículas por millón (ppm). Esa cantidad, sin embargo, se alcanzó en 2013: ¡12 años antes de lo previsto! Hoy, la concentración de CO_2 en la atmósfera supera en un 40% el nivel registrado al comienzo de la industrialización.

¿Qué provoca el calentamiento global?
Entrada luz solar
Luz solar reflejada
Energía infrarroja atrapada
Gases que producen el efecto invernadero
Calentamiento de los océanos
Fuentes de exceso de Co2: combustibles fósiles, fábricas, medios de transporte y deforestación

Lo que nos dicen las plantas

La flora que vive en la alta montaña es especialmente sensible a los cambios de su entorno. Si su ambiente cambia, si la temperatura sube un par de grados, de inmediato las plantas sienten las consecuencias y buscan otro hábitat. Esto, que podría parecer inofensivo, tiene efectos directos para el ser humano: puede generar, entre otras cosas, sequías y aludes. En Chile, donde abundan ecosistemas de altura, el tema es especialmente relevante.

En la alta montaña, donde los árboles no llegan, se desarrollan ecosistemas capaces de resistir situaciones extremas: bajas temperaturas, alta radiación solar, vientos fuertes y suelos inestables. Son los ecosistemas más sensibles a las modificaciones de su entorno, y es por eso que se consideran un buen indicador de los efectos del cambio climático.

"Como son hábitats donde las especies están adaptadas al frío, el incremento de las temperaturas es perjudicial para su desempeño", explica Lohengrin Alexis Cavieres, profesor del Departamento de Botánica de la Universidad de Concepción e investigador del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB). "No es lo mismo cuando la temperatura sube de 29°C a 31°C, no se siente tanto. Pero si pasas de -2°C a 0°C, la diferencia es mucha. No tiene que ver con el cambio en sí mismo, sino de dónde está ocurriendo el cambio", aclara.

Las plantas de altura son las primeras en reaccionar a la variación de temperatura, por eso los científicos las utilizan como testigos de los efectos del calentamiento global. Existe evidencia, en el hemisferio norte, de cómo las especies han ido escalando la montaña, buscando a mayor altura el frío que les acomoda.

¿Y qué efecto puede tener esto? "Las plantas de alta montaña son bajas, crecen a ras de suelo. Esto significa que ahí es posible que se acumule nieve, lo que no ocurre en árboles y arbustos, donde la nieve se pierde en las hojas", cuenta Cavieres, quien tiene numerosas publicaciones al respecto. Los árboles, que crecen más abajo que estas especies, también van subiendo la montaña en busca de su hábitat.

Esto se traduce en que hay más zonas en la montaña donde no se junta nieve, que es fundamental para la provisión de agua para el verano, porque los árboles han reemplazado las plantas de alta montaña. La disponibilidad hídrica disminuye, y aparecen las sequías.

Chile expuesto

Hoy, la temperatura media en el mundo es 0,85 °C superior a la de finales del siglo XIX, y Chile no ha estado exento de este fenómeno. Es más: de acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es uno de los países especialmente vulnerables frente al calentamiento global.

Por qué Chile es vulnerable frente al cambio climático

- Tiene áreas de borde costero de baja altura.
- Tiene zonas áridas y semiáridas.
- Cuenta con áreas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal.
- Es un país propenso a desastres naturales.
- Presenta zonas propensas a la sequía y la desertificación.
- Tiene zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica.
- Tiene zonas de ecosistemas frágiles, montañosos como las cordilleras de la Costa y de los Andes.

Los efectos se han sentido: de acuerdo al Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, del Ministerio del Medio Ambiente, se proyecta un aumento de temperatura en todo el territorio nacional. "Para el período cercano, entre 2011 y 2030, los aumentos de temperatura fluctúan entre los 0.5 °C para la zona sur y los 1.5 °C para la zona norte grande y altiplánica. Para el periodo entre 2031 y 2050, se mantiene el patrón de calentamiento, pero con valores mayores", indica el documento.

Además, se proyectan disminuciones de precipitación entre 5 y 15% entre la cuenca del Río Copiapó y la cuenca del Río Aysén. Para la zona sur, entre la cuenca del río Biobío y el límite sur de la Región de Los Lagos, la señal de disminución de precipitación es más robusta. En otras palabras: aumenta la sequía. Como cita el mismo documento: "para fines del siglo XXI, este tipo de eventos ocurriría más de 10 veces en 30 años".

EXPLORACIÓN Y REFLEXIÓN

Se estudiaron una serie de plantas alpinas de la cordillera de los Andes. Las especies A, B y C crecen sobre los 3,000 metros de altura, donde deben soportar bajas temperaturas y veranos secos. Se realizó un experimento para evaluar como la sequía afecta la resistencia al frío de estas plantas. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Planta	TL (°C) en plantas irrigadas	TL (°C) en plantas no irrigadas
A	-13	-20
B	-12	-13
C	-20	-25

TL: temperatura letal

¿Cómo explicarías los resultados observados? ¿Cuál de las plantas resistirá mejor el frío después de un verano seco?

Si el calentamiento global aumenta las lluvias durante el verano, ¿cómo se afectará la supervivencia de estas plantas en el invierno?

Plantas que marcan la pauta

Para que la nieve se acumule y derrita de forma gradual, las plantas son fundamentales. Ellas actúan como una red de contención de las pendientes de las montañas. "Chile central depende mucho de la estabilidad y vegetación de la ladera para que se acumule la nieve, para que esta se derrita poco a poco en verano", dice Cavieres. Con menos plantas en altura, el proceso de deshielo se ve afectado y, con él, el suministro de agua potable.

Otra consecuencia del cambio climático que afecta a los ecosistemas, es el cambio en las precipitaciones. Aunque las proyecciones en Chile hablan mayormente de una disminución en las lluvias, existen zonas donde podrían aumentar. Debido a que hay muchos sectores que han perdido su vegetación nativa, las laderas se quedan sin la contención de las plantas y se producen los aludes. Podría haber más nieve y, sin las plantas que la retengan, ocurren los deslizamientos de tierra.

Ahora bien, estos fenómenos no son completamente nuevos, puntualiza el investigador. A lo largo de la historia de la Tierra han ocurrido diversas variaciones climáticas, y las especies se ajustan a ellas.

El problema es otro: "todo cambio que se produzca en forma repentina significa una perturbación a los ecosistemas que justamente se han tomado años en adaptarse a las condiciones ambientales", dice. "El gran peligro hoy es la velocidad de los cambios. Muchas de nuestras especies podrían tolerar estas nuevas condiciones pero no lo sabemos, tenemos que estudiar este tema", agrega. Solo con esos antecedentes se podrían proponer medidas para cuidar el suministro de agua.

REFLEXIÓN

1 Respecto al cambio climático y al calentamiento global, ¿crees que en tu ciudad han habido cambios en el clima? ¿Cuáles? ¿A qué crees que se deben?

2 En la ciudad donde vives, ¿cuál es la principal fuente de emisión de gases invernadero? ¿Cómo afecta esto a tu medio ambiente?

3 De acuerdo a tu respuesta, sugiere una solución y/o reemplazo que pueda generar menos emisiones de gases invernadero.

4 Si el calentamiento global continúa de acuerdo a las predicciones, ¿qué cambios podrías observar en la flora y fauna de tu ciudad dentro de 100 años más?

El equipo de trabajo

- Uno de las últimas investigaciones realizada por Cavieres en relación al cambio climático fue "Drought increases the freezing resistance of high-elevation plants of the Central Chilean Andes", en conjunto con un grupo de investigadores del Departamento de Botánica Universidad de Concepción. Los involucrados fueron:
- **Sierra Almeida, Ángela.**
- **Reyes Bahamonde, Claudia.**
- **Cavieres, Lohengrin.**

Cómo se financiaron los estudios

La investigación se llevó a cabo gracias a fondos Fondecyt y al Instituto de Ecología y Biodiversidad -IEB.

Referencias utilizadas

Ángela Sierra-Almeida, Claudia Reyes-Bahamonde, Lohengrin A. Cavieres.
Drought increases the freezing resistance of high elevation plants of the Central Chilean Andes.
Oecologia. 2016 Aug;181(4):1011-23.

Este libro fue desarrollado como parte del proyecto “Sumérgete en la ciencia: taller de habilidades” en el marco del XX Concurso de Proyectos Explora de Valoración y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología.