

LA FUERZA DEL

# SOL



LA FUERZA DEL SOL

## PRÓLOGO

# EL DESAFÍO DE TODOS

El año 2015 comenzamos a visitar la Región de Arica y Parinacota para conversar y escuchar las ideas que las comunidades urbanas y rurales tenían sobre aprovechamiento de la energía solar. Esas ideas, más 140 proyectos solares catastrados, nos permitieron crear –en forma colaborativa y con un importante involucramiento de las comunidades– iniciativas productivas basadas en energía solar.

Nuestro proyecto Ayllu Solar, es una iniciativa de SERC Chile, un centro académico que reúne a prestigiosas universidades. Sus profesionales e investigadores pusieron la ciencia y la técnica para que diferentes comunidades pudieran desarrollar su trabajo gracias a la energía del Sol. Ayllu Solar tiene por objetivo la creación de capital humano para impulsar el desarrollo sostenible de comunidades urbanas y rurales de la Región, a través del uso de energía solar, con el fin de contribuir, desde la ciencia, a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

Después de cinco años, en que pusimos nuestros mejores empeños para colaborar con este sueño de la Región, culminamos una etapa satisfechos de saber que la energía solar se está usando en proyectos palpables, perdurables y capaces de mostrar resultados concretos. Serán las mismas comunidades, involucradas, comprometidas y capacitadas las protagonistas, que mantendrán vivos los proyectos existentes y todas las iniciativas que puedan surgir.

Chile es rico en energía solar. Esta posibilidad, que hemos denominado La Fuerza del Sol –plasmada en el título de este libro–, tiene una especial expresión y relevancia en la Región de Arica y Parinacota. Creemos que este recurso, de valor ancestral en la cultura andina, es y será un motor de desarrollo.

En Camarones, Vitor, Azapa y Visviri, hay iniciativas solares concretas trabajadas a fondo por las comunidades y Ayllu Solar. En Pampa Concordia, Chucuruma y en el sector La Estrella, se están levantando proyectos productivos para el desarrollo de las comunidades, que fueron ganadores de los fondos concursables de Mi Ayllu Solar, en 2018. Sumemos el programa escolar, técnico y universitario destinado a formar capital humano, nuevas generaciones que mantendrán el estímulo para hacer del Sol una fuente de desarrollo.

Esta edición de La Fuerza del Sol es una invitación a seguir en esta ruta de aprendizaje de la energía solar. Y es también un agradecimiento nuestro, de los profesionales de Ayllu Solar, por habernos permitido compartir y colaborar en esta aventura que emprende la Región. El desafío, en adelante, es de todos los que se quieran sumar.

**PROFESOR RODRIGO PALMA BEHNKE** | DIRECTOR NACIONAL AYLLU SOLAR

**LORENA CORNEJO P.** | DIRECTORA REGIONAL AYLLU SOLAR

### LA FUERZA DEL SOL

Ayllu Solar – SERC Chile  
Av. General Velásquez 1775, Arica, Chile.  
Plaza Ercilla 847, Santiago, Chile.

DIRECTORES CIENTÍFICOS: Rodrigo Palma Behnke y Roberto Román Latorre.

COMITÉ EDITORIAL: Carlos Arenas, Lorena Cornejo, Priscila Duarte, Gonzalo León, Andrés Marconi, Marcia Montedónico, Carlos Portillo, Felipe Valencia.

EDICIÓN Y COORDINACIÓN GENERAL: María Isabel De Martini.

REALIZACIÓN: BigBang Productora de Contenidos.

INVESTIGACIÓN PERIODÍSTICA, REDACCIÓN Y EDICIÓN: Leyla Ramírez y Carmen Gloria Ramos.

DISEÑO: Sandro Baeza.

ILUSTRACIONES E INFOGRAFÍAS: Víctor Abarca.

FOTO PORTADA: Braulio Lara.

CORRECCIÓN: Haydée Correa.

ISBN: 978-956-393-154-9

2ª EDICIÓN, MAYO DE 2020

SE IMPRIMIERON XXXX EJEMPLARES

IMPRESO EN GRÁFICA ANDES, SANTIAGO, CHILE.

# ÍNDICE



## PORTADA CON REALIDAD AUMENTADA

Desde tu dispositivo móvil entra a la tienda Play Store de los sistemas Android.  
Baja e instala la aplicación "Ayllu Solar"  
Abre la app y apunta con tu dispositivo a la imagen de la portada.

	UN RECORRIDO POR SU HISTORIA	8
<b>CAPÍTULO 1</b>	EL SOL... PASADO, PRESENTE Y FUTURO	<b>18</b>
	LA ESENCIA DE WIRACOCHA	20
	LA INAGOTABLE ENERGÍA DEL SOL	22
<b>CAPÍTULO 2</b>	LOS HITOS EN CHILE	<b>44</b>
	EL MOMENTO PRECISO	46
	1872 - 2015 DESDE LAS PRIMERAS EXPERIENCIAS EN ATACAMA A LOS TECHOS SOLARES QUE INVADEN LOS EDIFICIOS PÚBLICOS	48
<b>CAPÍTULO 3</b>	LOS PIONEROS	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO 4</b>	EL SALTO AL DESARROLLO SOSTENIBLE	<b>72</b>
	¿Y SI FUÉSEMOS AUTOSUFICIENTES?	74
	LOS ESFUERZOS SE MULTIPLICAN	76
<b>CAPÍTULO 5</b>	AYLLU SOLAR	<b>90</b>
	EL AUGUE DEL SOL	92
	CUATRO DESAFÍOS Y UNA SOLUCIÓN	94
	EDUCAR Y EMPRENDER	104
	BIBLIOGRAFÍA	106
	AGRADECIMIENTOS	107

# UN RECORRIDO POR SU HISTORIA



CREDITO: GRABADO DE THE SAURUS OPTICUS / DOMINIO PÚBLICO.

## 213 A.C.

### LA DEFENSA DE ARQUÍMEDES:

Es el registro más antiguo que se tiene sobre un uso tecnológico de energía solar en el mundo. En el año 213 a.C., el matemático y físico griego fabricó unos enormes espejos cóncavos que usó para reflejar el calor concentrado de los rayos del Sol sobre los barcos de la flota romana, que atacaban Siracusa, hasta hacerlos arder.

### ¿Solo una leyenda?

En 1747, Georges Louis Leclerc demostró que era factible. Usando el mismo tipo de espejos, hizo arder un trozo de madera y luego una choza a distancia. Pero la prueba más concreta llegó en 1973, cuando el ingeniero griego Ioannis Sakkas hizo que 70 marinos apuntaran espejos de 1,5 x 1 metro cada uno hacia la maqueta de un barco romano a 50 metros. Se inflamó en pocos segundos.

## 1515

**DA VINCI** estudió la geometría de los rayos de Sol. Su idea fue fabricar un gran concentrador solar para calentar agua. Nunca lo construyó, pero -con cientos de años de anticipación- previó los usos de la energía solar.

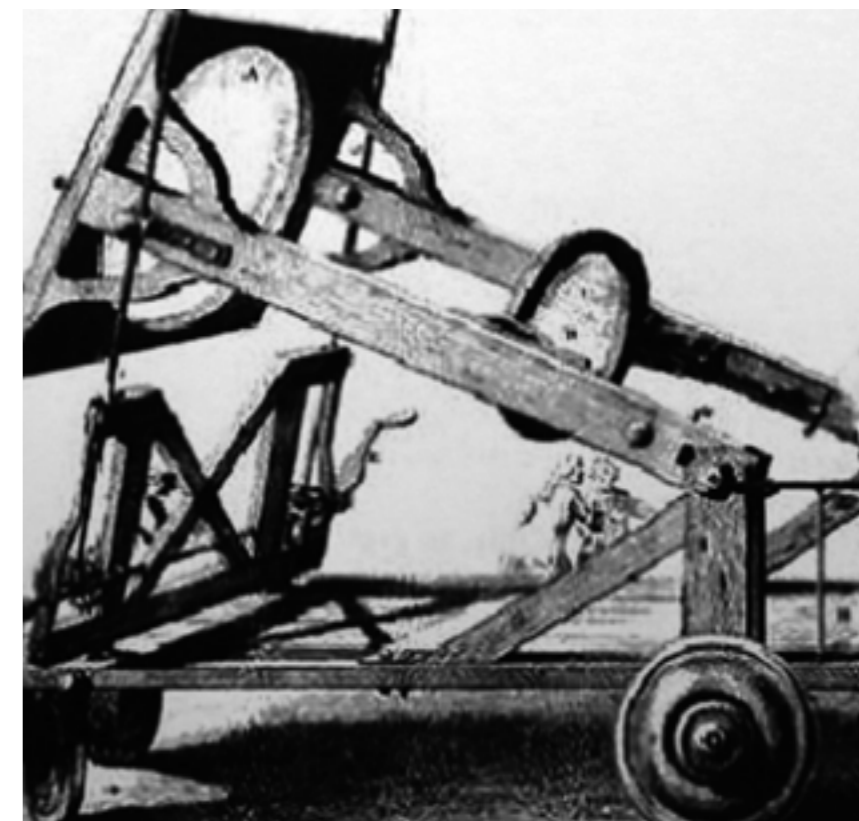
## 1767

*“Algún día este ingenio, que actualmente es pequeño, barato y fácil de fabricar, puede ser de gran utilidad”.*

**HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE**, naturalista y físico suizo. Diseñó el primer colector de energía solar, también conocido como “cajas calientes”. Era una caja negra con una tapa de vidrio que, al exponerse al Sol, alcanzaba temperaturas sobre 85 °C en su interior. Demostró que podía usarse para cocinar alimentos, por lo que se le considera el padre de las cocinas solares.



HORACE-BÉNÉDICT DE SAUSSURE. LITHOGRAPH BY PIERRE PETIT (1832-1885).



HORNO LAVOISIER. CREDITO: PROMES.

## 1792

**EL HORNO SOLAR DE LAVOISIER:** Aunque los primeros modelos datan de finales del siglo XVII, fue Antoine Lavoisier quien sorprendió con su horno solar a fines del siglo XVIII. Sus dos potentes lentes concentraban la radiación en un foco, lo que le permitía alcanzar altas temperaturas. Era capaz de fundir todo tipo de materiales, incluyendo metales como el platino.

## 1839

**EDMOND BECQUEREL** tenía sólo 19 años cuando, al experimentar con una pila de platino, se dio cuenta de que la generación de electricidad aumentaba si uno de los electrodos era expuesto a la luz solar. Fue así como este físico francés descubrió el efecto fotoeléctrico, que luego sería crucial para la creación de las celdas solares.



EDMOND BECQUEREL. CREDITO: NADAR / DOMINIO PÚBLICO.

# 1878

## L'UNIVERS ILLUSTRÉ Y LOS INVENTOS DE AUGUSTIN MOUCHOT:

Este ingeniero diseñó cocinas, destiladores, desalinizadores y otros tantos artefactos que prometían el uso de la energía solar en tareas cotidianas. En 1866 presentó sus inventos a Napolón III, quien decidió financiar sus trabajos. Una década después los mostró en la Exposición Universal de París. Su joya: un motor solar que generaba vapor y era capaz de hacer funcionar una máquina para hacer hielo. Se ganó la medalla de oro y la portada del semanario francés, pero el bajo precio del carbón le jugó en contra y pronto sus creaciones fueron olvidadas.



CREDITO: GALLICABNF

# 1882

**EL MÁS IMPORTANTE SEMANARIO DE CIENCIA** dedicó una edición completa al uso de la energía solar para aliviar a los humanos de muchas tareas cotidianas. Incluyendo el último esfuerzo por demostrar la importancia de la obra de Mouchot que hizo su ayudante, el ingeniero Abel Pifre: un motor solar que hacía funcionar una imprenta a vapor, con la cual editó la revista *Le Journal du Soleil*.

PORTADA LA SCIENCE POPULAIRE, N° 131, DEL 17 DE AGOSTO DE 1882.



CREDITO: GALLICABNF

PORTADA DE L'UNIVERS ILLUSTRÉ, DEL 12 DE OCTUBRE DE 1878.

# 1883

**LA PRIMERA CELDA SOLAR** surgió del ingenio de Charles Fritts. El dispositivo, que usó selenio recubierto en pan de oro, era muy básico y su eficiencia, menor al 1%. Pero convirtió a Fritts en el primero en demostrar que se podía generar electricidad a partir de rayos solares directos. El invento abrió las puertas a la producción comercial de paneles solares.

# 1891

**"EL CALOR DEL SOL... utilizando una de las generosas fuerzas de la naturaleza".**

Con esta publicidad se vendía el calentador solar de agua de Clarence Kemp, la primera patente comercial de su tipo. El dispositivo mezcló la tecnología de las "cajas calientes" de Saussure con el uso de tanques de metal expuestos al Sol. Seis años después, un tercio de los hogares de Pasadena, en Estados Unidos, utilizaba Climax para calentar el agua.

**Climax Solar-Water Heater**  
 UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES  
**THE SUN'S HEAT** (Stored up in Hot Water for Baths, Domestic and other Purposes.)  
 GIVES HOT WATER at all HOURS OF THE DAY AND NIGHT  
 NO DELAY  
 FLOWS INSTANTLY.  
 NO CARE NO WISSEY.  
 ALWAYS CHARGED ALWAYS READY.  
 THE WATER AT TIMES ALMOST BOILS.  
**Price, No. 1, \$25.00**  
 This Box will Supply 100 Gallons for 3 to 4 Baths.  
 CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.

# 1912

**LA PRIMERA PLANTA SOLAR** fue diseñada por el ingeniero estadounidense Frank Shuman y el físico inglés C.V. Boys. Como muestra la portada de *The Electrical Experimenter*, esta planta de canal parabólico tenía cinco artesas con espejos parabólicos dispuestos en estructuras semicirculares que seguían la trayectoria del Sol. La radiación generaba el vapor que movía el motor. Era capaz de bombear más de 20 m<sup>3</sup> de agua por minuto desde el Nilo a bajo costo. Pero durante la Primera Guerra Mundial se perfeccionó el motor a gasolina y se descubrieron grandes yacimientos de petróleo en Medio Oriente. El invento de Shuman y Boys pasó al olvido.

# 1939-1948

**LOS TECHOS SOLARES DEL MIT:** Los primeros prototipos de casas solares surgieron en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés). En 1939, H.C. Hottel mostraba al mundo Solar One, la primera casa en América calentada con energía solar. En 1948, la arquitecta Eleanor Raymon diseñó la Dover Sun, dotada de colectores solares térmicos elaborados por la experta del MIT, María Telkes.



SOLAR ONE.

CREDITO: WIDE WORLD PHOTO, THE MIT NEWS OFFICE, AND THE MIT MUSEUM.

**THE ELECTRICAL EXPERIMENTER**  
 H. GERNSBACK EDITOR  
 H. W. JECOR ASSOCIATE EDITOR  
 Vol. III. Whole No. 28 MARCH, 1914  
 Publisher E. Kennedy E.

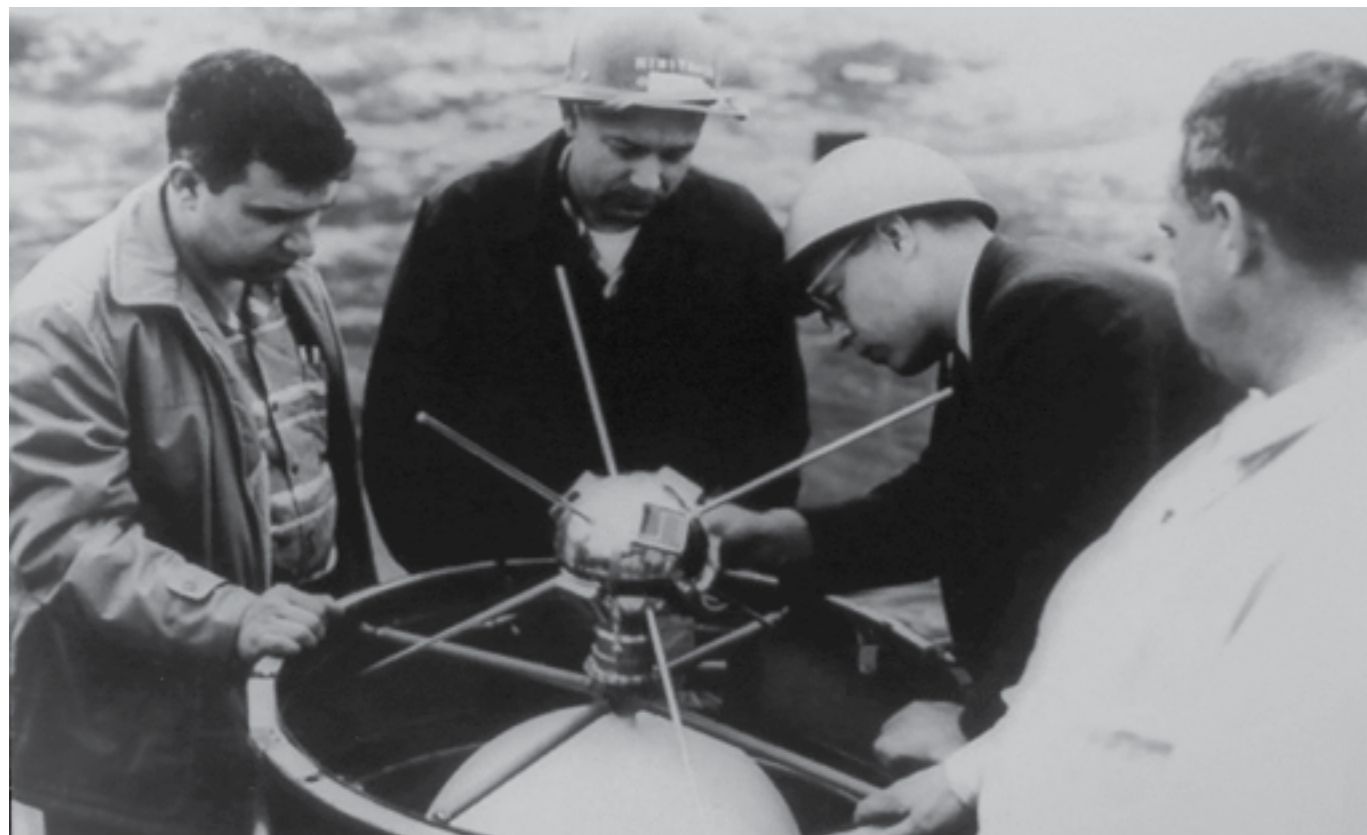
**The Utilization of the Sun's Energy**

# 1954

**CALVIN FULLER, DARYL CHAPIN Y GERALD PEARSON**, ingenieros de los Laboratorios Bell, dieron el salto más importante en la elaboración de celdas solares. Los estadounidenses fueron los primeros en usar silicio en una celda solar, que logró una conversión de 6%, suficiente para hacer funcionar un equipo eléctrico hogareño. Las anteriores, de selenio, apenas alcanzaban el 0,5%. Luego, Hoffman Electronics mejoró la eficiencia de las células fotovoltaicas hasta el 14%, reduciendo los costos de fabricación para conseguir un producto que pudiera ser comercializado.



CREDITO: BELL LABS



CREDITO: NASA

## 1958

**VANGUARD 1** se convierte en el primer satélite espacial en usar paneles solares. El sistema fotovoltaico le permitió seguir transmitiendo durante siete años, mientras que las baterías químicas se agotaron en solo 20 días. Fue el inicio de un *boom* en el uso de la energía solar en el espacio y del desarrollo de mejor tecnología que pronto llegaría a la vida cotidiana.



## 1970

**CELDA SOLAR DE BAJO COSTO:** Con la ayuda de Exxon Corporation, el químico Elliot Berman (en la foto) diseña la primera celda solar de bajo costo, pasando de US\$ 100 a US\$ 20 por watt generado en ese momento (hoy, el costo es menor a los US\$ 0,30 por watt). La energía solar comienza a mirarse como una solución viable para lugares remotos, como plataformas de petróleo, faros y residencias de zonas alejadas. A finales de la década, esta tecnología llegará a objetos cotidianos, como lámparas, bombas de agua, teléfonos de emergencia y calculadoras.

## 1977

**EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍA SOLAR:** Se crea el Solar Energy Research Institute (SERI) en las cercanías de Denver, Colorado (EE.UU.). Algunos años más tarde, cambió su nombre a National Renewable Energy Laboratory (NREL) y pasó a integrar la red de laboratorios nacionales de Estados Unidos.

## 1978

**LA RESERVA INDÍGENA PAPAGO** fue el lugar elegido por el Centro de Investigación Lewis, de la NASA, para instalar la primera aldea en el mundo abastecida por energía solar. El Sol sirvió para bombear agua de un pozo comunitario y entregar electricidad a 15 casas.



RESERVA INDÍGENA PAPAGO.



## 1981

**EL SOLAR CHALLENGER** se convirtió en el primer avión en realizar un vuelo de larga distancia impulsado solo con energía solar. Construido por Paul MacCready, el avión logró la hazaña de recorrer 262 km desde el norte de París y una base aérea en el Reino Unido en 5 horas y 23 minutos. Este avión tenía 16.128 celdas en sus alas que generaban una potencia de 3.800 W. Tres décadas después, el Solar Impulse 2 fue el primer avión solar en dar la vuelta al mundo.



CREDITO: PSA / GENTILEZA JULIAN BLANCO.

## 1981

**PLATAFORMA SOLAR DE ALMERÍA:** Ubicada en el desierto de Tabernas (España), esta plataforma es el mayor centro de investigación, desarrollo y ensayos de Europa dedicado a las tecnologías solares de concentración. Fue un proyecto internacional liderado por el CIEMAT (Centro de Investigación y Estudios en Materiales) del gobierno español tras la crisis del petróleo de 1973. Pero cuando los precios bajaron en 1986, siete países abandonan el proyecto, quedando solo España y Alemania. Esta última se retiró en 1999. Ahí realizan ensayos en concentración solar, química solar, eficiencia energética en edificios e investigación espacial, probando resistencia de materiales a altas temperaturas en su horno solar, que alcanza mil grados en un minuto. Este centro impulsó la creación de la primera planta termosolar de torre que funcionó comercialmente en Europa (2006, en Sevilla). Hoy es una gran plataforma internacional y de la Unión Europea.

## 1982

**EL PRIMER AUTO QUE SE MUEVE CON ENERGÍA SOLAR** fue conducido por Hans Tholstrup y Larry Perkins. Se llamó Quiet Achiever y atravesó Australia de oeste a este, trayecto de 4.000 kilómetros que logró en 20 días, usando solo energía solar: ocho días más rápido que el primer automóvil a gasolina que recorrió igual trayecto en 1912. Tholstrup es el fundador de "El Desafío Solar Mundial", considerado el mayor campeonato mundial de carreras de autos solares.



CREDITO: MUSEO NACIONAL DE AUSTRALIA.

## 1985

La Universidad de Gales del Sur rompe la barrera de 20 % de eficiencia para las celdas solares de silicio.

## 1993

Pacific Gas & Electric completa la instalación del primer sistema fotovoltaico que alimenta con 500 kilowatt a una red eléctrica tradicional.

## 2000

First Solar, ubicada en Ohio, EE.UU., se convierte en la planta solar más grande del mundo, al lograr una producción de 100 MW de potencia.

## 2004



EL HORNO SOLAR DE ODEILLO, CREADO EN 1970 Y EN OPERACIONES HASTA HOY.

LA CENTRAL SOLAR THEMIS OPERÓ DE 1983 A 1986. LA PRIMERA CON ACUMULACIÓN TÉRMICA EN SALES FUNDIDAS.



CREDITO: ROBERTO ROMAN.

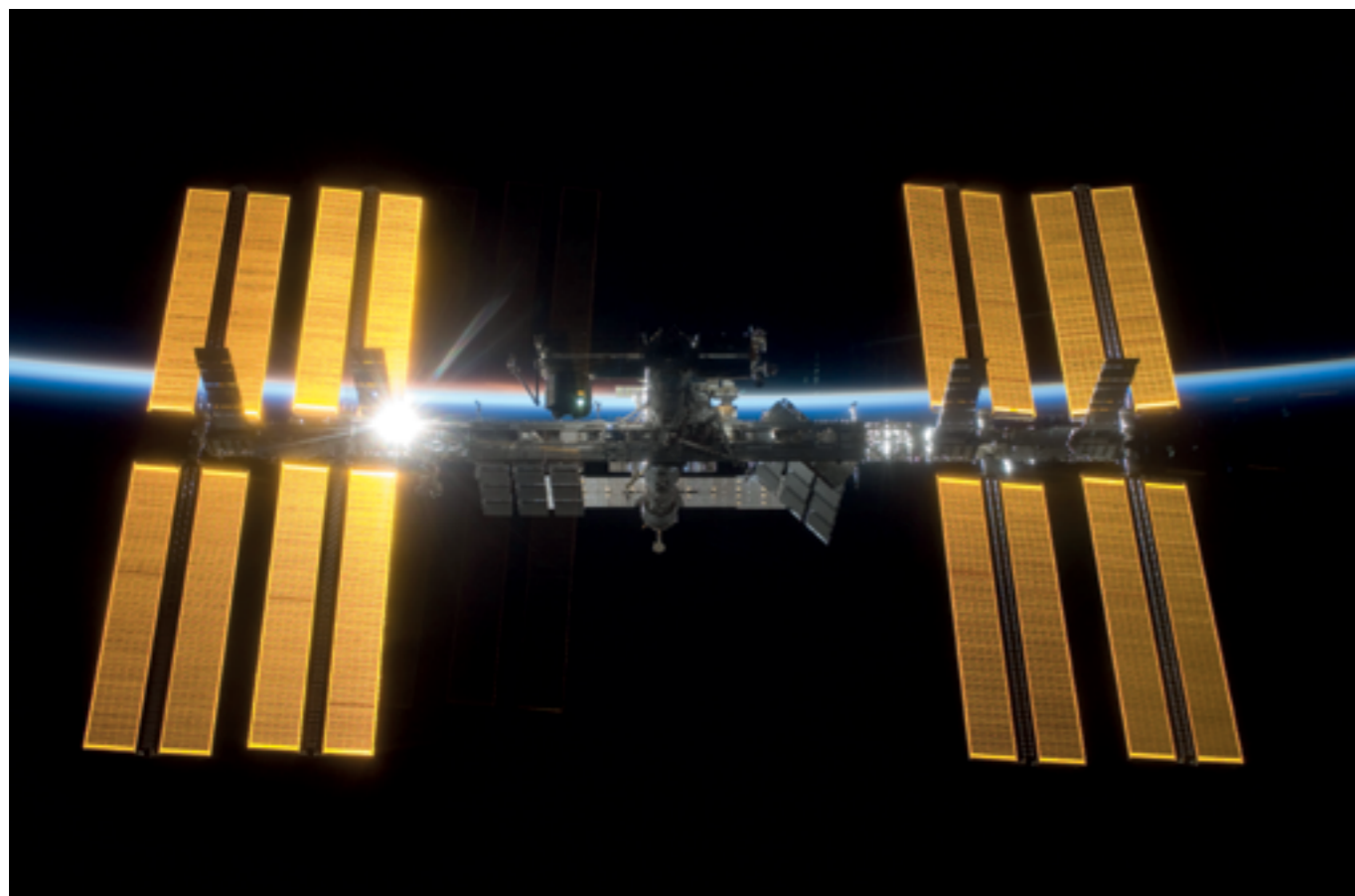
**LABORATORIO PROMES:** El aumento de los precios del petróleo, el calentamiento global y el Protocolo de Kyoto llevaron al Centro Nacional de Investigación Científica de Francia (CNRS) a retomar su interés por la energía solar y fundar el Laboratorio de Métodos, Materiales y Energía Solar (Promes). Este laboratorio está formado por un centro de pruebas solares que conduce el proyecto Tecnosud y por algunas instalaciones íconos: el Horno Solar de Odeillo y THEMIS.

En 1970 se había puesto en marcha el Gran Horno Solar de Odeillo, de 1.000 kW de potencia térmica y capaz de llegar a 3.800 °C en el foco. Fue dirigido en sus primeros años por el destacado doctor Félix Trombe, pionero en investigación en energía solar. Ahí se inician los estudios que conducirán al desarrollo de las primeras plantas termosolares, incluyendo las norteamericanas.

En 1982 entró en operaciones la planta solar THEMIS, en las cercanías de Odeillo, que generaba 2,5 MW y tenía acumulación en sales. Se mantuvo hasta 1985 y, actualmente, es una plataforma experimental.



## LOS PANELES SOLARES INVADEN EL ESPACIO



Desde el primer satélite que usó paneles fotovoltaicos como fuente de energía en 1958, esta tecnología se tomó los proyectos espaciales. Desde las sondas enviadas a reconocer diversos planetas de nuestro Sistema Solar a principios de los 90, como Magallanes, Mars Global Surveyor y Mars Observer, hasta el telescopio espacial Hubble, en órbita alrededor de la Tierra. Pero el año 2000 marca un hito. Los astronautas comienzan a emplazar lo que será la mayor instalación de energía solar desplegada en el espacio en la Estación Espacial Internacional (EEI), con 32.800 celdas solares por cada "ala" de la EEI.

En el siglo XXI, sondas, misiones y los robots marcianos han usado los paneles solares como fuente de energía para movilizarse y enviar datos con gran éxito y eficiencia.



## 2014-2020

## LAS PLANTAS MÁS PODEROSAS DEL MUNDO. . .

**IVANPAH:** En el desierto de Mojave, en California, opera desde 2014 la planta de energía solar térmica concentrada más grande del mundo. Es considerada un hito debido a sus 1.300 hectáreas y su capacidad para generar 400 MW, suficientes para abastecer a 140 mil hogares. El sistema redirige la radiación desde sus 300 mil espejos hacia una torre central, donde se produce el vapor que hace girar una turbina.



CREDITO: USGS/NASA LANDSAT.

**LONGYANGXIA ( O DEL OSO PANDA):** Esta estación fotovoltaica, ubicada en China, cubre un área de 9,16 kilómetros cuadrados, tiene 4 millones de paneles y, cuando llegue a su máxima capacidad, generará una potencia de 850 MW. Es tan grande, que la NASA la ha fotografiado desde el espacio.

### KURNOOL ULTRA MEGA SOLAR PARK:

Esta planta solar, ubicada en India, cuenta con una red de 1.000 MW instalados y es, en 2020, la más grande del mundo. El parque ocupa un espacio de 2.400 hectáreas y significó una inversión de 1.000 millones de euros. Actualmente, usa cuatro millones de paneles solares, con una capacidad de 315 vatios cada uno.



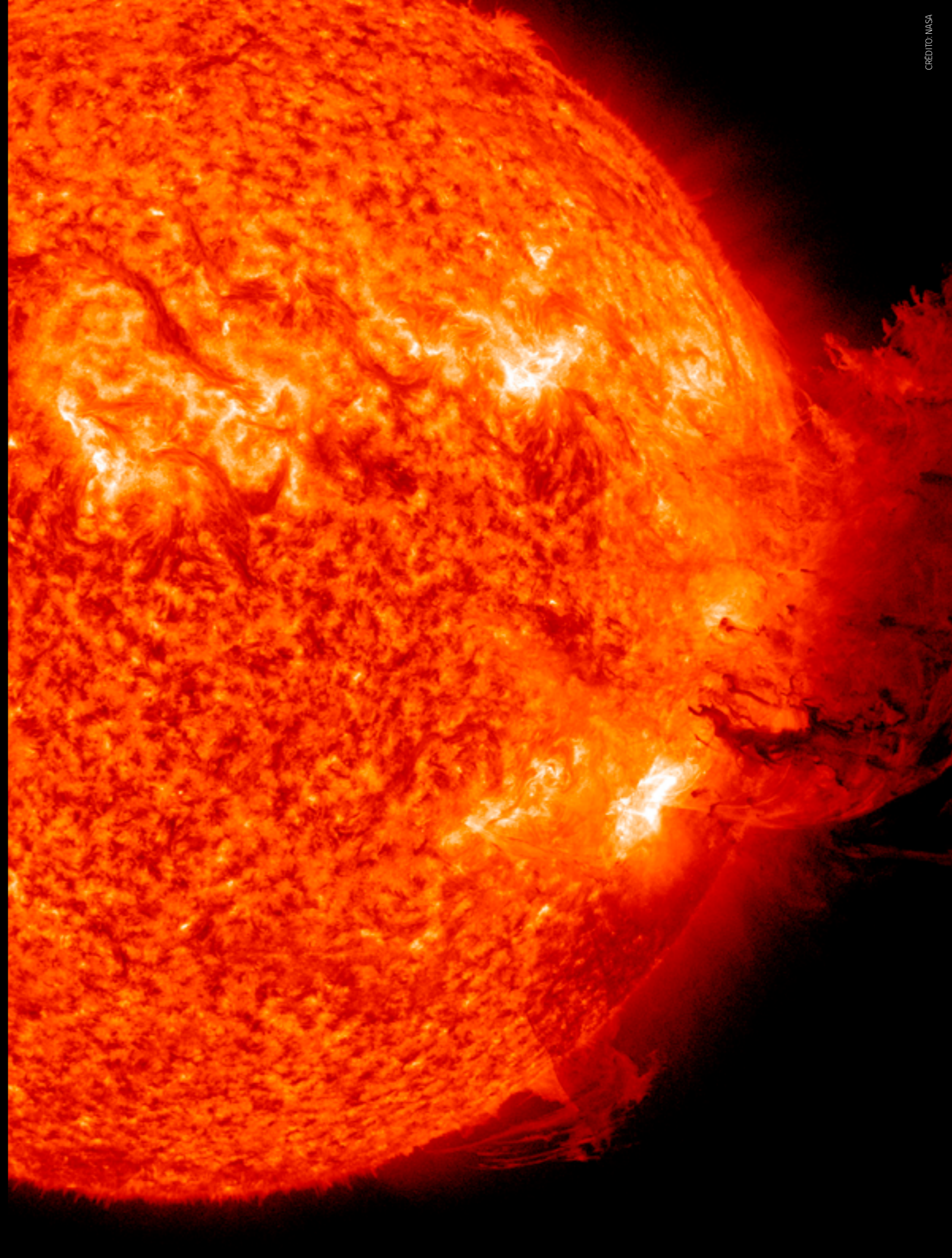
COPERNICUS SENTINEL-2, ESA

# 01 /

## EL SOL... PASADO, PRESENTE Y FUTURO

*Es una de los cientos de miles de millones de estrellas que forman nuestra galaxia. Su adoración como divinidad es tan antigua como los primeros grupos humanos, cuando el hombre buscó en el cielo las explicaciones para los fenómenos que ocurrían en su entorno. La ciencia le quitó su dimensión divina, pero también confirmó lo que varias de las culturas precolombinas ya intuían: su importancia como sustento de la vida en el planeta.*

*Siglos después volvemos a mirar al cielo. Ahora, para encontrar ahí una fuente de energía que asegure la supervivencia de nuestra especie.*



# LA ESENCIA DE WIRACOCHA

*"Había fiesta en el pueblo. En la casa (uta) los músicos zampoñeros estaban comiendo cuando llegó un viejo vestido con andrajos. Algunos invitados lo corrieron, al tiempo que lo insultaban diciéndole: '¡Váyase, viejo mocoso!'. Los músicos lo defendieron asegurando: 'Todos llegaremos a viejos'. Luego lo lavaron con cuidado y lo invitaron a almorzar con ellos. El viejito, antes de entrar a la casa de los músicos, se encontró en el corral con una señora que cargaba una guagüita, y la señora dijo: '¡Ay tata!, ¿kunat jumax ak'am t'ant'apachas sarnaqtasa kawkit purjtasa kunara pasjtamsti tata? (¡Ay, tata señor! ¿Por qué andas así tú tan harapiento, tan perdido, qué te pasa, de dónde vienes?). Pero el cabecilla de la fiesta dijo: '¿Qué quieres, viejo inmundo? ¡Váyase de aquí, ahorita nomás!'. El viejito, una vez que terminó de almorzar, dijo: 'Me iré... Pero, amigos zampoñeros, váyanse de aquí muy lejos, sin mirar atrás, porque algo terrible va a pasar'. Y también se lo comunicó a la señora que cargaba su guagua (wawa). Los músicos y la señora salieron del pueblo y, cuando estaban en lo alto del cerro, miraron hacia el pueblo... Y en un momento se convirtieron en piedra".*

Para llegar a Pusiri Collo hay que caminar más de dos horas y en el pasado los habitantes de Socoroma, pequeño poblado a 30 kilómetros de Putre, subían a este cerro sagrado a rogar por sus cosechas. La tradición oral cuenta que se podía ver en las grandes piedras a los músicos con sus zampoñas y también a la señora y su guagua. Hoy se le conoce como la Leyenda de Socoroma y ha pasado de generación en generación en el pueblo andino.

¿Quién era el viejo andrajoso? Thunupa Wiracocha, el hijo/enviado de Wiracocha, el dios creador o la sustancia con que están creadas todas las cosas. Wiracocha creó el universo, el Sol, la Luna, las estrellas, el tiempo. Era adorado como el dios del Sol.

Cada 21 de junio, cuando la Tierra se aleja del Sol y sus rayos caen oblicuamente sobre el hemisferio sur, las culturas altiplánicas celebran el regreso de Wiracocha, marcando el día en que renace del ciclo de la vida: la época de cosecha termina y la tierra se prepara para su nuevo tiempo de fertilidad. Es el nue-

vo año, pero -a diferencia de la festividad occidental, donde el tiempo es medido de manera lineal- acá la vida es concebida en forma circular, como el camino que sigue el Sol en los cielos de los Andes: del oriente vienen la luz y las lluvias, y en el occidente está el ocaso, donde se pierden las aguas y el desierto. Una gran rueda que gira en el presente de manera permanente y, si los andinos suelen hablar con sus ancestros como si estuvieran en casa, es precisamente porque, bajo esta concepción, sus antepasados siguen viviendo en este contexto del aquí y el ahora.

En efecto, marcado por fuertes contrastes geográficos y climáticos, el Altiplano fue escenario del desarrollo de sociedades que aún hoy nos sorprenden por su elevado nivel de comprensión de su entorno y del cosmos. Incluso antes de que comenzara la soberanía inca (quienes cambiaron el nombre de Thunupa Wiracocha a Inti), las concepciones religiosas, astronómicas y culturales de los pueblos andinos van más allá de creer en Wiracocha, el Sol o la tierra; es el entendimiento de un universo más complejo, donde la naturaleza, los animales, las estrellas y los humanos conviven en un mismo espacio y tiempo.

Muchas de las investigaciones que se han hecho en torno a la cosmovisión andina dan cuenta de que Wiracocha es el principio energético vital que crea, anima y ordena el cosmos; engendra y protege la vida y es fuente de fertilidad y abundancia. Cada río, roca, hoja, el viento, cada montaña son expresión visible de esa energía no visible, esa energía que hace que el mundo sea y exista. Y el ser humano, como parte de la naturaleza misma, no domina ni pretende dominarla, sino que armoniza y se adapta para coexistir en esta.

En este principio ético se sustenta el fuerte vínculo que las comunidades altiplánicas han mantenido con la tierra, el trabajo y la producción, y también la profunda conciencia de responsabilidad colectiva que las caracteriza. Como señalan Eduardo Gálvez y Roberto Hernández en su texto *Cultura y Energías Renovables: la experiencia en comunidades aimaras*, el pensamiento andino sigue un modelo de desarrollo biológico, en que los acontecimientos y las cosas se producen como en el reino de la flora

y la fauna: brotan por la fuerza vital y generadora del universo; crecen, florecen, dan fruto y se multiplican cuando las condiciones son favorables y son cultivadas con cariño y comprensión. Un pensamiento que también rige las prácticas tecnológicas. "Mientras la lógica occidental desarrolla una tecnología para su economía de producción mecánica, la lógica aimara desarrolla su tecnología al servicio de su economía de producción biológica", señala el texto.

Andenes, caminos, sistemas de riego, pircas, selección y mejora de variedades de cultivo son parte de la tecnología que los pueblos altiplánicos han construido al servicio de esta producción biológica y también son parte de las enseñanzas que les dejó Thunupa Wiracocha, a quien también se le conoce como Tarapacá, Wiracochan pachayachicachan, Bichaycamayoc, Cunacuycamayoc, que quiere decir el enviado de Wiracocha, su fuente, el predicador, el encargado del presente o el conocedor del tiempo.

El relato cuenta que este viejo, vestido de una túnica andrajosa, de cabello corto, con una corona en la cabeza y un báculo, como los que usaban los sacerdotes o astrónomos antiguos, recorrió el territorio andino nombrando a los árboles grandes y pequeños, a sus flores y frutos; mostrando a la gente aquellas plantas que eran buenas para comer y las que no; puso nombre a todas las hierbas e indicó el tiempo en el que habrían de florecer y fructificar. Enseñó a los hombres cómo cultivar, el arte, la música, las danzas, la cultura, la construcción de casas, de andenes, de terrazas y caminos. Pero, sobre todo, los instruyó en los principios del proceder comunitario y la reciprocidad en que se basa la organización social andina.

*"Luego, este Wiracochan prosiguió su camino haciendo sus obras hasta que llegó a la línea equinoccial cerca al ecuador, donde queriendo dejar esta tierra, informó a la gente sobre las muchas cosas que habrían de suceder. Les dijo que con el tiempo habrían de venir gente diciendo ser Wiracochas y a los cuales no les deberían de creer. Y dicho esto, se metió al mar caminando por sobre el agua como si fuese su espuma...".*

*El Altiplano fue escenario del desarrollo de sociedades que aún hoy nos sorprenden por su elevado nivel de comprensión de su entorno y del cosmos. Las concepciones religiosas, astronómicas y culturales de los pueblos andinos van más allá de creer en Wiracocha, el Sol o la Pachamama; es el entendimiento de un universo más complejo, donde la naturaleza, los animales, las estrellas y los humanos conviven en un mismo espacio y tiempo.*

# LA INAGOTABLE ENERGÍA DEL SOL

*Para igualar la cantidad de energía que produce el Sol es necesario convertir 4,26 millones de toneladas de materia en energía cada segundo. Cuesta imaginarlo, ¿verdad?*

**A**nalicemos esta cifra: la radiación solar que impacta sobre un metro cuadrado de superficie ariqueña durante un día genera una energía equivalente a 6 kWh; suficiente para abastecer la demanda total diaria de una casa si toda esta energía se pudiese convertir en electricidad. Y estamos hablando de solo un día en un metro cuadrado. Imagine si nos ampliamos a los más de 16 mil km<sup>2</sup> de Arica y Parinacota. Así es. La cantidad de energía es tal, que si cada habitante tuviera que pagar por la luz solar que recibe la región lo mismo que por el kWh de electricidad que consume, tendría que gastar más de 5 millones de pesos diarios.

Eso, claro, si es que alguien nos cobrara la luz que nos llega directamente del Sol a la tarifa promedio actual de la zona. Afortunadamente, esta estrella, que se ubica en el centro de nuestro sistema planetario, es una fuente casi inagotable de energía. Y aprovecharla para generar electricidad o calor es uno de los tantos regalos que nos ofrece; más aún, cuando el uso intensivo de combustibles fósiles está amenazando seriamente el equilibrio de la vida en la Tierra.

Pero vamos por parte...

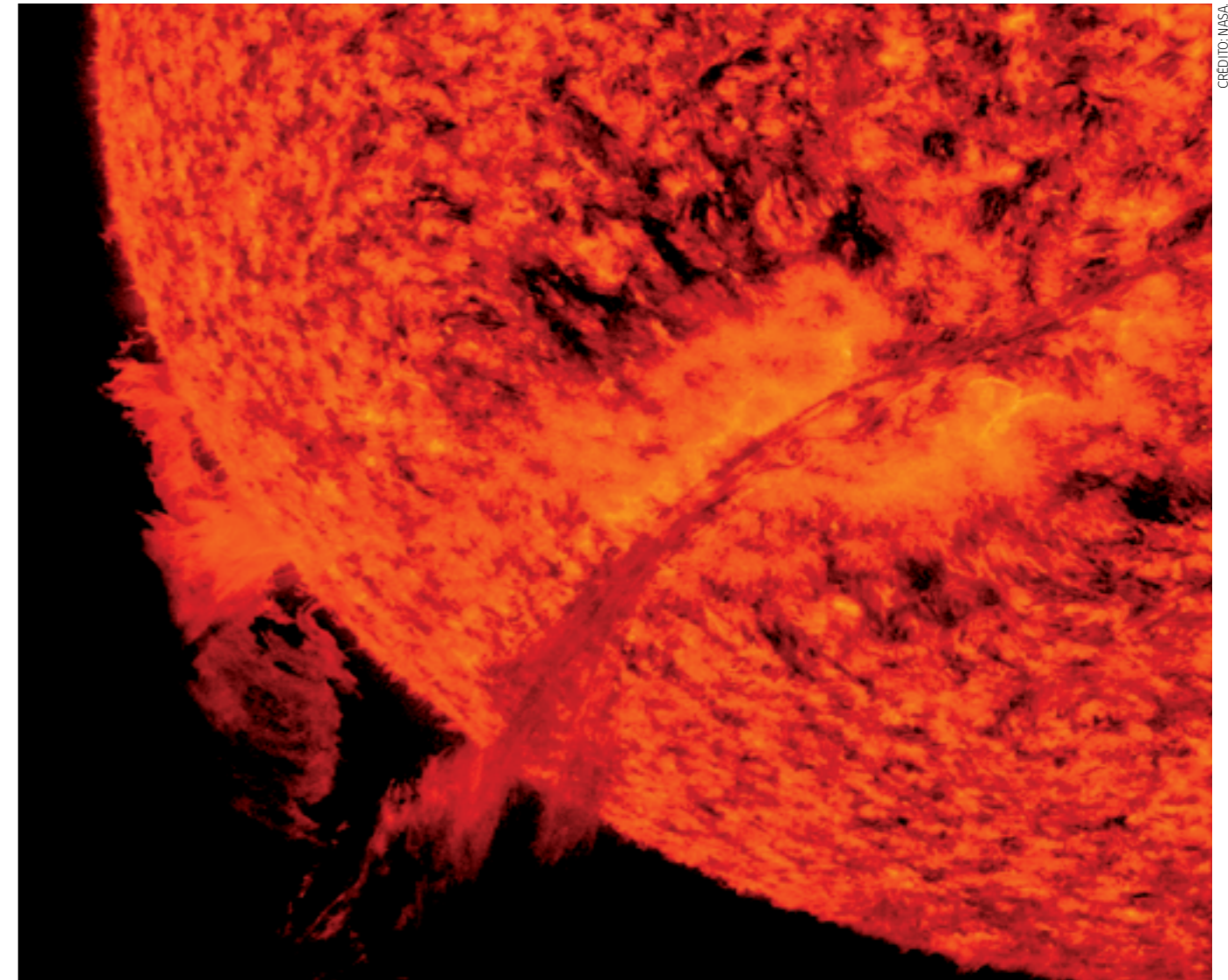
## ¿DE DÓNDE LA OBTIENE?

Esta es una de las grandes interrogantes que se ha planteado la Física desde que el ser humano dejó de creer que el Sol fue puesto ahí por alguna divinidad para alumbrar y calentar la Tierra. ¿Se trataría de una bola incandescente en continua combustión? Por el conocimiento acumulado hasta fines del siglo XIX eso era imposible. Si estuviera ardiendo permanentemente, se habría consumido en unos cuantos miles de años, pero los fósiles encontrados indicaban que la vida en el planeta había comenzado millones de años antes. Debía, necesariamente, ser un Sol mucho más viejo; y, por consiguiente, el origen de su energía era otro.

En 1905, la conocida fórmula  $E=mc^2$  de Einstein entregó la respuesta. En un trabajo simultáneo a la Teoría de la Relatividad, el físico demostró que masa y energía son distintas manifestaciones de lo mismo y, por lo tanto, son convertibles entre sí. Y eso es, precisamente, lo que ocurre en el Sol.

Veamos.

Nuestro Sistema Solar se formó a partir de una enorme nube de gases y polvo, que se originaron durante miles de millones de años como consecuencia del procesamiento de hidrógeno y helio primitivo. Hasta ahora se ha identificado la presencia de 63 elementos y 11 moléculas en la composición del Sol, aunque aproximadamente el 92 % de sus átomos son de hidrógeno y casi todo el resto de helio. Los demás elementos constituyen solo el



0,1 % del número total de átomos.

La fuerza gravitacional, que actúa atrayendo los centros de los cuerpos, hizo que esta nube de gases y polvo comenzara a girar. A medida que la velocidad de rotación y la temperatura se elevaron producto de la fricción, fue formándose un trozo denso de materia en el centro del Sol que emitía calor. A eso se le conoce como protoestrella. Pero cuando la temperatura superó los 10 millones de grados centígrados, se iniciaron las reacciones nucleares.

Así es: el interior del Sol es un inmenso reactor nuclear. Átomos de hidrógeno y helio se mueven a grandes velocidades en todas direcciones. Su choque es inevitable, lo mismo que su fusión a más de 20 millones de grados centígrados. Pero en esta fusión, la masa resultante es menor que la suma de las partes. ¿Dónde está la materia que parece haber desaparecido? Como dijo Einstein, la masa perdida se transformó en la energía que mantiene unidos a los núcleos fusionados.

Se estima que, durante cada segundo, 564 millones de toneladas de hidrógeno se convierten en 560 millones de toneladas de helio, en el núcleo del Sol. La diferencia de cuatro millones de toneladas se transforma en energía expulsada hacia el espacio en todas direcciones y se manifiesta en la luz y calor que recibimos todos los días.

¿Recuerdas las imágenes de la bomba atómica? Bueno, el núcleo del Sol es una bomba nuclear en permanente explosión. Se ha mantenido así durante 4.600 millones de años y se estima que continuará otros 5 mil millones de años. Y, de paso, ha hecho posible que usted exista. Porque esta energía dio origen a la serie de reacciones químicas que formaron océanos, atmósfera y, finalmente, la vida como la conocemos en el planeta.

*En apenas una hora, el Sol transmite a la superficie de la Tierra más energía de la que el planeta utiliza en un año.*

*Si lograra almacenarse la energía solar que incide durante todo un día en la superficie chilena, se podría abastecer al país durante nueve años y cuatro meses, de manera ininterrumpida.*

### ESFERA DE GAS

El Sol es una estrella que nació hace 4.500 millones de años y que está formada principalmente por hidrógeno y helio.

### EL NÚCLEO

175 MIL KM de diámetro tiene el núcleo. Equivale al 20% del tamaño del Sol.

20 MILLONES DE °C es la temperatura del núcleo. Ahí se produce toda la energía que libera nuestra estrella.

### ZONA RADIATIVA

560 MIL KM de espesor. Representa el 70% del tamaño del Sol y se encarga de propagar la energía en forma de radiación.

# EL SOL

## RADIACIÓN

100 MIL AÑOS es lo que demora la radiación en emerger desde el núcleo hasta la superficie solar. Desde donde se dispara al espacio a la velocidad de la luz.

8 MINUTOS tarda la energía que sale desde la fotosfera en alcanzar la Tierra.

### UN AÑO LUZ

es la distancia que la luz recorre en un año. Y como en el espacio viaja a casi 300.000 kilómetros por segundo, equivale a 9,5 mil millones de kilómetros, aproximadamente.

### 1,3 MILLONES DE PLANETAS TIERRA

pueden entrar en el Sol. Pero nuestro Sol es una estrella mediana. Se han hallado estrellas con un diámetro 100 veces más grandes.

### RADIO

700.000 KM mide el radio del Sol la distancia que hay desde el centro hasta el borde exterior de la fotosfera.

### ZONA CONVECTIVA

Esta capa cubre la zona radiativa y se extiende hasta la superficie del Sol. Aquí se producen columnas de gas caliente que ascienden hacia la superficie (fotosfera), se enfrían y vuelven a descender.

### FOTÓSFERA

Es la capa exterior del Sol que vemos desde la Tierra y encargada de emitir la mayor parte de la luz que llega a la Tierra.

300 KM de espesor tiene la fotosfera.

### 5.500 GRADOS CELSIUS

es su temperatura superficial con algunas zonas más frías (4.000 °C) conocidas como manchas solares.

### DISTANCIA A LA TIERRA 150 MILLONES DE KM

es la distancia entre el Sol y la Tierra. No es una distancia constante, porque en su recorrido en torno al Sol, la Tierra describe una órbita elíptica: a lo largo del año está más cerca y más lejos de este astro.

### MÁS CERCA 143.103.000 KM

es la mínima distancia entre Tierra y Sol y ocurre el **3 de enero** de cada año.

### MÁS LEJOS 152.106.000 KM

es la mayor distancia entre Tierra y Sol y ocurre el **4 de julio** de cada año.

\* La posición y los tamaños de la Tierra y la Luna fueron modificados para su mejor representación con respecto al Sol.

### EL SOL ESTÁ A OCHO MINUTOS LUZ.

es decir, la luz del Sol tarda ocho minutos en viajar hasta la Tierra. O lo que es lo mismo: la imagen que vemos del Sol tiene ocho minutos de antigüedad. No parece mucho.

### ALFA CENTAURO

es la estrella más cercana. Se ubica a 4,3 años luz de nuestro Sol. Es decir, la luz que podemos observar cada noche de esta estrella, la emitió hace cuatro años y cuatro meses.

### MIENTRAS MÁS LEJOS

están los objetos que observamos, más viejas son las imágenes que recibimos de ellos. Este desfase nos otorga una condición privilegiada para el estudio del universo.

### NO EXISTE UN AHORA

en la observación astronómica. Puede que mucho de lo que vemos ya ni siquiera exista. Si pensamos que muchos de las estrellas están a miles de millones de años luz, el cielo nocturno nos ofrece imágenes de muy distintos tiempos a la vez.

## ¿CÓMO LLEGA ESTA ENERGÍA A LA TIERRA?

La radiación solar es un flujo permanente de ondas electromagnéticas que nuestra estrella dispara al universo en todas direcciones y a la velocidad de la luz. Tarda ocho minutos en llegar a la Tierra, pero no todos sus componentes atraviesan la atmósfera. ¡Afortunadamente! Porque algunos no permitirían la vida en el planeta. Los rayos ultravioleta de longitudes menores dañan las células. Por lo que solo comenzó a aparecer vida en la superficie terrestre cuando se formó la capa de ozono, que bloquea la radiación ultravioleta corta.

En palabras simples: la luz es radiación electromagnética, una forma de transferencia de energía que no necesita de la materia para su propagación. Los rayos X, los gamma, las ondas radiales, las microondas, los rayos ultravioleta y los infrarrojos son todas ondas electromagnéticas. Pero también hay un rango que se conoce como luz visible, porque es lo que los ojos pueden captar. Del total de energía solar que llega a la Tierra, la parte visible es un poco más del 43%. Las otras son absorbidas o reflejadas por la atmósfera, impidiendo que el Sol, nuestra fuente de vida, se vuelva mortal.

Por el contrario, la radiación que llega a la superficie terrestre es la que permite la fotosíntesis de las plantas. La fotosíntesis convierte la energía del Sol en carbohidratos, azúcares y otras materias que son básicas para el consumo de todos los organismos. Además, la fotosíntesis libera oxígeno a la atmósfera, esencial para nuestra vida. La energía solar absorbida en el mar, tierra y atmósfera origina el ciclo de los vientos, hidrológico y corrientes marinas. Y también, que el planeta mantenga una temperatura constante. La atmósfera permite que la Tierra mantenga una temperatura promedio en torno a los 17°; actúa como una especie de frazada que evita las variaciones demasiado bruscas de temperatura. Parte de la energía que libera la Tierra se escapa como radiación infrarroja larga, que sale al espacio a través de una zona en que la atmósfera es transparente. Esta "ventana" se cierra a medida que aumentan el contenido de CO<sub>2</sub> atmosférico y la humedad.

Se requiere un balance entre la radiación que llega y la que sale. Esto se logra gracias al efecto invernadero. Las nubes, el vapor de agua y el CO<sub>2</sub> son los encargados de mantener dentro de los límites de la atmósfera una parte de la energía que refleja la superficie. El problema es que si el CO<sub>2</sub> y los otros gases de efecto invernadero aumentan demasiado, actuarán como un tapón que mantendrá dentro de la biósfera más radiación de la necesaria. Eso lleva a que la temperatura se eleve y se altere el delicado equilibrio que permite la vida: derretimiento de hielos, cambios en los patrones de lluvia y sequía, eventos climáticos extremos y la acidificación de los mares son algunos de los efectos que ya se están notando de lo que conocemos como cambio climático.

# LA ENERGÍA DEL SOL

**SOL**  
ESTRATÓSFERA  
50 km

**RADIACIÓN**  
La radiación es la transferencia de energía a través de las ondas electromagnéticas. Estas ondas atraviesan el espacio y llegan desde el Sol a la Tierra, donde la energía solar es absorbida o reflejada por la superficie y materiales de la atmósfera.

**ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**  
Los rayos X, gamma, ondas radiales, las microondas, los rayos ultravioleta y los infrarrojos son todas ondas electromagnéticas. Pero hay un rango que se conoce como luz visible, pues es lo que los ojos pueden captar. De la energía solar que llega a la superficie de la Tierra, algo más del 43% está en el espectro visible.

Rayos gamma	Ultravioletas	Rayos X	Infrarrojos	Microondas	Radiofrecuencia
-------------	---------------	---------	-------------	------------	-----------------

**ESPECTRO VISIBLE**

**TIERRA**  
TROPÓSFERA  
12 km  
CAPA DE OZONO  
20 km

Del **100%** de la energía solar que llega a la Tierra

**6%** es reflejada por la atmósfera

Las partes claras (hielo, nieve, etc.) reflejan mejor la energía solar que las sombrías, como el bosque y océanos. A esta característica se le llama albedo.

El mar almacena el calor de la energía recibida del Sol más tiempo que la tierra.

**3%** absorbida por las nubes

**20%** es reflejada por las nubes

**4%** es reflejada por la superficie de la tierra

**16%** absorbida por la atmósfera

**51%** es absorbida por el suelo y los océanos

Los rayos X, gamma, ondas radiales, las microondas, los rayos ultravioleta y los infrarrojos son todas ondas electromagnéticas. Pero hay un rango que se conoce como luz visible, pues es lo que los ojos pueden captar. De la energía solar que llega a la superficie de la Tierra, algo más del 43% está en el espectro visible.

**¿QUÉ ES UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA?**  
Un movimiento oscilante que tiene una longitud, medida por la distancia entre sus cimas, y una frecuencia, que es el número de oscilaciones. Mientras más amplia es la longitud de una onda, menor es la frecuencia y también menor la energía asociada.

Dirección de la propagación de la onda  
**Longitud de onda**

corta      cresta      Amplitud      larga

**mayor energía**      **menor energía**

El efecto invernadero: Casas de efecto invernadero

El efecto invernadero: Todos los organismos vivos sobre la Tierra dependen de la actividad solar.

FUENTE: Elaboración propia con datos de la Universidad Católica de Chile.

VICTOR ABARCA ★ vmicompany.com

## ¿EN QUÉ SE TRANSFORMA?

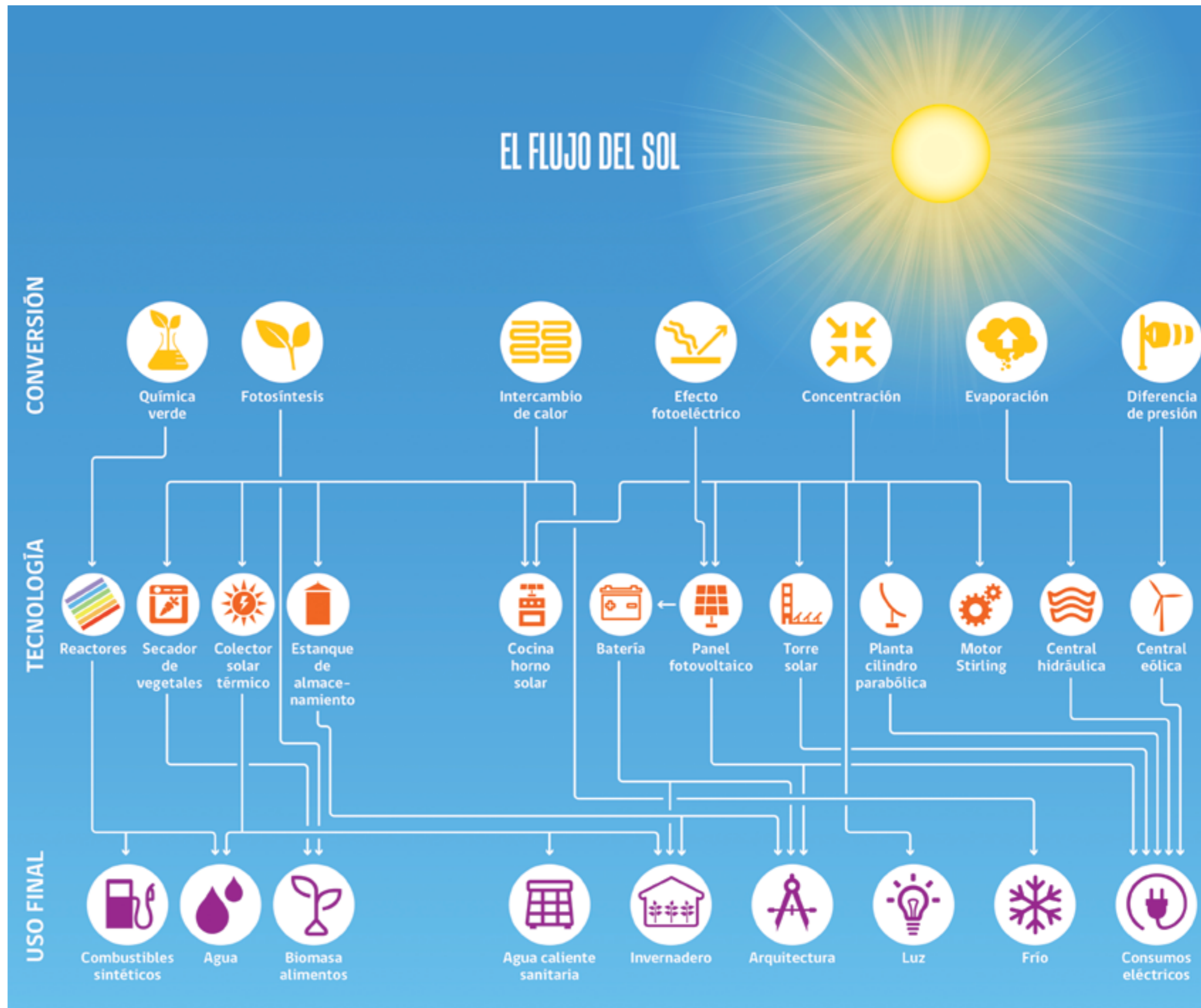
Los seres humanos somos el producto de cientos de miles de años de una evolución que se mantuvo por la permanente luz del Sol. Hace más de 3 mil millones de años aparecieron las primeras algas fotosintéticas, que comenzaron a producir oxígeno. Cuando el nivel de este gas superó el 15 % en la atmósfera, se empezó a formar la capa de ozono, que frenó la radiación ultravioleta. Estaban dadas las condiciones para que la vida ampliara sus dominios también sobre la superficie terrestre y no solo en el mar.

La atmósfera actual tiene 21 % de oxígeno, nivel que se ha mantenido estable durante varios millones de años, gracias a un delicado equilibrio entre la energía que nos llega del Sol y los procesos que ocurren en la superficie del planeta.

Plantas y algas en el mar atrapan la luz solar y en sus hojas provistas de clorofila se desencadena la reacción química conocida como fotosíntesis, que convierte un sustrato inorgánico en materia orgánica, rica en energía. El proceso es el siguiente: la clorofila capta el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en la atmósfera y que es generado, entre otros, por la respiración de los organismos vivos, la descomposición de materia orgánica y por la quema de combustibles fósiles, como el petróleo. A partir del CO<sub>2</sub> y del agua (H<sub>2</sub>O) que absorbe a través de sus raíces y de la energía solar, la planta produce hidratos de carbono, componente esencial para la vida como la conocemos. Se estima que cada año las plantas fijan en forma de materia orgánica cerca de 100.000 millones de toneladas de carbono. Como desecho, expulsan oxígeno a la atmósfera, que compone el aire que respiramos y el cual también se transforma para engrosar la capa de ozono.

Los herbívoros absorben indirectamente una pequeña cantidad de la energía contenida en la materia orgánica comiendo plantas y vegetales, mientras los carnívoros absorben indirectamente una cantidad más pequeña comiendo a los herbívoros. Toda la vida en la Tierra depende del Sol y la energía solar es, de una u otra forma, la fuente de casi toda la energía que se usa en el planeta. Porque ¿de dónde cree que proviene el petróleo, la biomasa, el carbón, la energía hidráulica, la eólica e, incluso, la que generan las olas?

Nuestros combustibles fósiles son energía solar almacenada desde una edad geológica muy remota. La biomasa son desechos orgánicos de vegetales o animales. La energía eólica utiliza las corrientes que se generan a partir del aire caliente y de la rotación de la Tierra. La energía hidráulica depende de la evaporación del agua y su posterior regreso a la Tierra en forma de lluvia para abastecer ríos, lagos y represas. Y también las olas, que transportan toda la energía recibida de los vientos durante el camino que recorrieron por el océano.



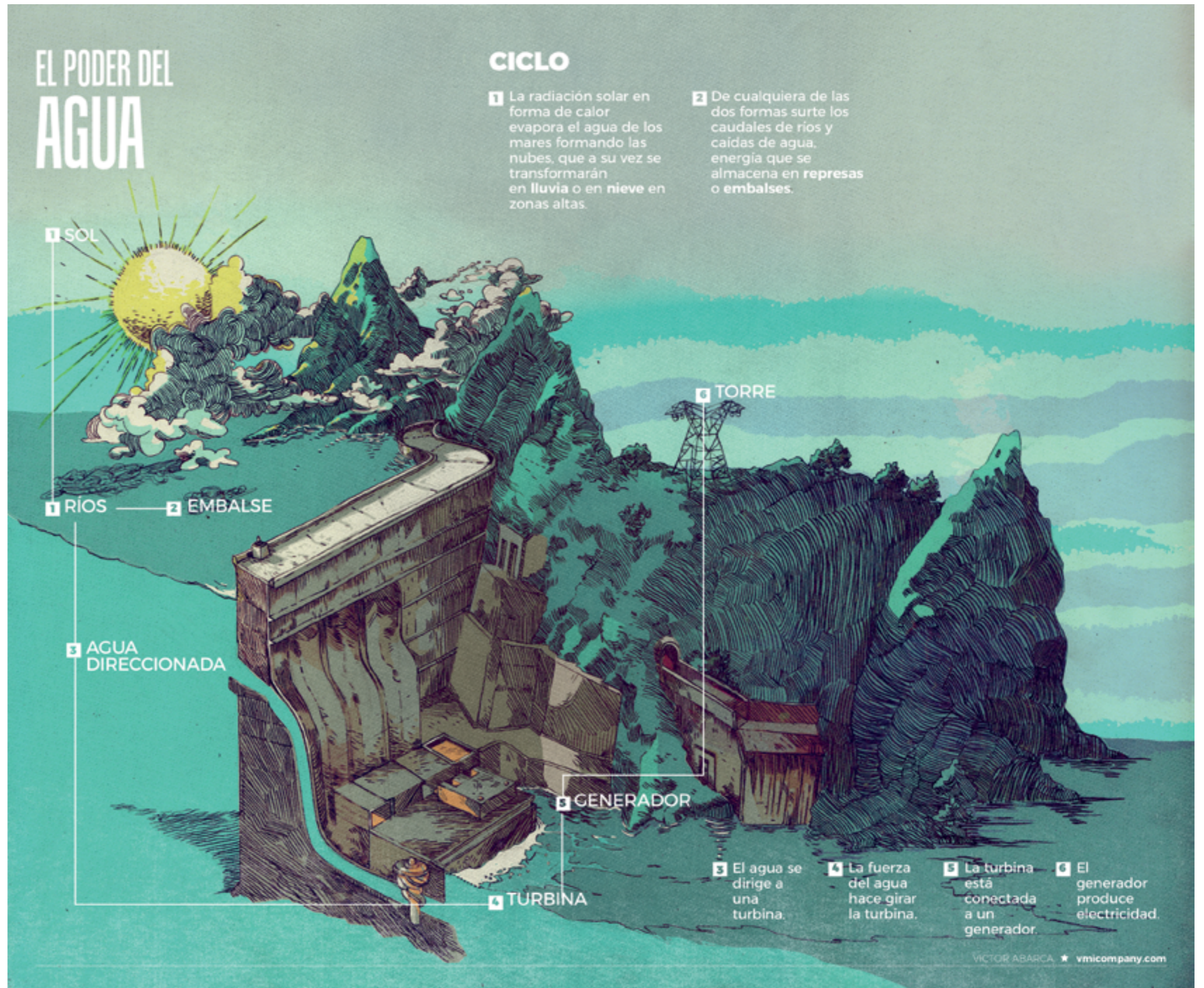
## EN EL PODER DEL AGUA...

Cuando colocamos agua a calentar en el fuego, muy pronto vemos que se desprende vapor ¿verdad? Bueno, este mismo proceso de calentamiento se produce en los ríos, los lagos y el mar. No se ve elevarse el vapor, porque el calor que evapora estas aguas proviene del Sol y es menos apreciable que el que entrega la cocina. Pero es suficiente para que el aire circundante aumente su temperatura y se eleve hacia la parte superior de la atmósfera. Como la temperatura en la atmósfera desciende con la altura (mientras más subimos hay más frío), el agua evaporada se va enfriando y se condensa en millones de gotas que no tienen suficiente peso para caer. Son las nubes.

Ahora bien, las gotas de agua que forman las nubes son esféricas y muy pequeñas; se encuentran suspendidas en el aire, sostenidas por las corrientes de aire, de tal forma que están en constante movimiento dentro de la nube, chocando unas con otras. Según las condiciones atmosféricas existentes, se puede producir un aumento de su espesor hasta el punto en que se vuelven demasiado pesadas para ser sostenidas por las corrientes de aire y caen como precipitaciones o nieve.

Es un ciclo permanente: la radiación solar en forma de calor evapora el agua de los mares formando las nubes, que a su vez se transformarán en lluvia o en nieve. De cualquiera de las dos formas surte los caudales de ríos y caídas de agua, la que se almacena en represas o embalses.

¿Recuerda la imagen de la campestre rueda de palas que se giraba por la caída de un río? El principio es el mismo. Actualmente, las centrales hidroeléctricas en forma directa o a través de embalses hacen uso de los caudales de los ríos y de las diferencias de altura que entregan los embalses. El agua acumulada se hace descender y su fuerza de caída hace girar las turbinas. La energía cinética, que se genera en el movimiento, se convierte luego en electricidad. Es lo que conocemos como energía hidráulica.





## DEL VIENTO...

Eolo, según la mitología griega, era el dios de los vientos. Con solo inflar sus mejillas podía producir huracanes, tempestades o brisas. Todo dependía de su estado de ánimo. En el año 3500 a.C., a los sumerios se les ocurrió aprovecharse del cambiante temperamento de Eolo y construyeron una embarcación que navegaba gracias al empuje del viento, en lo que representa el primer registro histórico del uso de la energía eólica. ¿Qué tiene que ver esto con la energía solar? Todo. Los vientos son el resultado del calor que genera el Sol en la superficie del planeta, combinado con el movimiento de rotación de la Tierra.

Así es. Las superficies terrestre y oceánica absorben la radiación solar y liberan el calor que calienta el aire que las envuelve. Pero no se trata de una condición uniforme ni en espacio ni en tiempo. Dependiendo de la época del año, de si es día o noche, de las características geográficas o de su cercanía al ecuador, habrá áreas que reciban más o menos radiación y, por consiguiente, un calentamiento desigual: diferencias de temperatura que se traducen en diferencias de presión atmosférica. Mientras más alta la temperatura, más baja es la presión. ¿Por qué? La razón está en lo que respiramos.

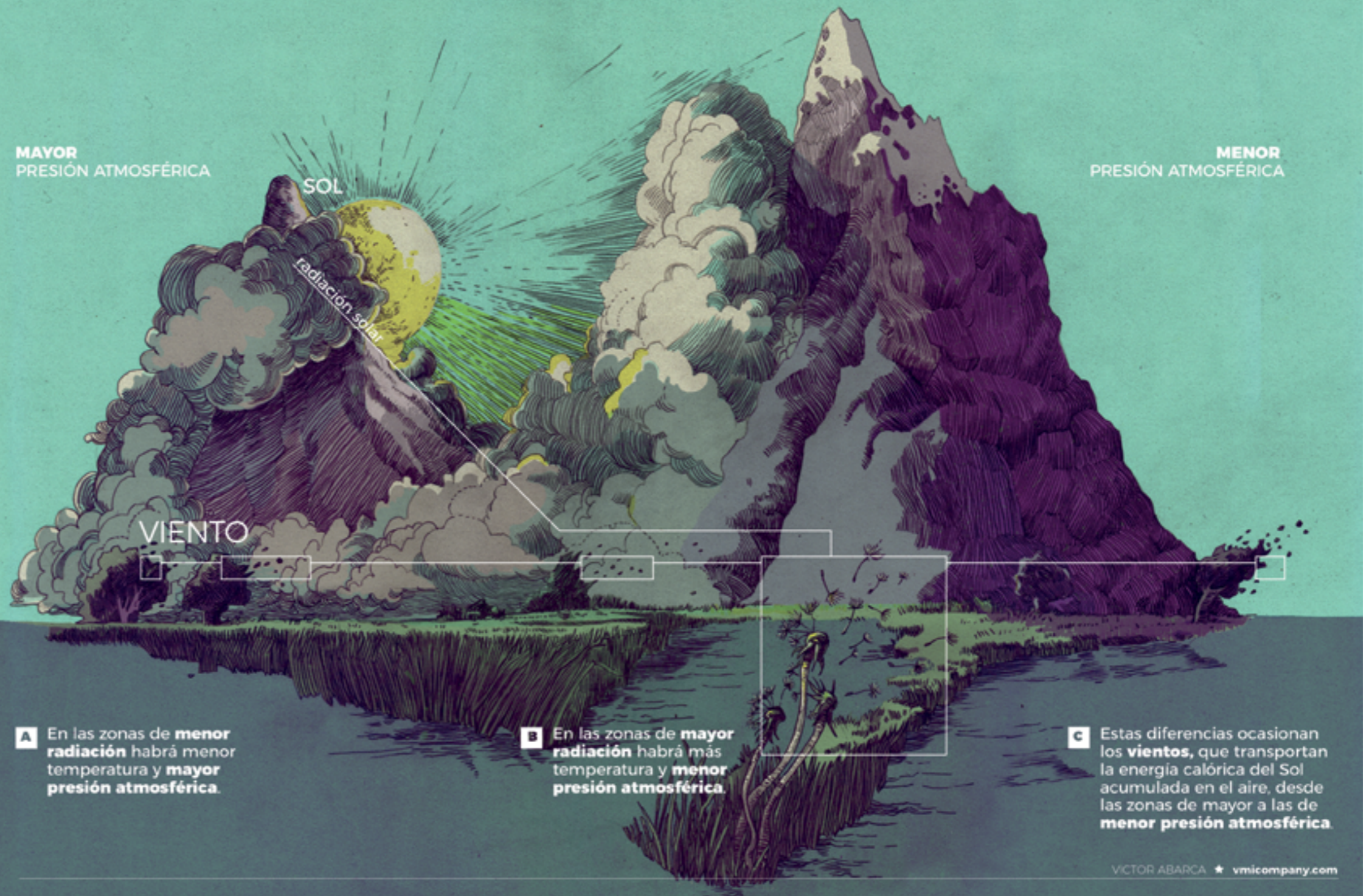
El aire, compuesto de 78 % de nitrógeno y 21 % de oxígeno, tiene un mayor nivel de compresión mientras más cercano está de la superficie. Y como el aire comprimido captura mejor la energía calórica, cuando se calienta por la radiación que emite la Tierra, también se dilata y pierde presión, por lo cual se eleva hasta que su temperatura se iguala con la del aire circundante en altura, dejando en la superficie zonas de menor presión que son ocupadas por masas de aire más frío.

En efecto, el viento es un mecanismo que usa la atmósfera para regular los gradientes de presión y temperatura ocasionados por la dispar distribución térmica. Porque, como describió el científico francés Gaspard Coriolis, cuando entre dos masas de aire existe una diferencia de densidad, el aire tiende a fluir desde las regiones de mayor presión (anticiclones) a las de menor presión (ciclones).

A grandes rasgos: las masas de aire, conocidas como vientos alisios, van desde los trópicos al ecuador, soplando del noreste al suroeste en el hemisferio norte y del sureste hacia el noroeste en el hemisferio sur. En la zona ecuatorial se produce un ascenso masivo de aire cálido, originando una zona de bajas presiones que es ocupada por otra masa de aire que proporcionan los alisios. Las masas de aire caliente se van enfriando a medida que se elevan y, a bastante altura, se dirigen en sentido contrario a los alisios, de regreso a las latitudes subtropicales, donde -debido a su peso- vuelven a bajar. Los vientos alisios forman parte de la circulación atmosférica, que transporta el calor desde las zonas ecuatoriales hasta las subtropicales, reemplazando el aire caliente por uno más frío en las latitudes superiores.

# EL PODER DEL VIENTO

El viento es un fenómeno físico en la atmósfera donde interactúan diferencias de temperatura y de presión ocasionadas por el calentamiento desigual del aire en la superficie terrestre.



## ... Y DE LAS OLAS

El viento es también responsable de la formación de olas muy poderosas. Se estima que una ola de 7 metros se estrella contra la costa con una fuerza de más de 25 toneladas por metro cuadrado.

A medida que el viento corre sobre la superficie oceánica, la fricción causa ondulaciones, y a medida que la fricción aumenta, se incrementa el tamaño de la onda en formación. Así se inicia un ciclo en el que, a mayor tamaño de la ola, mayor es el impulso que genera el viento, ya que la superficie sobre la que choca es mayor. Un efecto del tipo "bola de nieve" que crea olas más grandes.

Es el movimiento oscilante de estas masas de agua el que atrapa la energía que le traspasa el viento y que, indirectamente, proviene del Sol. Por lo que son las ondas las que mueven la energía, no el agua, a distancias lejanas. El agua es el medio a través del cual pasa la energía cinética o energía en movimiento. Se mueve, por supuesto, pero solo en un movimiento circular. En otras palabras, las partículas de agua funcionan como rodillos en una cinta transportadora, que giran para mover la correa en la parte superior, pero no avanzan en el proceso. Esta es la razón por la cual las boyas suben y bajan en un movimiento vertical con el agua.

El principio de la energía unimotriz, o de las olas, es el mismo que en la energía hidráulica y eólica: convertir la energía cinética en energía eléctrica. Pero si ya tenemos turbinas para aprovechar la energía del viento, ¿por qué utilizar las olas oceánicas? Pareciera un intermediario innecesario. Sin embargo, las investigaciones han mostrado que las ondas que se forman en el océano tienen algunas ventajas sobre el viento: son mucho más densas en energía. Es decir, mientras que el viento podría ocupar mucho espacio para contener algo de energía, las olas pueden recoger una gran cantidad de energía, almacenarla en un espacio pequeño y transportarla sin grandes pérdidas a distancias muy lejanas, incluso mucho tiempo después de que el viento deje de soplar.

# EL PODER DE LAS OLAS

El movimiento oscilante de estas masas de agua es el que contiene la energía que le traspasa el viento y la transportan a distancias lejanas.

W VIENTO

Cuando el viento sopla sobre la superficie marina, se forman ondas de pocos milímetros de longitud, llamadas ondas capilares. Si el viento sopla a lo largo de muchos metros o kilómetros, estas ondas crecen y se generan olas de varios metros de alto. A medida que se acercan a la costa, se vuelven más altas y la distancia entre ellas es menor. Cuando rozan el fondo marino se deforman, su punto más alto (o cresta) desaparece y rompen en la orilla de la playa.

La cantidad de energía que transportan las olas es proporcional al tamaño de las masas de agua que oscilan.

Y el tamaño de las olas dependerá de:

**A** Velocidad del viento.

**B** Distancia de agua abierta que el viento tiene para soplar.

**C** Ancho del agua que fricciona el viento.

**D** Tiempo del que dispone el viento para soplar.

**E** Profundidad del agua.

## EN COMBUSTIBLES FÓSILES...

Hace 350 millones de años, el planeta comenzó a vivir un período que se conoce como Carbonífero. ¿A qué cree que se debe el nombre? Exacto. Fue entonces cuando se formaron enormes depósitos subterráneos de carbón, que los chinos comenzaron a usar por primera vez como combustible hace dos mil años.

La Tierra era un planeta muy, pero muy distinto. Los territorios que hoy son América del Norte, Europa y gran parte de Asia se ubicaban muy cerca del trópico, por lo que tenían un clima húmedo y caluroso que propició la aparición de enormes bosques pantanosos. El crecimiento de esta vegetación eliminó grandes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera, produciendo un excedente de oxígeno. Los niveles atmosféricos de este gas subieron hasta 35 %. Abundancia que generó, a la vez, un incremento exponencial del tamaño de las plantas... y también de los insectos: mientras los anfibios se atrevían a pasearse por tierra firme, ciempiés mortalmente venenosos de dos metros se arrastraban en compañía de cucarachas colosales y escorpiones de hasta un metro de largo.

A través de millones de años, esa vegetación fue quedando sepultada en los pantanos. Con el tiempo, nuevos sedimentos iban cubriendo la capa de plantas muertas que, por la acción combinada de la presión de la corteza terrestre y la temperatura, se fue convirtiendo en carbón. Pero lo más importante, en las profundidades del planeta, es que en esta materia orgánica quedó atrapada la radiación solar que los bosques habían absorbido. Es lo que hoy aprovechamos con la combustión de este mineral.

Un proceso similar ocurrió con el gas natural y con el petróleo. Su historia comenzó hace millones de años, cuando la energía del Sol se almacenó en diminutos organismos marinos, como las algas y el plancton. En lugar de pudrirse normalmente al morir, se quedaron enterrados bajo capas de sedimentos en el fondo oceánico. Debido a la acción de bacterias y a la presión de los nuevos estratos rocosos que se formaron sobre ellos, se fueron degradando hasta convertirse en petróleo. Esta reacción química también originó el gas natural, pero a partir de la degradación de materia orgánica sepultada en zonas cercanas a lagunas y deltas de ríos.

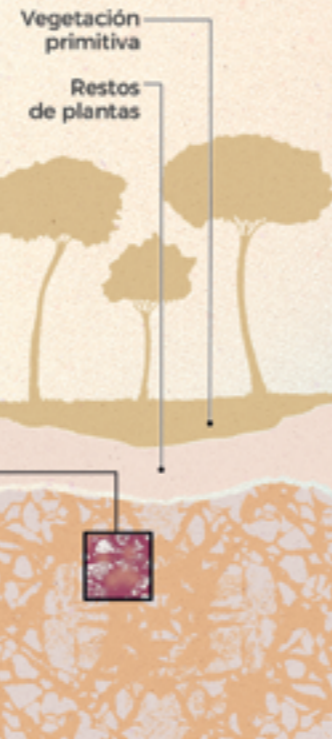
Como la corteza terrestre está siempre en movimiento, la presión de las rocas hacía que las capas se doblasen e incluso se rompiesen. El petróleo y el gas natural quedaban acumulados en los huecos, formando los que hoy conocemos como yacimientos.

¿Y el petróleo que se extrae de la tierra? Hace 300 millones de años, cuando comenzaron a formarse los combustibles fósiles, esa tierra estaba sumergida en el mar.

# COMBUSTIBLES FÓSILES

## FORMACIÓN

El **carbón** se formó por la degradación de la vegetación primitiva que quedó sepultada en zonas pantanosas, por la acción combinada de la presión de la corteza terrestre y la temperatura.



## HISTORIA

El gas natural se usó en **China** como combustible entre los años 221 y 263 d. C. Se obtenía de pozos poco profundos cercanos a escurrimientos y se distribuía localmente a través de un sistema de tuberías de bambú.

Los **romanos** usaban el combustible para el alumbrado.



FUENTE: Elaboración propia

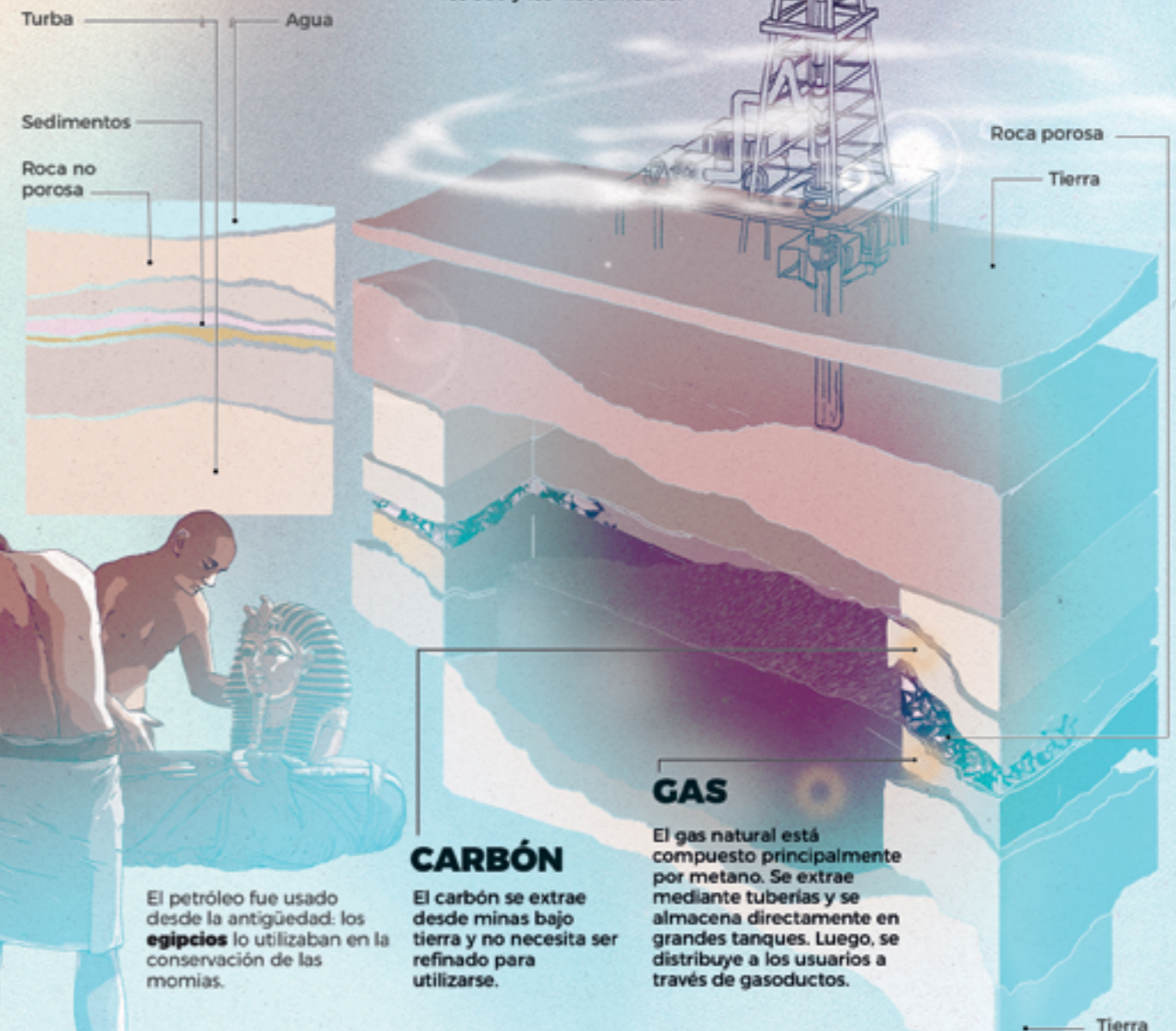
Con el paso de cientos de millones de años, pequeños organismos terrestres y marinos murieron y fueron quedando sepultados por capas y capas de sedimento. Ya sea por la acción de bacterias o por condiciones de presión y temperatura, se degradaron hasta convertirse en carbón, gas natural y petróleo. En esta materia orgánica quedó atrapada la energía solar que alguna vez habían absorbido.

Organismos marinos, como algas y plancton, quedaron enterrados en el fondo oceánico. Debido a la acción de bacterias y a la presión de los nuevos estratos rocosos, se fueron degradando hasta convertirse en **petróleo**.

Esta reacción química también originó el **gas natural**, pero a partir de la degradación de materia orgánica sepultada en zonas cercanas a lagunas y deltas de ríos.

## PETRÓLEO

El petróleo es un líquido oleoso compuesto de carbono e hidrógeno en distintas proporciones. Se encuentra en profundidades que varían entre los 500 y los 4.000 metros.



## CARBÓN

El carbón se extrae desde minas bajo tierra y no necesita ser refinado para utilizarse.

## GAS

El gas natural está compuesto principalmente por metano. Se extrae mediante tuberías y se almacena directamente en grandes tanques. Luego, se distribuye a los usuarios a través de gasoductos.

El petróleo fue usado desde la antigüedad: los **egipcios** lo utilizaban en la conservación de las momias.

## ¿CÓMO LA APROVECHAMOS?

CRÉDITO: BRAULIO LARA

El cerebro humano consume cerca de 20 watts (W) de potencia en forma continua. Si fuera una ampollita no iluminaría mucho, ¿verdad? Ahora bien, todo el cuerpo utiliza un total aproximado de 100 watts de potencia continua para su funcionamiento. Es decir, físicamente necesita cerca de 2,4 kWh (2.000 kilocalorías) de energía que obtiene de los alimentos para sobrevivir día a día. Pero estamos acostumbrados a usar mucha más energía que esa.

El desarrollo tecnológico ha ido creando necesidades energéticas que sobrepasan por mucho a las reales y la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles está llevando a la Tierra a límites peligrosos. Actualmente, el consumo de energía es de 19 TW en el planeta, por lo que sus 7 mil 200 millones de habitantes tienen un uso promedio de 2.600 W, o 20 veces más de la energía que su cuerpo necesita físicamente. Esto se ha logrado básicamente con el intensivo consumo de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural y otros), los que a su vez están alterando el equilibrio planetario. ¿Consecuencia? Si tiene 16 años o más, ha sido testigo de las décadas más calientes de la humanidad.

En 2018, el planeta rompió el récord de temperatura por cuarto año consecutivo, con casi 1 °C sobre el promedio del siglo XX. Los gases efecto invernadero que se producen por la quema de combustibles fósiles están en el centro del problema y ya existe consenso a nivel mundial de que la única alternativa viable es el uso de energías renovables, como la solar. Entre 2014 y 2015, por ejemplo, la potencia instalada de energía fotovoltaica en el mundo creció de 148 a 177 GW. Y, a finales de 2018, alcanzó por primera vez los 500 GW..

¿Confundido con tantos gigawatts o terawatts? Para que se haga una idea de lo que es un kilowatt-hora (o kWh) tenga en cuenta que con esta cantidad tenemos suficiente electricidad para alimentar una ampollita de 40 watts durante 24 horas o un televisor de 19 pulgadas durante cuatro horas o un computador personal durante 5 horas o un secador de ropa durante 30 minutos. En términos humanos, un kWh equivale a 860 kcal. Suficiente energía para levantar 40 kg desde el nivel del mar hasta la cima del Everest.

En efecto, aprovechar la luz del Sol no solo busca tener impacto directo en el cambio climático, también en la cotidianidad: ahorrar en las cuentas de fin de mes o bien, llegar con electricidad y agua caliente a sectores aislados, a bajo costo. Pueden ser pequeños sistemas domiciliarios o grandes instalaciones que se conectan a la red eléctrica. En cualquiera de sus modalidades, significaría un avance para el planeta y para usted. Más aún, en una zona como el norte chileno, que ocupa un lugar privilegiado

a nivel mundial en cuanto a la cantidad de radiación que recibe su superficie.

Veamos. La radiación solar se puede usar como energía térmica o fuente de luz. La primera ocupa colectores que hacen fluir el agua mientras la calientan, para después depositarla en un estanque. No se trata de que la temperatura del agua suba de 0 a 25 °C de un instante a otro. Pero a medida que el estanque se llena de agua caliente, la acumulación continua de calor en ese recipiente cerrado eleva la temperatura los grados necesarios para su ducha o su sistema de calefacción. Existe una variedad de tecnologías de colectores; cuál usar depende, esencialmente, de si el sistema estará expuesto a cambios drásticos en la temperatura ambiente.

La energía solar térmica también se usa para cocinar y para generar electricidad. En este último caso, se le denomina energía termosolar y son sistemas a gran escala que, además, entregan la posibilidad de almacenamiento para cuando el Sol no está brillando. La fotovoltaica, en tanto, produce electricidad directamente a partir de la luz solar que impacta en los paneles. Funciona más o menos así: los fotones (o partículas elementales que portan todas las formas de radiación electromagnética) golpean las celdas que componen el panel solar y que están fabricadas a base de silicio u otro material semiconductor, liberando electrones. Cada fotón expulsa un electrón, que son atrapados por una red de cables y convertidos en electricidad.

En experimentos en laboratorio, las celdas solares han logrado convertir más de 40 % de la radiación que recogen en electricidad. Sin embargo, la eficiencia del material disponible en el mercado actualmente llega a no más de 25 %. ¿Muy poco? No. Piense que las plantas, en su proceso de fotosíntesis, absorben menos del 10 % de la radiación que reciben sus hojas, y eso les basta para crecer, proveernos de oxígeno y guardar la energía que mantiene vivo al ser humano. En 2019, se llegó a una eficiencia de 47,1% con un prototipo desarrollado en Estados Unidos.

Otro aspecto que no puede olvidar: la energía se traduce en poder. Los que concentran la explotación del petróleo, el gas o el carbón han dominado la escena mundial por décadas; son los que tienen el control de la energía que mueve al mundo, fijan los precios e influyen decisivamente en las políticas internacionales. Las energías renovables no convencionales, como la solar, son de producción local y entregan a los países la posibilidad de disminuir su dependencia de la importación. Un aspecto clave en el caso de Chile, que no dispone de grandes reservas de combustibles fósiles.

### Para no confundirse

**Potencia:** es la capacidad instantánea de generar energía y se mide en watts, kilowatts, megawatts o terawatts.

**Energía:** es la generación o el consumo de potencia en un tiempo definido, por lo que 1 kiloWatt-hora o kWh es una unidad de energía que se refiere al equivalente de un consumo de mil watts de potencia durante una hora.

**Radiación:** intensidad del espectro de ondas solares en un punto y momento determinados. Está dado por la cantidad de luz y calor que proviene del Sol, sumando la que llega directamente, con la difusa y la reflejada. Usualmente, se mide en kilowatts-hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>).

#### Equivalencias:

**Kilo-Watt:** 1.000 watts

**Mega-Watt:** 1.000 kW

**Giga-Watt:** 1.000 MW

**Tera-Watt:** 1.000 GW

### Consumos vampiros

Aunque no se dé cuenta, puede estar gastando energía de más en aparatos como el televisor, el DVD o el computador. Se les denomina consumos vampiros y se trata de cargas eléctricas que funcionan continuamente incluso cuando no estamos utilizando un dispositivo. Esta carga eléctrica utiliza pocos watts de potencia continua. Pero, con el tiempo, suman un importante consumo energético. Cuando ve una película, el DVD consumirá cerca de 40 watts-hora de energía en dos horas. Pero cuando está en modo de espera durante las otras 22 horas del día, consumirá 66 watts-hora. Es decir, su reproductor probablemente utilice más energía cuando está "apagado" que cuando está encendido.

# COMO ENERGÍA TÉRMICA

Es el aprovechamiento de la energía del Sol para generar calor: el agua u otro líquido, como el glicol, se calienta al fluir por los colectores expuestos a la radiación solar directa.

## PARA CALENTAR AGUA EN LAS CASAS

**1 LUZ SOLAR**

**2 PLACA TÉRMICA**

Tienen unas tuberías por donde pasa el fluido portador del calor, que se calienta por acción del Sol.

**3 INTERCAMBIADOR DE CALOR**

El fluido que proviene de la placa calienta el agua almacenada en el intercambiador de calor.

**4 BOMBA DE AGUA**

La bomba de agua ayuda a mandar el fluido enfriado proveniente del intercambiador hacia la placa y así repetir el ciclo.

**5 EL AGUA CALIENTE** estará lista para ser usada en el hogar.

## PARA COCINAR

### A COCINA SOLAR PARABÓLICA DE CONCENTRACIÓN

Prácticamente igual que una antena parabólica de las que vemos en los edificios. Está recubierta por dentro por material reflectante que concentra todo el calor en un punto llamado foco, lugar donde se pone la olla de cocción. Es la propiedad fundamental en que se basan todos los ingenios parabólicos. El calor generado puede superar los 300 °C. Aumentan de temperatura muy rápido y sirven tanto para freír como para cocer.



### B HORNO SOLAR

Es una caja cerrada con tapa transparente. Cocina por el calor concentrado dentro del cajón, donde se produce un "efecto invernadero". Esto ocurre porque el vidrio deja pasar la luz del Sol, pero es una muralla para los rayos infrarrojos que buscan salir al aumentar la temperatura en su interior, la que puede llegar a 120 °C.

## Y PARA GENERAR ELECTRICIDAD PLANTA CILINDRO-PARABÓLICA

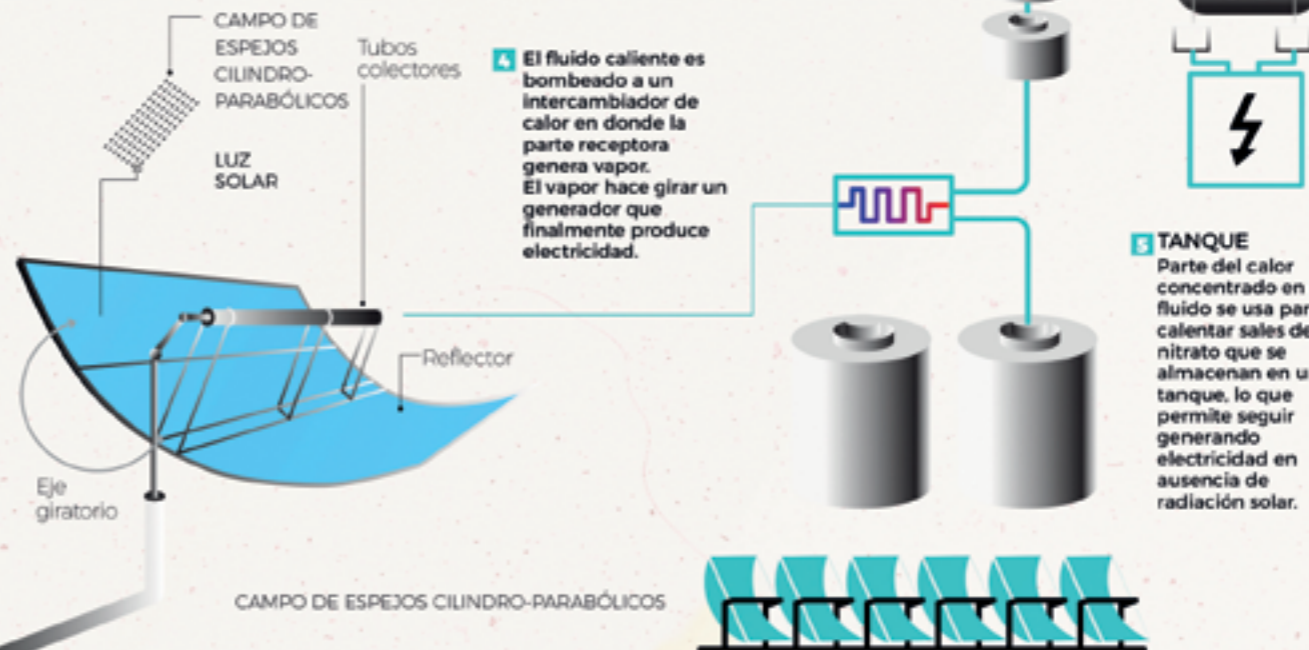
**1** Estas centrales se componen de un conjunto de espejos reflectantes instalados en hileras, unidos entre sí y que se mueven según la trayectoria del Sol.

**2** Los espejos están provistos de colectores por donde circula un fluido de transferencia de calor.

**3** Los fluidos de transferencia de calor pueden alcanzar temperaturas de hasta 400 °C.

**4** El fluido caliente es bombeado a un intercambiador de calor en donde la parte receptora genera vapor. El vapor hace girar un generador que finalmente produce electricidad.

**5 TANQUE** Parte del calor concentrado en el fluido se usa para calentar sales de nitrato que se almacenan en un tanque, lo que permite seguir generando electricidad en ausencia de radiación solar.



## PLANTAS DE TORRE CENTRAL

El sistema de torre central, con acumulación en sales, es capaz de producir energía eléctrica día y noche, gran parte del año en el norte de Chile.

**1** La radiación solar es captada por un conjunto de espejos casi planos que tienen por función reflejar la radiación del Sol hacia la punta de la torre. Son los helióstatos.

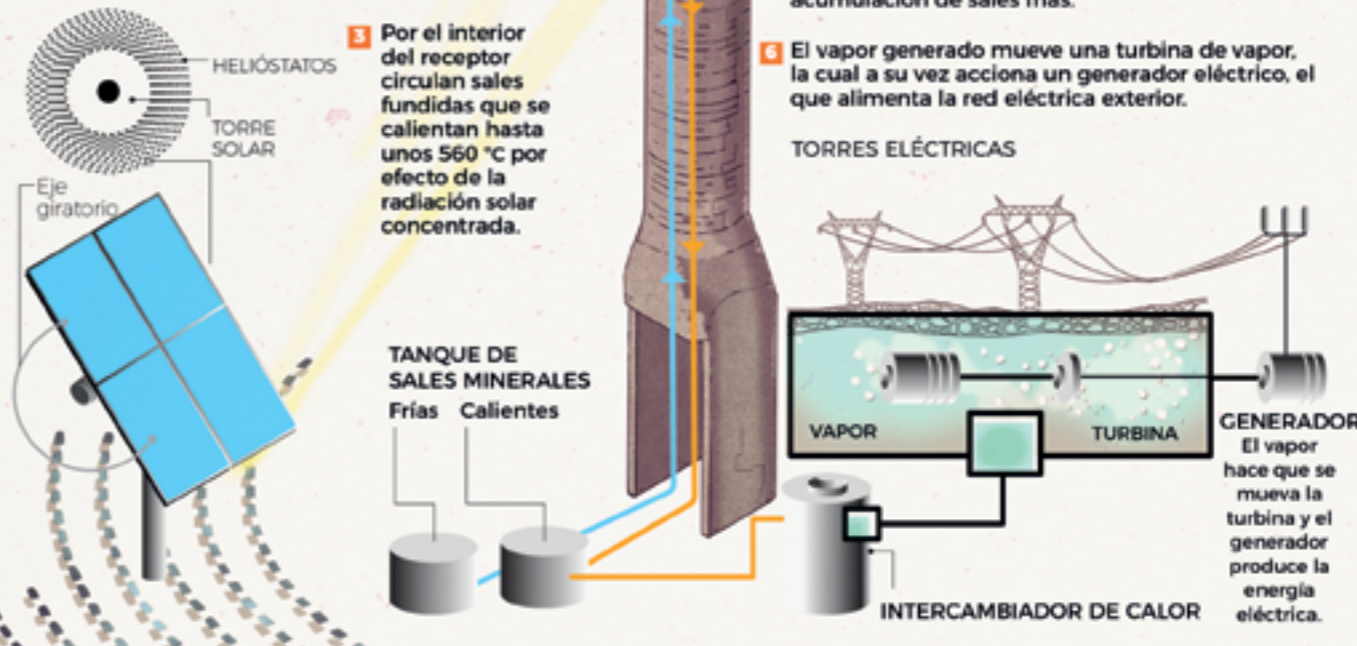
**2** Los helióstatos envían la radiación captada hacia el receptor que está en la parte más alta de la torre.

**3** Por el interior del receptor circulan sales fundidas que se calientan hasta unos 560 °C por efecto de la radiación solar concentrada.

**4** Las sales más calientes se llevan a un estanque de almacenamiento especial que permite generar energía día y noche.

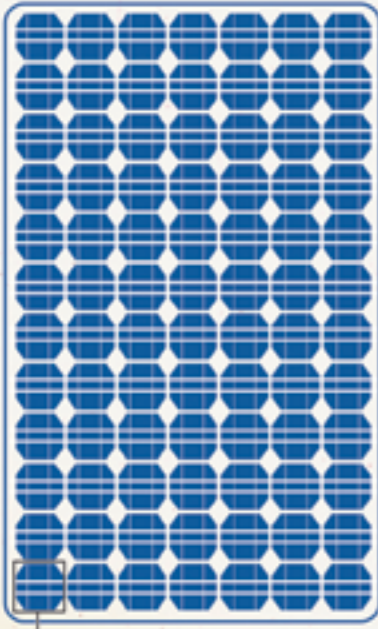
**5** Cuando se necesita generar energía eléctrica, se sacan sales calientes del estanque adecuado, se usan para generar vapor (enfriándose unos 250 °C) y luego son devueltas hacia el estanque de acumulación de sales frías.

**6** El vapor generado mueve una turbina de vapor, la cual a su vez acciona un generador eléctrico, el que alimenta la red eléctrica exterior.



# COMO ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Un panel genera electricidad en cualquier momento que recibe la luz solar. Tan predecible y seguro, como que el Sol saldrá cada mañana. Al igual que la energía solar térmica, puede usarse de forma aislada (en una casa) o como plantas a gran escala, que inyectan la energía a la red de electricidad.



**Módulo fotovoltaico**  
Se compone de celdas interconectadas. La unión de varios módulos se conoce como planta fotovoltaica.

- 1 Los paneles están compuestos de celdas fabricadas, principalmente, a base de silicio.
- 2 Cuando la luz del Sol golpea la superficie de la celda se liberan electrones.
- 3 Los electrones liberados son captados por la grilla de la celda y luego conducidos a los cables del módulo y el resto del sistema.
- 4 Este flujo de electrones capturados y conducidos es la electricidad.

Los fotones (partículas de luz) golpean en las celdas solares y liberan electrones, que se mueven en busca de su carga opuesta produciendo electricidad.

## EN LA CASA

**PANEL FOTOVOLTAICO**  
Las placas transforman la energía solar en eléctrica por medio de las celdas fotovoltaicas.

**BATERÍAS**  
Almacenan la energía solar generada durante el día para utilizarla en la noche o cuando no es suficiente. Es opcional si el sistema está conectado a la red eléctrica.

**INVERSOR**  
Los paneles generan en corriente continua (CC), pero los artefactos domésticos utilizan corriente alterna (CA). Así que el inversor convierte la CC del sistema solar en CA que usan nuestros aparatos.

**CONTROLADOR DE CARGA**  
Ajusta y convierte el voltaje y la corriente que entregan los módulos fotovoltaicos al voltaje y corriente que demandan las baterías y/o el inversor.



## EN PLANTAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

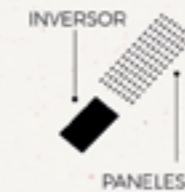
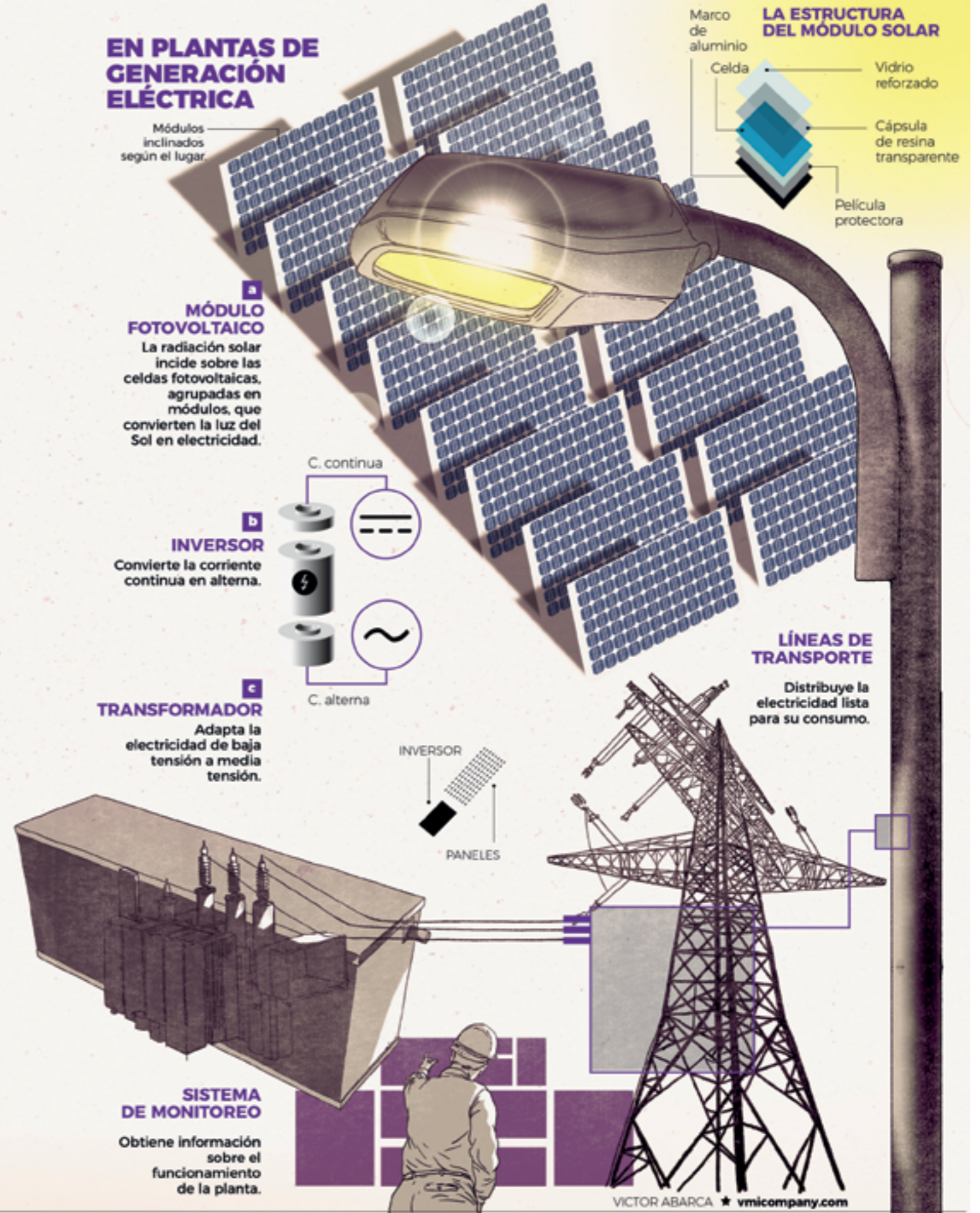
Módulos inclinados según el lugar

**MÓDULO FOTOVOLTAICO**  
La radiación solar incide sobre las celdas fotovoltaicas, agrupadas en módulos, que convierten la luz del Sol en electricidad.

**INVERSOR**  
Convierte la corriente continua en alterna.

**TRANSFORMADOR**  
Adapta la electricidad de baja tensión a media tensión.

**SISTEMA DE MONITOREO**  
Obtiene información sobre el funcionamiento de la planta.

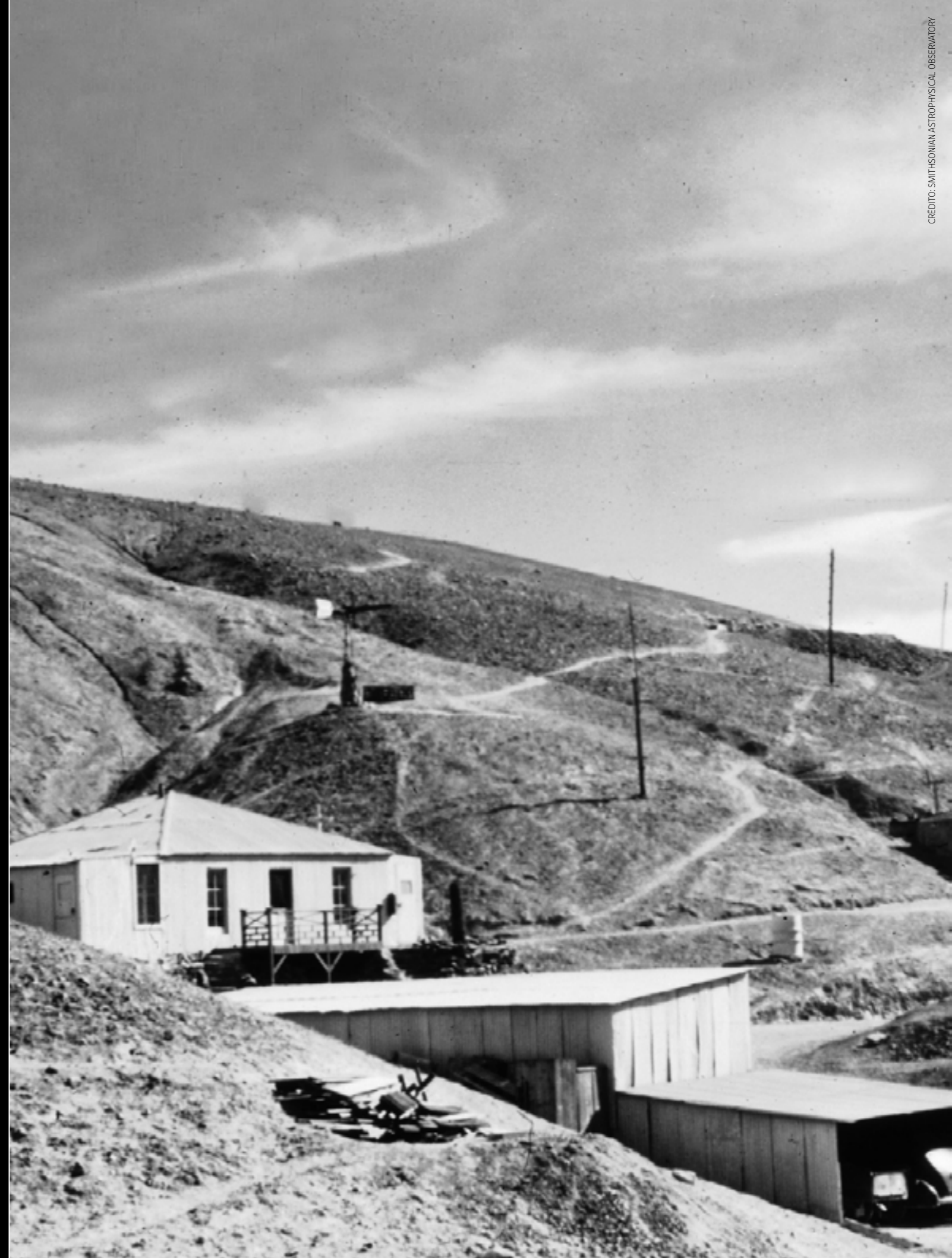


# 02 /

## LOS HITOS EN CHILE

*Desde las primeras experiencias en el desierto de Atacama, a fines del siglo XIX, hasta los paneles solares que comenzaron a invadir los techos de los edificios en la segunda década del siglo XXI. Esta es una revisión de los más importantes hechos que marcan la historia del desarrollo de la energía solar en el país. Historia que, al igual que la investigación internacional, transcurrió al ritmo de los vaivenes de la escena política y económica.*

ESTACIÓN MONTEZUMA, EN CALAMA, LA PRIMERA EN MEDIR RADIACIÓN SOLAR EN CHILE.



# EL MOMENTO PRECISO

*“Mouchot obtuvo como recompensa de sus estudios la cruz de la Legión de Honor y una medalla de oro. Se asoció al hábil ingeniero Abel Pifre, trabajador infatigable y sabio modesto. Ambos insisten con más ardor y fe que nunca en obtener los mayores resultados posibles de su generosa y trascendental empresa”.*

(Edición del 6 de febrero de 1879 del semanario francés *El Periódico para todos*).

Un año antes, en 1878, el inventor francés Augustin Mouchot había asombrado al mundo con un motor que generaba vapor a partir de la radiación solar, en la Exposición Universal de París. Estaba convencido de que se trataba de la energía del futuro, la única que podría reemplazar al carbón, que tarde o temprano terminaría por agotarse, y ahí dirigió todos sus esfuerzos. Lo intentó una y otra vez, pero ningún empresario se interesó nunca por su tecnología. “¿Para qué molestarse en seguir al Sol con complejos espejos cuando se podía tener energía barata procedente de la combustión del carbón? En 1911, Mouchot, hoy reconocido como uno de los pioneros de la energía solar en el mundo, murió pobre y en el olvido.

La historia de este visionario no dista mucho de la historia de la energía solar.

Desde los tiempos de Arquímedes y hasta mediados del siglo XIX, hubo descubrimientos importantes, conducidos por hombres de ciencia que quisieron ver sus nombres anotados en los anales de la investigación; pero ninguno logró superar la barrera de la aplicabilidad en la vida cotidiana o proyectarse como una alternativa viable desde el punto de vista económico. Solo el temor de un eventual agotamiento de las minas de carbón, el combustible que hasta ese momento movía los procesos productivos en el mundo, había dado un impulso serio al tema cuando Mouchot presentó su invento en París. Algunos años antes, por ejemplo, la Cámara de los Comunes había reunido a una galería de expertos en Geología para que dieran sus estimaciones de cuánto durarían las reservas en Inglaterra. Sus conjeturas fueron tan diversas como 200 o 1.700 años. Fue el tiempo de los colectores solares, de las primeras celdas fotovoltaicas y del primer calentador de

agua patentado para consumo hogareño.

Chile no estuvo ajeno a este fenómeno. Los primeros registros de energía solar datan de finales de ese siglo, con los desaladores de agua más antiguos del mundo, instalados en el desierto de Atacama para la minería de plata, inicialmente, y luego para las salitreras.

Durante algún tiempo pareció difícil predecir qué fuente de energía triunfaría. Pero los conflictos bélicos tienen un efecto selectivo sobre la tecnología, y el estallido de la Primera Guerra Mundial entregó el veredicto. Los motores a gas y a petróleo mejoraron muy rápidamente; y el temor al agotamiento de las minas de carbón se desvaneció. Para el final de la guerra, la tecnología de los combustibles fósiles y las explotaciones petroleras habían establecido un dominio que definiría la política internacional y dejaría nuevamente a la energía solar reservada a los idealistas. Condenada a seguir el ritmo de los vaivenes de la escena política y económica.

Un nuevo salto se produjo a mediados del siglo pasado, también de la mano de un conflicto bélico. La Guerra Fría había comenzado y el espacio se convertía en un importante campo de batalla. A principio de los 50, la producción de cristales de silicio de alta pureza aceleró el desarrollo de la energía solar, al elevar la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Era un nuevo *boom* y las investigaciones comenzaron a asomar en todo el mundo.

En Chile es el período de los pioneros de la energía solar. Un puñado de expertos se dedicó al tema desde fines de esa década en las universidades Del Norte, De Concepción, De Chile y Técnica Federico Santa María. En este plantel destaca el equipo liderado por Julio Hirschmann, quien tuvo una trayectoria reconocida internacionalmente entre las décadas del 50 y del 70. Surgen los primeros laboratorios y centros de energía solar en el país; se crea la Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada y los SENESE (Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica) se convierten en la instancia más importante para el análisis de los conocimientos que se iban generando.

La carrera espacial despertaba nuevos bríos, con ejemplos como el Vanguard 1, satélite que en 1958 usó y probó la efectividad de los paneles fotovoltaicos.

Sin embargo, el bajo costo del gas natural mantenía a este combustible como la fuente principal para el calentamiento en los hogares del mundo, mientras que el petróleo seguía moviendo a la industria. Nuevamente, la energía solar quedaba relegada a proyectos piloto, pequeños artefactos domésticos y a los laboratorios. Sus bondades no habían logrado saltar del espacio a la Tierra y solo adquiriría fuerza en una industria donde los costos no eran relevantes. Solo un ejemplo: en 1956, un watt costaba dos dólares si era producido por una central termoeléctrica de carbón, mientras que con paneles fotovoltaicos la cifra llegaba a 250 dólares.

La crisis del petróleo en los 70 cambiaría todo, otra vez. El aumento en el precio del crudo y la creación del científico estadounidense Elliot Berman de la primera celda fotovoltaica rentable modificaron la escena mundial. Pronto, las aplicaciones terrestres superaron a las espaciales.

En el país, a mediados de esa década, comenzaron a aparecer proyectos y las primeras empresas que vieron en la energía solar una opción. Codelco fue una de las primeras en usar sistemas solares, mientras la electrificación y bombeo de agua solar fueron una alternativa para las zonas rurales aisladas.

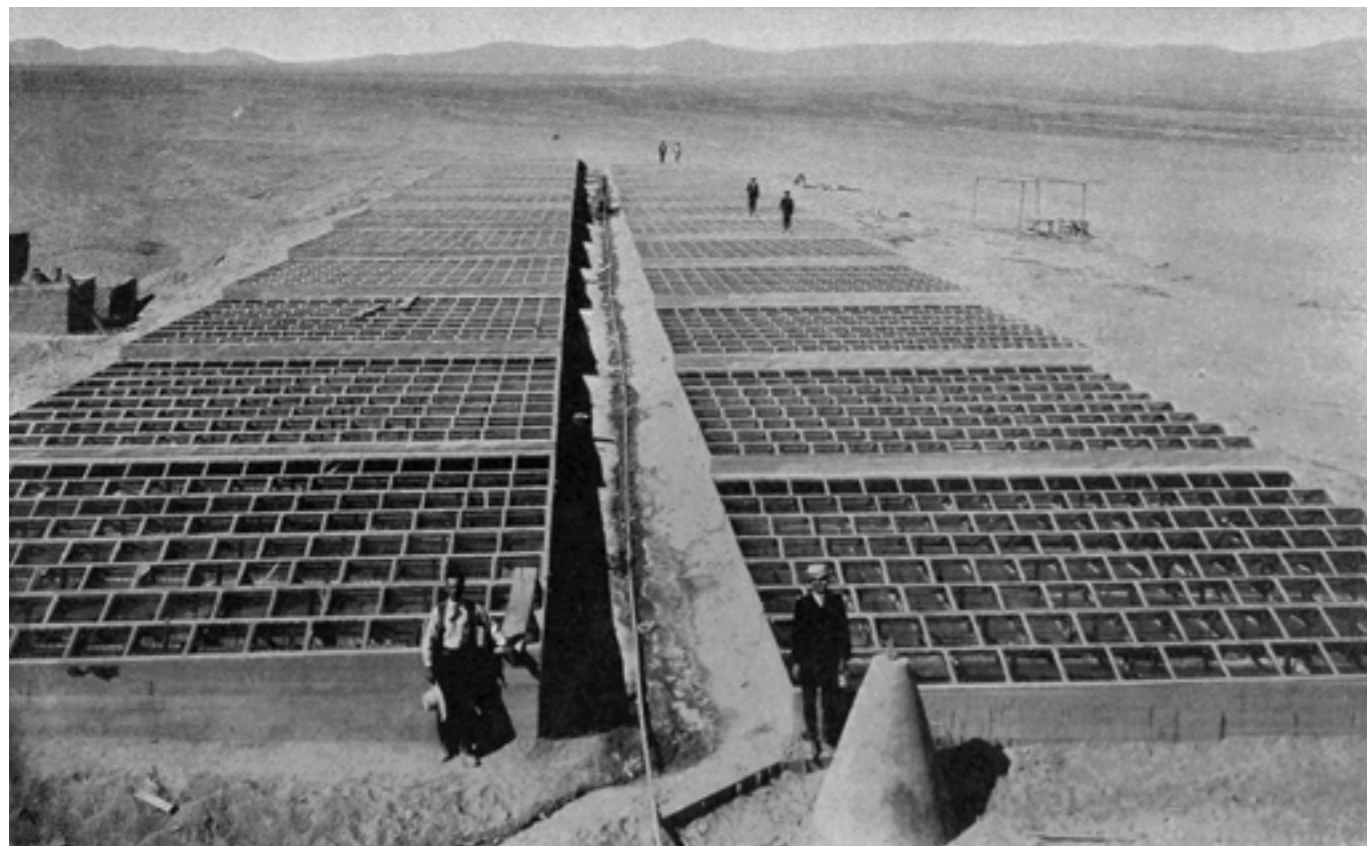
El golpe militar de 1973 frenó la investigación en Chile, pero no en el mundo. Y en la década de los 90, una nueva guerra –la del Golfo Pérsico, en 1991– volvía la mirada de los gobiernos hacia la energía solar, pero ahora con mayor ímpetu. La tecnología se perfeccionó, su costo siguió bajando y aparecieron las primeras legislaciones tendientes a incentivar el uso de las energías renovables.

En el siglo XXI, las grandes plantas fotovoltaicas generadoras de energía eléctrica hacen su aparición en todo el mundo, incluyendo Chile. Actualmente, hay consenso en que el planeta vive una nueva revolución industrial, esta vez de la mano de las energías renovables, y que está en curso una nueva carrera espacial que ganará quien logre dominar la energía solar. Y Chile, que cuenta con algunas de las mediciones de radiación solar más altas del mundo, promete ser actor principal en esta historia que se sigue escribiendo.

*La energía solar ha ido tomando cada vez más fuerza, ya no sólo en los laboratorios. En 2019, 11,5 millones de personas en el mundo trabajaban en la habilitación de energías renovables, medio millón más que en el año anterior. La tecnología fotovoltaica encabeza la lista, con el 33%.*



# 1872-1935 CHILE, LABORATORIO NATURAL



CRÉDITO: GENTILEZA NELSON ARELLANO/PATRICIO ESPEJO.

## 1872

### INNOVACIÓN EN EL DESIERTO DE ATACAMA

Cuando a mediados del siglo XIX comenzó a explotarse la plata en Atacama, el agua se transformó en un problema. Era escasa y la que había era rica en sales y minerales. Apareció, entonces, una verdadera competencia entre diferentes técnicas para desalar el agua, pero solo una se impuso: la que usó la energía solar. El avance vino de la mano del ingeniero sueco Charles Wilson, quien en 1872 implementó -en Las Salinas- un gran destilador solar que convertía el agua en potable. Se le considera el primer destilador solar industrial del mundo. Investigaciones realizadas por el historiador chileno Nelson Arellano indican que, en 1883, el ingeniero Josiah Harding -que trabajaba en la construcción de un tren que uniría Antofagasta y Las Salinas- publicó un artículo donde describe esta innovadora planta. "Este destilador solar nutría de agua a Caracoles, una gran área de explotación minera que requería de 800 carretas y 4 mil mulas que pasaban una vez por semana por Las Salinas y necesitan del vital líquido", dice Harding.

¿Cómo funcionaba? El agua salina era bombeada desde los pozos por molinos de viento y almacenada en un estanque que tenía capacidad para cuatro días de suministro. A través de tuberías de hierro, esta agua salada llegaba a 64 destiladores solares, que la evaporaban. La sal quedaba abajo y el vapor de agua caía por condensación en otra red de tuberías y al estanque de agua fresca. Los destiladores ocupaban un área de casi 5.000 m<sup>2</sup> y en verano eran capaces de producir unos 20.000 litros.

ESTA IMAGEN HA SIDO ERRÓNEAMENTE VINCULADA A LA DESALINIZADORA SOLAR DE CHARLES WILSON, EN LAS SALINAS, DURANTE AÑOS. INVESTIGACIONES DEL HISTORIADOR NELSON ARELLANO REVELAN QUE EN ATACAMA EXISTIERON OTRAS DOS PLANTAS DESALINIZADORAS: SIERRA GORDA (1883) Y EL BOQUETE (1907) EN LA OFICINA DOMEYKO. LA FOTO CORRESPONDE A ESTA ÚLTIMA, TAL COMO APARECE EN EL *ILLUSTRATED LONDON NEWS* DE 1908.

## 1923

### MONTEZUMA Y LA RADIACIÓN SOLAR EN CHILE

"Muy lejos, en el borde del desierto de nitrato de Chile a 9.000 pies de altura (2.743 metros), donde la lluvia es casi desconocida y se puede montar por millas sin una cosa viva, animal, ave, reptil, insecto o incluso vegetación, está ubicado un solitario puesto de avanzada del Observatorio Astrofísico Smithsonian".

Los archivos del Smithsonian describen en detalle lo que fue uno de los observatorios geofísicos más importantes del mundo. Hoy, el cerro Montezuma, cerca de Calama, es parte de una reserva natural y apenas quedan algunos vestigios de lo que fue cuando Charles Greeley Abbot inició su campaña de mediciones solarimétricas en ese lugar en 1923. Más de dos décadas después, en 1947, debió dejar de funcionar debido a la contaminación que emitía la fundición de Chuquicamata. Pero sus resultados fueron excepcionales: los máximos absolutos de radiación solar en el mundo estaban en la zona norte de nuestro país. Estas mediciones constituyen la serie más larga de datos en el tema aún vigentes.



CRÉDITO: SMITHSONIAN ASTROPHYSICAL OBSERVATORY.

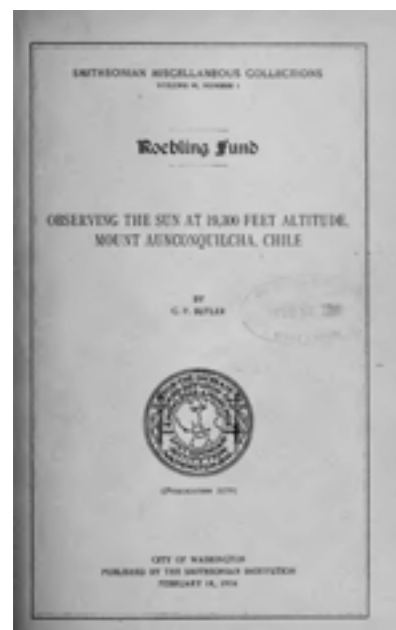
TRABAJO E INSTALACIONES EN MONTEZUMA ENTRE 1931 Y 1946.



CRÉDITO: FRED LAWRENCE WHIPPLE OBSERVATORY.

VISTA GENERAL DEL OBSERVATORIO SOLAR EN EL CERRO MONTEZUMA EN CHILE, DEL SMITHSONIAN INSTITUTION.

1936



CREDITO: UTFSM

### NORTE CHILENO ARROJA NUEVOS DATOS

Existe una dependencia lineal entre la radiación solar y la presión atmosférica. Con esta conclusión, el investigador norteamericano C. P. Butler publicó el estudio que realizó un año antes en el monte Aucanquilcha, cerca de Ollagüe, en la frontera de Chile con Bolivia. Atraído por los resultados del científico Charles Abbot, armó una expedición al campamento Quilcha, ubicado a 5.300 metros sobre el nivel del mar y considerado en ese entonces como el asentamiento humano permanente más alto del mundo. Luego subió a la cima del cerro, a 5.800 m, para realizar mediciones solares en altura.

## 1951-1973 EL BOOM DE LA INVESTIGACIÓN NACIONAL

1951

### POZOS SOLARES PARA EL SALITRE

La compañía salitrera Anglo-Lautaro (actual Soquimich) construye en la localidad de Coya Sur una planta cristalizadora de nitratos que usaba energía solar. La planta constaba de 10 pozos solares de concentración, que cubrían un área de 44 mil  $\text{m}^2$  y que evaporaban un promedio de 2.000  $\text{m}^3$  por día para concentrar soluciones de anhídrido de sulfato de sodio, magnesio y potasio. Esto significó a la empresa ahorrar 50 mil toneladas de petróleo por año. Hoy, Soquimich cuenta con 3 mil hectáreas de pozas de evaporación solar, que abastecen el 91% del total de energía de sus operaciones.

1957

### PRIMER CENTRO CIENTÍFICO

El IDIEM (Instituto de Investigaciones en Materiales) de la Universidad de Chile, en su sede de Antofagasta, crea en 1957 el Centro de Investigaciones de Energía Solar Aplicada (CIESA), dirigido por el Ingeniero Germán Frick Bentjerodt. Estaba dedicado a estudiar la energía solar en el desierto de Atacama. De los trabajos allí realizados, Carlos Espinosa forma el Centro de Investigaciones de Zonas Áridas (CIZAUN), que, entre sus proyectos más destacados, figuran los relacionados con la destilación solar natural, captación de camanchacas solarimetría, desalinización, calentadores solares y generación fotosolar.



CREDITO: UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE

1960

### HIRSCHMANN Y UN LABORATORIO DE NIVEL INTERNACIONAL

Julio Hirschmann, académico de la U. Técnica Federico Santa María, fue clave para que el plantel creara en 1960 su Laboratorio de Energía Solar. Fue el primero de su tipo en el país y continuó el trabajo iniciado por Charles Abbot casi cuatro décadas antes. También se realizaron investigaciones básicas en energía solar y de sus aplicaciones, como destiladores de agua salina, cocinas solares, pozos y colectores solares con fines industriales. Cinco años después, contaba con 24 instrumentos de medición solar y atmosférica, que lo convertían en el mejor montado de la época. Desde entonces, mantiene el Archivo Nacional de Datos Solarimétricos, que en la actualidad recibe datos de 89 estaciones con piranógrafos (instrumento que mide radiación solar) y 113 con heliógrafos (que registra la duración e intensidad de los rayos solares) distribuidos a lo largo del país.



HORNO SOLAR DURANTE PRUEBAS DE INSPECCIÓN. LABORATORIO SOLAR DE LA UTFSM.

UTFSM/LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR



UTFSM/LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR

JULIO HIRSCHMANN, A LA DERECHA DE LA IMAGEN.

1963

### NACE ACHESA

Las universidades Del Norte (actual U. Católica del Norte), De Chile, Técnica Federico Santa María y Santiago de Chile (UTE en ese tiempo) fundan la Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada (Achesa), que reúne a los principales exponentes en este campo. Los planteles se alternan cada seis meses como anfitriones, produciendo artículos de interés científico y tecnológico. Posteriormente, se incorporaron las universidades De Concepción, Del Norte sede Arica (actual U. de Tarapacá) y La Frontera, entre otras. Sus primeros directores: Julio Hirschmann, como presidente, y Carlos Espinosa, como secretario.

## 1966

### LA VISITA DE TROMBE

El interés internacional por el Norte Grande chileno siguió creciendo. Este año, el físico y director del Centro Nacional de Investigación de Francia, Félix Trombe, visita la zona y presenta un estudio para construir un horno solar en el cerro Montezuma, próximo a Calama. Su propuesta incluía un reflector que concentraba un flujo energético de 300 a 400 kW y una temperatura de 3.000 °C. Tenía un costo estimado de US\$ 1,5 millones y estaba pensado para la industria. Trombe era el creador del horno solar más grande del mundo en Odeillo, Francia, construido entre 1962 y 1968, capaz de producir 1.000 kW de potencia y fundir todo tipo de metales. En 1973 realizó una nueva misión al país en la que propuso nuevas investigaciones al Centro de Energía Solar Aplicada de la UCN. ¿Y el horno solar? No logró concretarse por falta de recursos y el golpe militar.

*“Arica a Santiago: territorio apto para usar tecnologías solares.*

*Ovalle a Copiapó: territorio con muy buenas condiciones para uso de estas tecnologías.*

*Antofagasta a Ollagüe: territorio con condiciones excepcionales. Con 95 % o más de días con sol todo el año y una radiación directa de alrededor de 1,1 kW/h (exceptuando Chuquicamata por sus hornos industriales)”.*

INFORME DE FÉLIX TROMBE A LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE SOBRE LAS CONDICIONES DE RADIACIÓN SOLAR EN CHILE.



CRÉDITO: UTFSM

## 1968

### QUILLAGUA

En esta localidad de la Región de Antofagasta se instaló una planta desaladora que probaría los mejores materiales para fabricar tecnología solar. El proyecto de la Universidad Técnica Federico Santa María y de la Universidad del Norte (hoy UCN) cubría 100 m<sup>2</sup>.

# 1973-1988

## PRIMERAS APLICACIONES

## 1973

### MAGÍSTER EN ENERGÍA SOLAR

Sería el primero de su tipo en el país y Latinoamérica. Pero la idea de la Universidad del Norte no logra concretarse. El Magíster en Ciencias con mención en Energía Solar tuvo su primera y única clase el martes 11 de septiembre, día del golpe de Estado.

## 1978



CRÉDITO: GENTILEZA CARLOS BARRAZA/HOSPITAL DE COMBARBALÁ

### CIRUGÍAS CON CALEFACCIÓN CENTRAL

A fines de la década del 70 se inaugura el Hospital San Juan de Dios de Combarbalá, en la Región de Coquimbo, descrito en la época como uno de los más modernos de Sudamérica. ¿La razón? Fue el primero en Chile que usó la tecnología solar: colectores y un estanque acumulador de agua de 246 m<sup>3</sup> entregaban agua caliente a los baños y permitían calefaccionar por losa radiante la sala de cirugía.

## 1978

### SURGEN LOS SENESE

El Seminario Nacional de Energía Solar y Eólica se convierte en la instancia más importante para el intercambio de conocimientos e investigaciones en energía solar entre los expertos. El primero se realizó en 1978 en la Universidad Católica (Santiago). Se siguieron realizando sin interrupciones hasta 1995.



## 1978

### CODELCO ENTRA AL SISTEMA

Codelco inaugura un sistema solar de agua caliente para la Casa de Cambios N° 3 del Mineral El Salvador, lugar donde el personal se ducha y asea. El sistema, realizado por ingenieros de la Universidad Federico Santa María, permite calentar 40.000 litros por día, utilizando una caldera diésel de respaldo. No fue todo. Un proyecto de memoria de la U. de Chile permitió al Mineral El Salvador procesar más de 100 mil toneladas anuales de concentrado de cobre por más de 15 años, usando la energía solar. ¿Cómo? El ingeniero Roberto Román, experto en energías renovables y académico de la Universidad de Chile, explica que cuando se crea el concentrado de cobre, este es una pulpa que tiene un 60 % de agua. El proceso de escurrimiento tradicional bajaba la humedad a 35 % o 40 %. Pero, con la energía solar, se llegó a 17 %. Menos agua significó menos peso, con lo que disminuyó el costo de su traslado en tren a Potrerillos.

### 40 MIL

LITROS POR DÍA CALENTABA EL SISTEMA SOLAR DE LA CASA DE CAMBIO DEL MINERAL EL SALVADOR-CODELCO



CRÉDITO: GENTILEZA ROBERTO ROMÁN

COLECTORES SOLARES EN MINERAL EL SALVADOR EN 1980.

## 1982

### UNA CASA MUY PARTICULAR

El agua industrial para el Mineral El Salvador viene desde el Tranque La Ola, ubicado a 100 km de la ciudad y a más de 3.500 metros de altura. Dos operadores debían hacerse cargo del flujo que llegaba al campamento, por lo que vivían en un par de cabañas de calamina que, en su interior, llegaban a registrar hasta  $-8^{\circ}\text{C}$ . El gasto anual solo en ellos era de 20 toneladas de leña y carbón. El proyecto de tesis del ingeniero de la U. de Chile Silvio Celis contó con el apoyo del ingeniero de Codelco Erling Villalobos para su realización. Su nombre: Casa Solar La Ola. Construcción que usaba un sistema de calefacción solar pasiva para aumentar el *confort* de los operarios y bajar el consumo de combustible. Los resultados: "Desde que está en uso, la temperatura interna no baja de  $12^{\circ}$  o  $14^{\circ}$  como mínimo, a pesar de no tener aislación en los muros. El consumo de combustible bajó a un 25 % respecto del campamento original", cuenta Roberto Román, académico de la Universidad de Chile.



CASA LA OLA

CREDITO: GENTILEZA ROBERTO ROMÁN

## 1981-1984

### EL MERCADO SE AMPLÍA

Aparecen las dos primeras empresas especializadas en energía solar. En 1982, Mirosolar iniciaba la importación de paneles solares térmicos desde Israel para desarrollar proyectos en hoteles, mineras y escuelas. Dos años después, realiza varios proyectos de electrificación rural y en 1997 ya había colocado mil paneles para temperar piscinas. Heliplast inició sus operaciones el 16 de julio de 1984 y para 1986 importa y comercializa sus primeros módulos fotovoltaicos en nuestro país. Ambas siguen operativas.

## 1992-2010 LEGISLACIÓN DECISIVA

### 1992

#### CRECER SIN DAÑAR EL MEDIOAMBIENTE

Ese es el mensaje que, por primera vez, se instala en la discusión internacional tras la Cumbre de la Tierra que se realiza en Río de Janeiro. La reunión valida políticamente el concepto de "desarrollo sostenible", fijándolo como meta para los países. En Chile, este mensaje repercute en el gobierno de Patricio Aylwin, quien ese mismo año envía al Congreso Nacional el Proyecto de Ley de Bases Generales del Medio Ambiente.

### 1994

#### EL MENSAJE ENTRA EN LA AGENDA POLÍTICA

La importancia que comienzan a adquirir los temas medioambientales en la agenda pública tiene un primer efecto con la publicación de la Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Se crea la Comisión Nacional de Medioambiente (CONAMA) y el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), que reglamentó 26 impactos ambientales de las actividades y proyectos. Esto dio el primer gran impulso a las tecnologías de menor incidencia al medio, como lo son las renovables no convencionales.

### 2000

#### Y LLEGA A LAS COMUNIDADES

Entre 1989 y 1990, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Artesanos Solares de Concón y el Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos de la Universidad de Chile llegaron a la localidad de Villaseca, en el Valle de Elqui, con un novedoso proyecto: las cocinas solares. El objetivo era reducir el alto consumo de leña y ayudar a las familias a salir de la pobreza en esta zona donde no existía plan regulador, sendero de acceso ni agua potable y donde la mayoría era crianceros de caprinos o temporeros.

El programa, que incluyó talleres de autoconstrucción participativa de equipos solares, tuvo un impulso mayor cuando en 1992 Lucila Rojas, monitora de la comunidad, presentó la idea de formar un centro solar, que incorporaría un restaurante solar, un taller de producción de artefactos solares y un centro educativo para formación de nuevos monitores. En el año 2000 se inaugura Delicias del Sol, el primer restaurante solar de su tipo en el mundo, que lleva más de una década de funcionamiento y con capacidad para atender a 150 personas.



2007



#### LOS ESTUDIANTES SE SUMAN

Eolian es el nombre del primer auto solar que se fabrica en el país y también en Latinoamérica. Su primer objetivo: participar en el World Solar Challenger, que se realiza en Australia y donde se recorren más de 3.000 km. Este primer prototipo, creado por alumnos de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile, terminó la competencia en el 14º puesto, entre más de 23 equipos.

Con nuevos equipos de trabajo, mejoras en el diseño y el apoyo de universidades, Gobierno y empresas, ha tenido varias versiones posteriores. Hoy, más planteles tienen sus autos solares y desde 2011 compiten en la Carrera Solar Atacama, impulsada por Ruta Solar, organización destinada a fomentar el uso de la energía solar y el emprendimiento.

2009

#### LA HORA DE LOS SUBSIDIOS

Este año marcó un punto de inflexión para la industria de la energía solar, cuando el Gobierno anunció un subsidio de 100 % -vía franquicias tributarias- para la instalación de colectores solares en las viviendas. Aunque ya entonces se sabía que estos sistemas permiten ahorros anuales de 80 % en gas o electricidad, su alto costo de mantención había impedido su masificación.

2010



#### HUATACONDO

Este pequeño poblado, ubicado a 230 kilómetros de Iquique, vive aislado de las redes tradicionales de abastecimiento de energía eléctrica. Un generador diésel le permitía tener luz de las dos de la tarde hasta la medianoche. Restricción que limitaba el acceso a internet de los estudiantes de la escuela. Eso, hasta que en septiembre de 2010 se convirtió en la primera localidad chilena en generar su electricidad por medio de una microrred aislada de energía, proyecto creado por la Universidad de Chile y la Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi. ESUSCON (Electrificación Sustentable Cóndor) usó los elementos locales -viento y alta radiación solar- para crear un sistema eléctrico que incluye una turbina eólica, paneles solares, baterías y un grupo electrógeno, convirtiéndose en la mayor planta de Chile hasta 2012.

2010

#### SOL BAJO LA MONTAÑA

Baterías especiales de gel, un sistema de luminarias Led y 168 paneles fotovoltaicos convirtieron al túnel Galleguillos, en la Región de Antofagasta, en el primero del mundo en ser iluminado las 24 horas del día con energía solar. El sistema asegura entre 25 y 30 años de operación.

## 2011-2020 GRANDES PROYECTOS Y EXPANSIÓN



2011

#### AUTONOMÍA EN EL BARRIO

Más del 30 % de los hogares de Combarbalá están bajo la línea de la pobreza. En 2009 se inicia una experiencia piloto que buscó bajar el gasto por energía de los sectores vulnerables. El resultado fue Portal Cruz del Sur. Son 114 viviendas que incorporaron colectores solares para calentar el agua y un sistema fotovoltaico de 10 kilowatts ubicado en la sede social, que vende su producción a la empresa eléctrica local, ingresos que se reparten entre las familias.

2011

#### EL EXPLORADOR SOLAR INICIA SU MARCHA

No es un satélite de la NASA, sino una herramienta en línea accesible para cualquier persona que busque conocer el potencial fotovoltaico del lugar en que vive, de manera simple y rápida. Se trata de la plataforma pública más completa y detallada sobre el recurso solar en Chile: recopila 13 años de información de todo el territorio nacional, incluyendo las islas de Pascua y Robinson Crusoe. Fue elaborada por el Departamento de Geofísica de la U. de Chile en convenio con el Ministerio de Energía y la cooperación alemana GIZ.

## 2012

### PRIMERAS GRANDES PLANTAS INDUSTRIALES



CREDITO: CODELCO.

**Calama Solar 3** se ubica en pleno desierto de Atacama. Es la primera planta fotovoltaica industrial del país y de Sudamérica. Significó una inversión de 3,5 millones de dólares e inyecta 1 MW de potencia -equivalente al consumo de 5 mil hogares- a las zonas industriales de la División Chuquicamata de Codelco.



CREDITO: MINERA EL TESORO.

**El Tesoro** es la planta termosolar más grande del mundo dedicada a la minería, inaugurada este año por Antofagasta Minerals. Ubicada en la Región de Antofagasta, en la localidad de Sierra Gorda, está diseñado para producir 24.445 MWh/año de energía térmica a través de 1.280 colectores cilindro-parabólicos con seguimiento solar en una dirección. Su habilitación permite reducir en 55% el consumo de diésel y evitar la emisión de 8.000 toneladas de Co2 al año.



CREDITO: SUBSOLE.

**Subsole** es otro gran hito de este año de despegue de la energía solar en Chile al convertirse en la primera planta fotovoltaica en Chile dedicada al desarrollo de la agricultura, perteneciente a una de las principales exportadoras de fruta del país. Instalada al interior de Copiapó, en el fundo Don Alfonso, sus paneles solares son capaces de generar hasta 1 MW de potencia, lo que permite bombear agua desde las napas subterráneas para el riego de 265 hectáreas.

## 2013

### INVESTIGACIÓN SOLAR ENTRA A LAS LIGAS MAYORES

Solar Energy Research Center (SERC Chile) es el primer centro de excelencia de investigación en energía solar del país, integrado por las universidades De Chile, De Tarapacá, De Antofagasta, Técnica Federico Santa María, Adolfo Ibáñez, De Concepción y, hasta diciembre de 2017, la Fundación Chile. En su primera etapa (2013-2017) su misión ha sido entregar respuestas a preguntas científicas clave y hacer propuestas para superar las barreras que dificultan al país convertirse en una potencia solar, considerando las condiciones de radiación únicas del Norte Grande. Son más de 60 investigadores, incluyendo 11 posdoctorandos, quienes abordan seis temáticas: energía solar en la industria y minería; sistemas eléctricos de potencia con alta penetración de energía solar; sistemas de coordinación de energía solar para comunidades rurales y urbanas; almacenamiento de energía solar; tratamiento solar de agua y aspectos económicos, sociales y regulatorios para el desarrollo de energía solar. Cuenta con una red de colaboración internacional que incluye 10 centros de investigación en seis países, y en sus primeros cinco años de existencia tenía 250 *papers* publicados en revistas ISI de alto impacto, seis patentes y la formación de cerca de 400 profesionales e investigadores. En la segunda fase de SERC Chile (2018-2022) se integrarán el Centro Fraunhofer Chile y la Pontificia Universidad Católica de Chile.



CREDITO: SERC CHILE.

## 2014

### GENERACIÓN DESDE LAS CASAS

Aunque ha tenido una marcha lenta, la Ley para la Generación Distribuida o Ley Net Billing significó un importante paso en las políticas de incentivos para el uso de la energía solar a nivel domiciliario. La normativa otorga el derecho a los usuarios de generar su propia energía, consumirla y vender los excedentes a las empresas distribuidoras. Este derecho es para sistemas de generación de hasta 100 kW que funcionen a base de energías renovables, como sistemas fotovoltaicos, eólicos e hidráulicos. Un ejemplo: si una casa tiene paneles fotovoltaicos que producen 100 kW/h, pero solo gasta 80 kW/h, los 20 restantes se inyectan a la red eléctrica, la empresa valoriza esos kW y los descuenta de la cuenta de luz del cliente. Hasta septiembre de 2017, según cifras de la SEC, existen 198 instalaciones inscritas, con una capacidad de 9,94 MW. Arica anota un hito en esta materia: la primera instalación que ingresó con la Ley de Net Billing (Neumatrix).

## 2015

### LOS PANELES SE TOMAN LOS TECHOS PÚBLICOS

El Programa Techos Solares Públicos comenzó en 2015 y busca instalar sistemas fotovoltaicos en los techos de los edificios públicos, para acelerar la maduración del mercado fotovoltaico de autoconsumo. En 2016 se inauguraron siete proyectos en la comuna de Parral: dos colegios, el edificio municipal, el gimnasio municipal, el Cesfam (en la foto) y los juzgados de Garantía y de Familia, todos con una potencia instalada de 245 kW. Tres años antes, en 2012, el Aeropuerto de Chacalluta, en Arica, comenzó a abastecerse con energía solar de una planta fotovoltaica instalada en el mismo terminal. Aunque no está en el techo, es el primer aeropuerto con energía solar.



CREDITO: ECOLIFE.



## 2017

### VIAJE ARICA-STGO: SOLO CON ENERGIA SOLAR

A un promedio de 60 km por hora y avanzando 300 kilómetros diarios, Eolian Fénix, el primer auto solar biplaza construido en Latinoamérica, cumplió el desafío de recorrer 2.040 kilómetros: la mayor distancia cubierta por un vehículo solar en Chile, entre las ciudades de Santiago y Arica, por la carretera 5 Norte.

Desarrollado por alumnos de los departamentos de Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica y del Plan Común de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, se trata del quinto de una serie de seis autos solares creados por este plantel de educación superior.

CREDITO: FCFM



CREDITO: WWW.ATLASRENEWABLEENERGY.COM

## 2017

### PRIMERA PLANTA SOLAR A GRAN ESCALA EN LA RM

ATLAS Renewable Energy inauguró la planta solar fotovoltaica Quilapilún, la primera a gran escala en la Región Metropolitana. El parque se ubica en la comuna de Colina, a poco más de 40 km de Santiago, y tiene una capacidad instalada de 110 MWp. La planta, que cuenta con tecnología de seguimiento, se encuentra plenamente operativa e inyectando energía al Sistema Interconectado Central (SIC). Está compuesta por más de 350 mil paneles fotovoltaicos distribuidos en una superficie total de 288 hectáreas.

FOTO: CERRODOMINADOR



## 2018

### CERRO DOMINADOR: PRIMERA PLANTA TERMOSOLAR EN CHILE

A 100 kms de Calama, en la comuna de Sierra Gorda, está en construcción la primera planta termosolar de torre en Chile y la primera en producir energía las 24 horas del día. Cerro Dominador cumplió su último hito antes de su puesta en marcha en 2020: el izado e instalación de su receptor solar en la parte más alta de la torre central del complejo. Esta torre, con 220 metros de altura, es segunda más alta de Chile después del edificio Torre Costanera, en Santiago. Está rodeada de 10.600 espejos o heliostatos, que reflejarán la radiación solar al receptor instalado, en un entorno de 360 grados, permitiendo la producción de 110 MW.



FOTO: SERC-CHILE

## 2019

### INICIAN CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA SOLAR MÁS GRANDE DE CHILE

Campos del Sol es la mayor planta solar actualmente en construcción en Chile. La filial de Enel Chile, Enel Green Power Chile, inició los trabajos en agosto de 2019. El nuevo parque fotovoltaico contará con una capacidad instalada de cerca de 382 MW. Ubicado a 60 km al noreste de Copiapó, en la Región de Atacama, entrará en operación a finales de 2020 y generará alrededor de 1.160 GWh al año en plena operación.



FOTO: KAS INGENIERÍA

### PRIMERA ELECTROLINERA SOLAR DE SUDAMÉRICA

La primera electrolinera autónoma solar de Sudamérica entró en funcionamiento en las instalaciones de SQM Salar del Carmen, Región de Antofagasta: pionera en el uso de energía solar para cargar automóviles eléctricos. Es el primer eco-cargador que funciona de manera independiente a la red eléctrica (off-grid), capta la energía solar a través de 46 paneles fotovoltaicos y tiene un sistema de respaldo de baterías de litio distribuidas en nueve módulos.



FOTO: SQM

## 2019

### SOLAR WORLD CONGRESS 2019 EN CHILE

Uno de los encuentros en energía solar más importantes del mundo y que se realiza desde 1960, se llevó a cabo en noviembre de 2019 en Chile, revelando el papel crucial que ha adoptado nuestro país en la materia. El congreso es organizado por la Agencia Internacional de Energía (ISES) y el Programa Internacional de Calefacción y Refrigeración Solar (SHC). SERC Chile fue el organizador local. A pesar de la crisis política y social que se vivía en el país, asistieron 432 expertos de 39 países, quienes debatieron sobre tecnologías solares como fuente de calefacción y refrigeración, almacenamiento de energía y, mercados y políticas para facilitar la expansión. Esta versión del SWC se efectuó por primera vez en Sudamérica, gracias a gestiones de SERC Chile y del Comité Solar de Corfo.

### SISTEMA DE AUTOCONSUMO MÁS GRANDE DEL PAÍS

Se trata del techo fotovoltaico privado, construido en una nave, más grande del país y el segundo de mayor tamaño en Latinoamérica. Un sistema de autoabastecimiento de energía solar que generará aproximadamente 3 Gigawatts al año, mitigando 1.310 toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, lo que equivale a plantar una superficie de más de 88.870 árboles. Y autogenerará el 27% de la energía que consume la empresa Ideal, del grupo Bimbo.

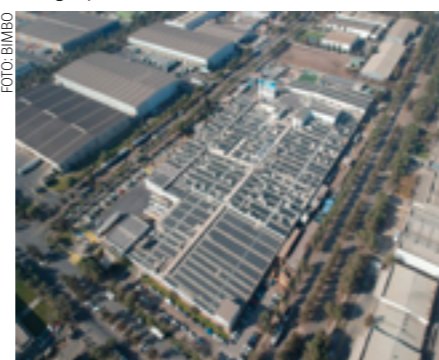


FOTO: BIMBO



### ROBERTO ROMÁN (1945-2019)

Roberto Román Latorre tuvo un rol importante y destacado en Ayllu Solar. Desde el inicio, cuando se bosquejaba el proyecto, aportó con sus conocimientos. Luego se integró a los equipos técnicos que trabajaron en la región de Arica y Parinacota, apoyó en las capacitaciones en energía solar y en la difusión de los resultados que se iban alcanzando. Tuvo además un rol clave en la primera edición de este libro, publicada en 2017.

Fue maestro de muchas generaciones de estudiantes de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a donde llegó en 1957 como alumno y donde hizo su carrera académica. En muchos jóvenes dejó una huella importante. Destacado ingeniero mecánico, ya en los años 70 del siglo pasado se convirtió en un apasionado promotor de las energías renovables como base del desarrollo sostenible del planeta. Con los años, y en eso fue un visionario, llevó la energía solar a las salas de clases y a las mesas de discusión académica del país, resaltando su potencial energético, gracias a la radiación del Norte Grande.

Profesor, investigador, consultor en Chile y en el extranjero, contribuyó a cambiar la realidad solar del país. Estuvo en iniciativas pequeñas y en otras mayores. Fue formador de EcoMaipo -institución para la formación y traspaso de las energías renovables a sectores menos favorecidos- y también miembro del directorio de la agrupación académica más antigua y prestigiosa en este ámbito, la International Solar Energy Society (ISES). Fue el primer latinoamericano en ocupar un lugar en la plana mayor de ISES, a partir de 2010. Desde ese año empezó a incubar un sueño propio que contagió a muchos más: que se hiciera en Chile el ISES Solar World Congress 2019, lo que consiguió.

Roberto Román nos dejó el 18 de diciembre de 2019. Su partida fue dolorosa para sus amigos, estudiantes, compañeros de trabajo y para el equipo de Ayllu Solar. Pero su generosidad para compartir sus conocimientos, su compromiso con el desarrollo sustentable, y su ejemplo de vida, nos iluminarán para siempre, como nos ilumina el Sol.

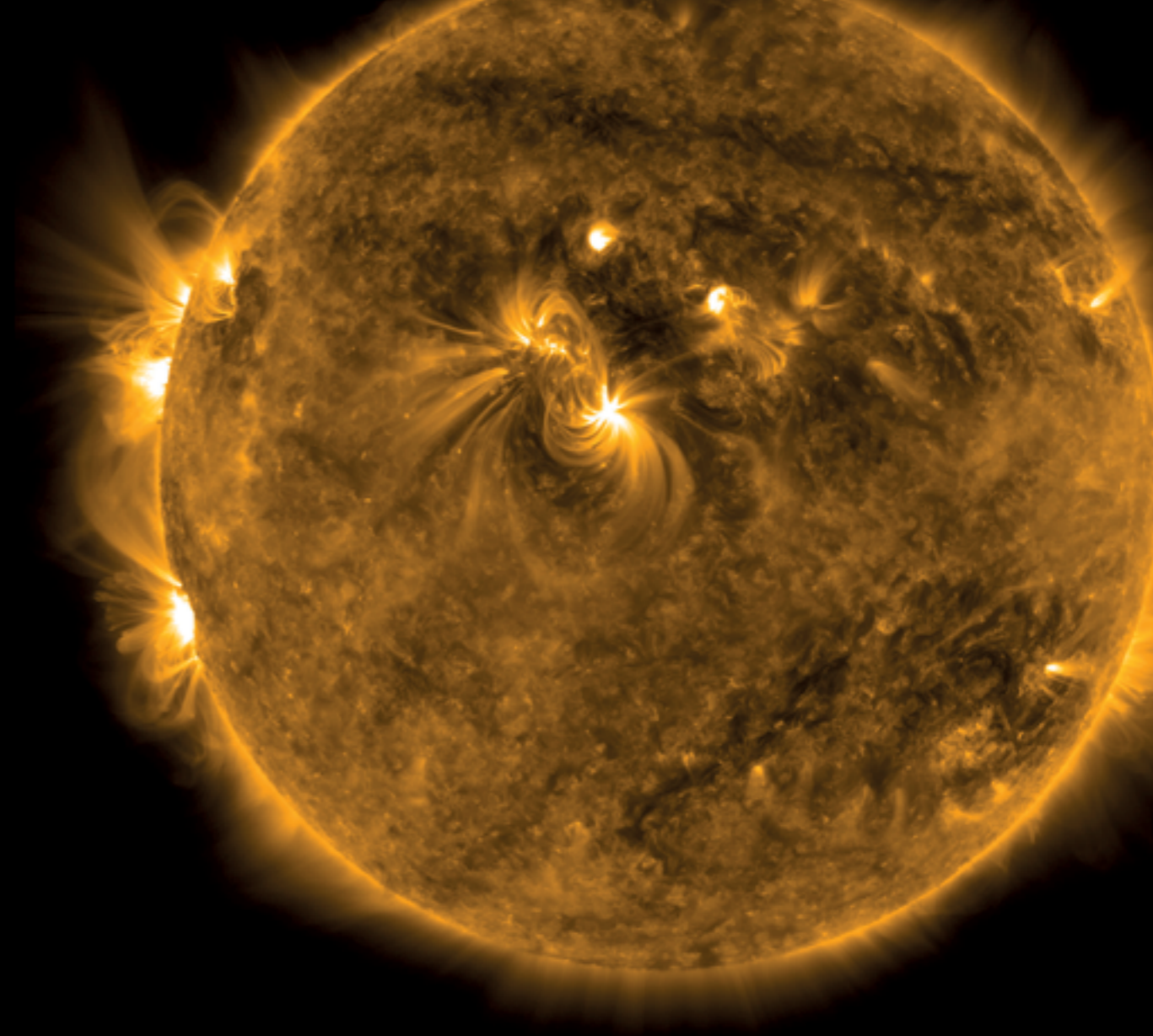
## 2020

### PANEL SOLAR QUE PRODUCE ENERGÍA POR AMBOS LADOS (BIFACIAL)

Fue desarrollado por Atamostec, un proyecto público privado producto de los programas tecnológicos de Corfo y que fue propuesto por SERC Chile. Atamos es el primer panel fotovoltaico bifacial desarrollado con la participación activa de nuestro país y pionero en el mundo en demostrar los beneficios de estos módulos en condiciones reales del desierto: 44% de ganancias en comparación con tecnología monofacial fija. Los paneles bifaciales, que producen energía solar por ambas caras (radiación directa y la que reflejan el suelo y entorno) prometen revolucionar esta industria al aumentar la eficiencia de proyectos solares de gran escala.



# 03 /



## LOS PIONEROS

*Desde mediados del siglo pasado, la Región de Arica y Parinacota ha sido un laboratorio natural permanente para científicos, investigadores, emprendedores e innovadores, que han dejado su huella en una serie de proyectos piloto instalados en comunidades aisladas.*

*Los nombres de algunos de estos hombres y mujeres ya están inscritos en la historia del desarrollo de la energía solar en el norte de Chile.*



# LO QUE NOS HACE ESPECIALES

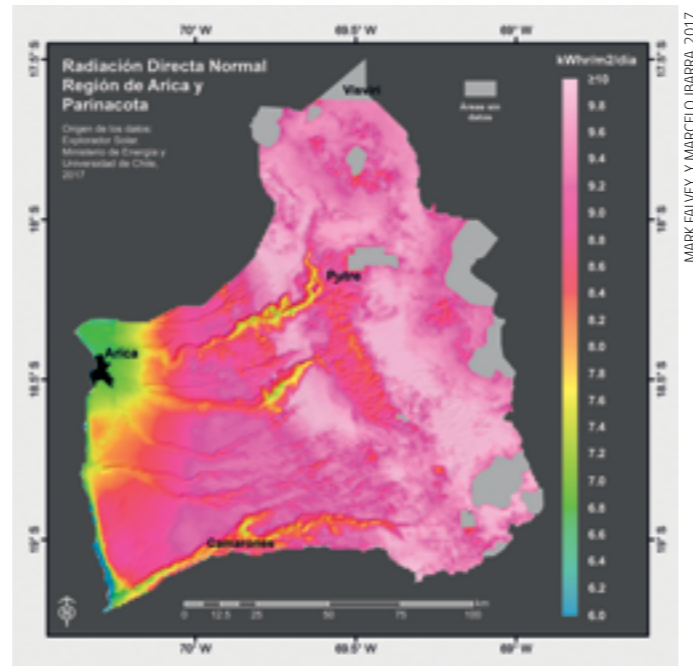
Con 330 días despejados en el año, las condiciones para el desarrollo de la energía solar en la Región de Arica y Parinacota son excepcionales. De hecho, todo el norte chileno está en una situación privilegiada y hoy está comprobado que es la zona que recibe más radiación solar en el mundo: entre 7 y 7,5 kWh por metro cuadrado como promedio diario. La potencia es tal, que bastaría un área de 30 por 30 kilómetros de paneles fotovoltaicos para satisfacer la demanda eléctrica de todo el país.

Durante muchos años se pensó que debía tratarse de la zona del Ecuador, donde los rayos solares impactan constantemente en la superficie terrestre de manera más perpendicular, el lugar por excelencia para esta tecnología. Era lo que mandaba la lógica. Sin embargo, las nubes son uno de los componentes atmosféricos que interactúan con la radiación solar, en la medida en que son capaces de reflejarla y/o absorberla. La proporción de radiación que es reflejada o absorbida por una nube depende, principalmente, del contenido de agua líquida o hielo en su interior y del tamaño de las gotas o cristales que la componen. En general, la radiación que atraviesa una nube se atenúa exponencialmente de acuerdo a su espesor. Y esto es lo que ocurre en el Ecuador: la humedad dispersa la radiación, por lo que llega en menor cantidad a la superficie.

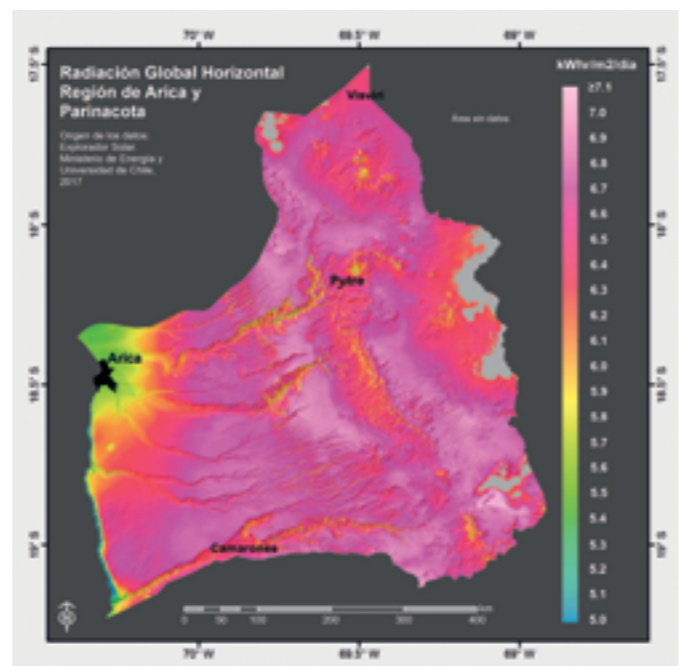
No así en el norte chileno: cuanto mayor es la altura, menor es la dispersión que experimenta la radiación en su camino a la superficie. A lo que se suma que la nubosidad en la región no supera el 15% en la zona costera y es menor a 5% en el interior, en invierno. Aún más: la ciudad de Arica anota el promedio anual de lluvias más bajo del mundo, alcanzando tan solo 0,5 mm.

Este enorme potencial, y que nos convierte en un lugar privilegiado para el aprovechamiento de la energía solar, fue vislumbrado desde fines del siglo XIX por un grupo de científicos nacionales y extranjeros, que estudiaron la zona y se aventuraron en experiencias piloto aún recordadas. Pero fue recién a mediados de los 50, cuando una nueva generación de investigadores decidió retomar esta visión. Con la certeza de que no mencionamos a todos los trabajadores de la energía solar en Chile, hemos querido elegir a un grupo para graficar con ellos los sueños y logros que ilustran esta singular historia.

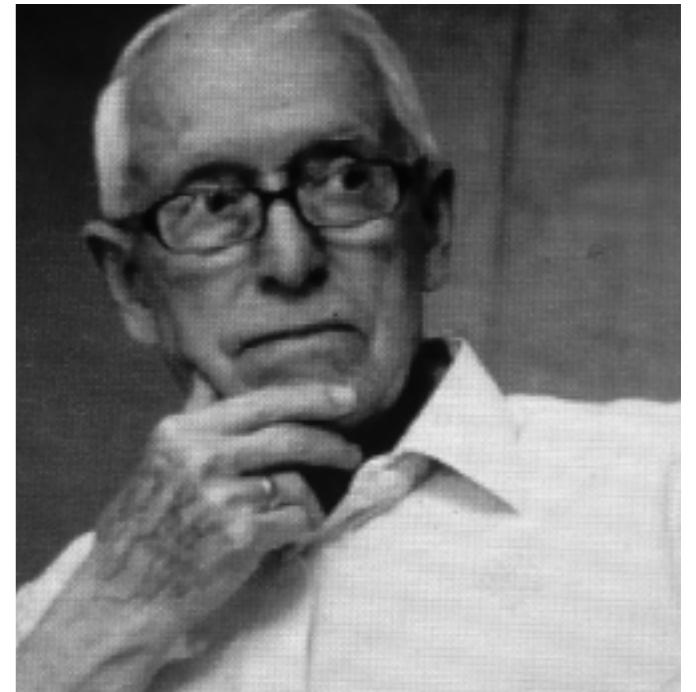
LAS FIGURAS 1 Y 2 MUESTRAN DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL PROMEDIO ANUAL DE LA RADIACIÓN DIRECTA NORMAL Y GLOBAL HORIZONTAL MODELADA EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA PARA UN PERIODO DE 12 AÑOS. ESTOS RESULTADOS DE MODELACIÓN SE OBTIENEN DEL EXPLORADOR SOLAR, DESARROLLADO POR EL MINISTERIO DE ENERGÍA Y EL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, EL CUAL COMBINA DATOS SATELITALES CON MODELACIÓN DE LOS PROCESOS QUE MODIFICAN LA RADIACIÓN EN SU PASO POR LA ATMÓSFERA.



MARK FALUVEY Y MARCELO IBARRA 2017.



## CARLOS ESPINOSA, EL VISIONARIO



Era solo un niño cuando vio por primera vez algo parecido a motas de algodón moverse por el cielo de la pampa. Le llamaban camanchaca, una neblina costera espesa que bañaba las madrugadas de la salitrera María Elena, donde pasaba sus vacaciones. Agua flotando en el cielo del desierto. Un "milagro" que se forma por la abundante radiación solar del norte, que provoca evaporación de agua de mar, la que ingresa al continente en forma de niebla.

"En 1956, cuando hubo una crisis de agua en Antofagasta tenía que sacar agua de mar, hervirla en la cocina y con una cacerola recoger el vapor de la tetera. Sufrimos mucho. Y se transformó en una obsesión buscar la fórmula para capturar esa agua desde el cielo", recuerda. Los frutos se vieron en 1962, tras cuatro años de trabajo, cuando patentó el "atrapanieblas": una estructura tridimensional de latón, una especie de bronce, y plástico que lograba capturar la camanchaca para consumo humano.

Por este invento, Carlos Espinosa logró notoriedad mundial. Donó su invento a la Universidad del Norte, hoy Universidad Católica del Norte, entidad que lo entregó a la Unesco para su uso internacional y gratuito. Pero Carlos Espinosa es mucho más que el padre del "atrapanieblas". Profesor emérito de Física y Matemáticas de la Universidad de Chile y doctor Honoris Causa de la Universidad Católica del Norte, entidad que ayudó a fundar, este físico es reconocido por su trabajo pionero en litio y energía solar.

Con solo 32 años dirigió el primer centro científico del país dedicado a este tema: el Centro de Investigación de Energía Solar Aplicada. En este se realizaron múltiples investigaciones y aplicaciones solares pioneras en el país en destilación solar natural, solarimetría, desalinización de agua, calentadores solares y gene-

ración fotovoltaica, entre otros.

En 1963, junto a sus colegas de las universidades Católica del Norte, Federico Santa María y Técnica del Estado, funda la Asociación Chilena de Energía Solar Aplicada, de la cual es su primer secretario y que reunió a los principales exponentes en este campo en nuestro país.

Docente y formador de decenas de generaciones, Carlos Espinosa siempre estuvo interesado en la formación de capital humano; por eso, a principios de los 70 gestó el primer Magíster de Energía Solar (UCN) que se dictó en el país. Pero las circunstancias no lo acompañaron, porque tuvo un único día de clases el mismo 11 de septiembre de 1973 (golpe militar).

En su mente siempre ha estado lograr convertir las características del desierto de Atacama en ventajas para reducir los costos de energía y de agua. En la década de los 80 su conocimiento y trayectoria fue crucial para los primeros investigadores que iniciaban su trabajo en energía solar en Arica, como Raúl Sapiain.

Inventor incansable, Carlos Espinosa es autor de equipos eólicos y fotovoltaicos, registradores automáticos, hornos solares y del modelo "Sierra Gorda" de cocina solar, la primera en Chile y que hasta hoy usa en su casa. "Mi señora lleva más de 30 años cocinando en ella", confiesa.

Hoy, con 96 años, ve con satisfacción el avance que ha tenido la energía solar en el país: "Cuando con 18 años soñaba que la energía solar algún día movería el mundo, mis amigos me trataban de loco. Me decían: ¡Para qué, si la gasolina es tan barata! Hoy estoy contento de ver cómo por fin se tomó en cuenta y cómo hay mucha gente interesada en su desarrollo, incluso, a nivel gubernamental".

## ORLAYER ALCAYAGA, EL INVESTIGADOR



El desierto fue su patio trasero en Pedro de Valdivia, oficina salitrera en la que nació. Conocía como nadie la fuerza con que el Sol azotaba la zona y cómo el viento podía llegar a lanzar de bruces a cualquiera. Quizás por eso, cuando se transformó en un profesional, Orlayer Alcayaga volvió a mirar estas fuerzas de la naturaleza para desentrañar sus secretos y potencialidades: se convirtió en uno de los mayores expertos en energía solar y eólica de nuestro país.

Alcayaga fue parte de las primeras generaciones de titulados como profesores de Matemáticas y Física en la Universidad del Norte (hoy Universidad Católica del Norte) en los 60. Viajó a Francia a especializarse en Física y, a su regreso, pasó a formar parte del cuerpo de académicos del plantel, llegando a convertirse en decano de la Facultad de Ciencias. Aún más, fue el primer doctor en Física y Transferencia Energética de Chile.

Durante su estada en el país galo trabajó junto a Félix Trombe, físico y director científico del Centro Nacional de Investigación de Francia y creador del horno solar más grande del mundo, en Odeillo, un centro de referencia mundial en investigaciones sobre energía solar.

Gracias a su cercanía con el renombrado físico francés logró que Trombe visitara Chile en dos ocasiones para estudiar en conjunto la factibilidad de construir un horno solar en el cerro Montezuma, próximo a Calama. Aunque la idea nunca se concretó, se hicieron los estudios, mediciones de radiación solar y se realizaron numerosos trabajos de colaboración.

Toda esa experiencia le permitió a Alcayaga desarrollar una amplia variedad de investigaciones pioneras, que hoy son piedra an-

gular para innumerables proyectos en materia de energía solar en el norte del país. No por nada el Laboratorio de Energía Solar de la U. Católica del Norte lleva su nombre.

Destacan sus investigaciones en radiación solar y su tentativa para conseguir un instrumento patrón en Chile para medirla. También, el desarrollo de colectores, desaladoras y una amplia gama de aparatos solares, y su investigación para incorporar la energía solar a la industria y minería. En este último ámbito fue uno de los primeros en hablar de conceptos hoy habituales en ese rubro: minería sustentable, clúster minero y encadenamiento productivo. De hecho, se desempeñó por 10 años como seremi de Minería y fue director por igual cantidad de años de la revista *Minería Global*, medio que fundó.

Trabajó codo a codo con Carlos Espinosa, quien fuera su profesor en la Universidad Católica del Norte, en el desarrollo de la energía solar desde fines de la década del 60. "Orlayer fue mi mejor colega. Se doctoró en Francia en energía solar y regresó a Antofagasta. Junto a él formamos una pléyade de estudiantes de Física dedicados nada más que a la energía solar. Con él y Ramón Muñoz fuimos los más entusiastas en desarrollar esta energía", recuerda Espinosa.

Una labor como académico que nunca abandonó y que trató de extender a la escuela, con la elaboración de un Manual de Energía Solar destinado a la Enseñanza Media y la creación de ferias escolares para que los estudiantes desarrollaran sus ideas científicas, sus innumerables cursos para capacitar a instaladores solares y construir cocinas solares junto a pobladores de la Región de Antofagasta, tarea que desempeñó hasta sus últimos años de vida. Falleció en 2015.

## RAÚL SAPIAIN, EL MAESTRO



Le tocó vivir la época de oro en el desarrollo de las energías renovables. Era la década de los 70, el precio del barril de petróleo había subido de 8 a 32 dólares y los Estados buscaban formas de abastecimiento energético que no dependieran de los combustibles fósiles. Gracias a una beca del Gobierno de Suiza, Raúl Sapiain Araya estaba especializándose en la Escuela Politécnica de Zurich-Suiza y fue partícipe del impulso que recibieron las investigaciones en Europa.

Por eso, de vuelta en Chile en 1977, no dudó: había que desarrollar aplicaciones productivas de energía solar. Espinosa y Alcayaga habían abierto el camino, pero se necesitaba que los resultados llegaran a las comunidades. Como académico de la U. del Norte en Arica (que después se fundiría con la sede de la Universidad de Chile para formar la U. de Tarapacá) se unió a físicos e ingenieros eléctricos, mecánicos e industriales. En 1983 llegó un fondo de la OEA que les permitió instalar tres sistemas fotovoltaicos muy simples en sectores apartados. Recuerda especialmente uno, que se colocó en Tacora, a 4.200 metros s.n.m.: "Era un panel de 40 watts, la batería Ah, un regulador de carga y tres luces de 12 W/15 W. Con eso se logró que la escuela y la casa del profesor tuvieran electricidad. De tener que usar vela, pasó a escuchar radio".

Aunque, como él aclara, el trabajo firme comenzó el 86, después de que volviera de otros tres años de especialización en Austria. En Europa, el uso de la energía solar se había enfocado con renovado empuje en las viviendas rurales: techos con módulos fotovoltaicos y paneles solares térmicos. Si se lograba eso en una zona donde la radiación solar no es abundante, ¿por qué no en Chile?

Gracias a una donación de la embajada del Gobierno alemán, instalaron un sistema fotovoltaico que abastecía de electricidad a la escuela y la junta de vecinos de Cosapilla, en la comuna de General Lagos: seis módulos de 50 W cada uno y cuatro baterías de 200 Ah y 12 V. Pero ya no se trataba solo de abandonar las velas y

escuchar radio. Los pobladores pudieron cambiar el hilado manual de la lana de llama y alpaca por una rueca eléctrica, aumentando su producción. Esta instalación es considerada el primer uso productivo de la energía solar en la región.

Eso sí, solo duró dos años, hasta que la máquina se echó a perder. "Nos dimos cuenta, en la práctica, de que no se podía trabajar sin la participación de la comunidad, de que los sistemas productivos no perdurarían sin capacitación", recuerda. Lo que vino después es una larga lista de proyectos innovadores, incluyendo algunos que marcaron un antes y un después. Como los sistemas de electrificación rural que se financiaron con aportes del BID, una bomba solar en la escuela de Visviri, extracción de agua de pozo para el regadío del bofedal en Chujlluta o un sistema de bombeo de agua de pozo en Codpa. Pero hay uno que para Sapiain es emblemático. "Nos preguntamos: si se puede usar una bomba solar para sacar agua para el consumo, ¿por qué no para el riego tecnificado?". En 2008, el grupo instaló el primero de este tipo, en Soga, Vitor, Codpa y Chaca con la cooperación de la GTZ alemana.

Para ese entonces, ya trabajaba como independiente. Algunos años antes, cuando surgió la posibilidad de instalar el sistema de electrificación rural, la intención era hacerlo como parte de la U. de Tarapacá, pero la Contraloría objetó que un plantel de Educación Superior actuara como empresa.

Han pasado tres décadas desde que un joven profesor volviera entusiasta de su especialización en Suiza. Tres décadas en que, calcula, ha instalado más de 600 paneles y formado generaciones de estudiantes (en 2006, la UTA cambió el plan de estudios de Ingeniería Mecánica, incorporando cinco electivos de energía solar).

Hoy sigue igual de entusiasta. Reconoce que está comenzando un fuerte interés por formar capital humano avanzado y eso lo tiene optimista. Pero, dice, no es suficiente: "También podemos, y debemos, desarrollar tecnología".



## REINHOLD SCHMIDT, EL EXPERTO

**E**s ingeniero civil eléctrico de la Universidad Técnica de Aachen y posgraduado en energías renovables en la Universidad de Ciencias Aplicadas, en Colonia, Alemania. Llegó a Chile en 1993, atraído por el trabajo que realizaba Raúl Sapiain y su grupo. Hoy, Reinhold Schmidt es un referente en energía solar fotovoltaica en nuestro país.

Fue docente del Centro de Energías Renovables de la Universidad de Tarapacá. Desde ahí, no solo instaló diversos sistemas fotovoltaicos y solares de bombeo de agua para riego, sino que innovó en los modelos, debido a su estudio permanente de las tecnologías, los costos y las experiencias asociadas.

Ya acumula más de 20 años de experiencia en planificación, diseño, capacitación y evaluación de proyectos, lo que le permite ser consultor de GIZ (Agencia de Cooperación del Gobierno alemán para el Desarrollo Sostenible) y del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Entre sus logros: haber diseñado e instalado una serie de sistemas de bombeo fotovoltaico en el norte, los primeros sistemas fotovoltaicos con conexión a red y haber evaluado las experiencias de riego fotovoltaico en Jordania, Etiopía, Brasil y Chile.

Zonas de Putre, Camarones, General Lagos y Arica (Azapa) tienen sistemas solares instalados y diseñados por Schmidt (fotovoltaicos, colectores solares, sistemas de bombeo de agua), quien, en su centro ubicado en la sede de la Asociación de Agricultores de San Miguel de Azapa, desarrolló un proyecto piloto de deshidratado solar, para secar frutas y otro tipo de productos agrícolas. De hecho, una de sus metas es que la tecnología solar comience a ser utilizada ampliamente en el país.



## EDUARDO GÁLVEZ, EL DISCÍPULO

**L**as energías renovables, especialmente la solar, son el centro de su trabajo desde hace más de 25 años. Diversas aplicaciones domésticas y productivas de la Región de Arica y Parinacota tienen su sello. Y no solo en lo técnico, sino también en lo social: el foco de su investigación es resolver la problemática energética de las comunidades rurales. “Y sin olvidar sus raíces ancestrales”, recalca.

Eduardo Gálvez egresó de la Universidad de Tarapacá (UTA) en 1991, donde trabajó con Raúl Sapiain, considerado “el padre” de la energía solar en esta región, y con el experto alemán Reinhold Schmidt. Por eso, su camino ya estaba definido cuando ingresó al doctorado en Ingeniería Mecánica, en la Universidad Técnica Federico Santa María. Ahí se especializó en energías renovables y su primer trabajo fue con comunidades rurales de zonas aisladas analizando el impacto del uso de sistemas fotovoltaicos. Luego, en su tesis –que inició con la pasantía de un año en el Solar Institut Juelich, en Alemania– desarrolló una simulación computacional de un sistema de desalación solar. “Mi primer proyecto fue diseñar, construir y probar dos nuevos sistemas de producción de agua dulce”, cuenta.

Uno de esos nuevos modelos de desalador solar fue hecho para satisfacer las necesidades de agua de comunidades de pescadores artesanales aisladas en el norte de Chile. Era compacto, modular, de bajo costo, de mantención sencilla y de alta eficiencia. Desde entonces, ha creado aplicaciones cercanas a la gente, mejorando su calidad de vida y reforzando sus emprendimientos: secadores solares; cocinas solares de bajo costo y alto rendimiento; diseño de muros Trombe (que aprovechan radiación solar) para la calefacción y ventilación de casas; calefacción solar en lugares aislados, que incorporan radiadores y pisos radiantes.



## BERNARDO BARRAZA, EL INNOVADOR

**T**enía 11 años cuando su familia dejó Santiago para radicarse en Arica. Desde entonces, Bernardo Barraza ha hecho gran parte de su vida profesional en el norte del país. Se tituló de ingeniero civil electrónico en la Universidad Católica del Norte (UCN), donde se vinculó tempranamente con la energía solar. Lleva 45 años como docente. Primero en la UCN (1972-1981) y luego en la U. de Tarapacá, donde ha formado capital humano experto en energía solar. Desde este plantel, también, ha creado una amplia gama de aplicaciones solares para la región. “En 1995 comenzamos a trabajar en una serie de instalaciones fotovoltaicas al interior de toda la región. Yo y mis alumnos, desde la Escuela de Ingeniería Electrónica, y Raúl Sapiain, desde la Escuela de Ingeniería Mecánica”, relata.

Pero fue en 2007, cuando Barraza y su equipo de la UTA tuvieron la oportunidad de desarrollar, gracias a un Innova Corfo, tres innovadores prototipos solares que marcarían un hito en la región y que fueron instalados con apoyo del Ministerio de Obras Públicas: un semáforo solar, único de su tipo en Chile hasta hoy, que funciona incluso cuando se corta la luz y no representa ningún gasto para el municipio. “Hay dos instalados en Arica”, cuenta. El segundo incluye una serie de letreros luminosos solares camineros, que entregan información vial a los automovilistas y se ubican en la Ruta 5 y la Ruta 11-CH, que une Arica con Putre, los poblados altiplánicos y Bolivia.

Y el tercero, las pioneras luminarias solares con luces led, altamente eficientes: mientras que una luminaria solar con ampollitas tradicionales gasta 200 watts, con leds baja a 20 watts. “Instalamos unas 400 en Arica, Parinacota y Tarapacá, que en ese tiempo eran una sola región”, recuerda.



## LORENA CORNEJO, LA ESPECIALISTA

**L**orena Cornejo es especialista en procesos solares de descontaminación y desinfección de aguas naturales, con un doctorado en Ciencias y postdoctorado en Medio Ambiente de la Universidade Estadual de Campinas (USP), Brasil. Luego de una década formándose y ejerciendo actividades académicas en la USP, en el año 2000 regresa a la Universidad de Tarapacá, ahora como académica e investigadora. Tiene más de 20 años de experiencia en investigación científica básica y aplicada y más de 100 publicaciones científicas. En reconocimiento a su trabajo en redes de colaboración con grupos de investigación a nivel nacional e internacional, ha sido galardonada en dos oportunidades con el premio MERCOSUR de Ciencia y Tecnología (2006 y 2011) en la categoría Integración.

También ha trabajado por las comunidades rurales de la Región de Arica y Parinacota, coordinando más de 40 proyectos, dirigidos a potenciar, principalmente, la comuna de Camarones. En esta zona las aguas naturales presentan elevadas concentraciones de arsénico, una problemática de larga data para sus pobladores. “No había conciencia del riesgo a largo plazo. Tuvimos que hacer talleres de capacitación y educación para niños en temáticas ambientales. En el caso de los adultos, estas actividades incluyeron la revisión de evidencias de la acumulación de arsénico en el cuerpo, como exámenes de orina y pelo que realizamos a unas 50 personas”, cuenta. Recién a partir del año 2006, los pobladores de la comuna de Camarones están consumiendo el agua potable que la municipalidad les entrega en camiones aljibe. Hoy se sigue apoyando a estas comunidades mediante el desarrollo e instalación de prototipos solares para el tratamiento solar de agua, tanto a nivel domiciliario como piloto, a través de diferentes fuentes de financiamiento público y privado, como proyectos FIC regionales y el proyecto Ayllu Solar (cultivo de camarones y truchas).

# 04 /

## EL SALTO AL DESARROLLO SOSTENIBLE

*Hoy, más de un centenar de proyectos se levantan en los más diversos rubros económicos: turismo, agricultura, iluminación de escuelas y postas rurales, grandes plantas de energía fotovoltaica, hosterías, aeropuertos, pasos fronterizos, centros de investigación, luminarias y edificio públicos. Los esfuerzos se han multiplicado, marcando la ruta que puede llevar a Arica y Parinacota al desarrollo sostenible. Y, de paso, convertir a la zona en exportadora de energía limpia para el país y el mundo.*

EL ÁGUILA 1, LA PRIMERA PLANTA SOLAR EN CHILE CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA



## ¿Y SI FUÉSEMOS AUTOSUFICIENTES?

El ejercicio que hace el último reporte del Nodo Arica Solar es interesante: Arica y Parinacota tiene 247.129 habitantes, lo que significa 61.782 hogares estimados sobre el supuesto de cuatro personas por vivienda. Los datos muestran que el 42 % de los 304 GWh de energía eléctrica que consume la región anualmente corresponde a clientes residenciales, lo que se traduce en un consumo promedio diario de 6 kWh por hogar. ¿Podría el Sol satisfacer esta demanda energética?

Definitivamente, sí. En una zona donde el promedio diario de radiación solar puede llegar a 7,15 kWh por metro cuadrado y se registran más de 300 días despejados al año, bastaría que cada vivienda contara con una instalación fotovoltaica de 1 kW y un sistema solar térmico de 1,4 kW para que su población, prácticamente, se autoabastezca de electricidad y gas. Estamos hablando de una capacidad instalada domiciliaria no menor, de 62 MW, en total. Pero no suena nada de descabellado si se considera que las estimaciones sobre el potencial disponible en la región hablan de 42.958 MW. Cifra que, incluso, puede convertir a Arica y Parinacota en exportadora de energía eléctrica al resto de Chile y a Sudamérica.

Estimaciones de Chilean Solar Energy Research Center (SERC Chile) señalan que la región podría abastecer el 30 % de la demanda energética del continente sudamericano al 2033, lo que implicaría un desarrollo local sin precedentes de la mano de una industria que va en alza en el planeta. A modo de ejemplo: 7,7 millones de personas en el mundo trabajaban en la habilitación de energías renovables en 2015, cifra que aumentó a 11 millones al año 2018, y donde la tecnología fotovoltaica encabeza la lista.

De paso, aliviaría la situación del país y su alta dependencia de los mercados internacionales. Según indicadores del CIA World Factbook, Chile es uno de los mayores consumidores de energía

eléctrica dentro de la región, con un consumo anual per cápita de alrededor de 4.085 kWh (2018), debido a la creciente industrialización y, especialmente, por el desarrollo de la minería. En contraste, países como Brasil, probablemente el mercado más grande de Latinoamérica, solo alcanzan cifras de consumo de 2.438 kWh per cápita. Para satisfacer estas elevadas demandas energéticas, el país importa más del 60 % de su energía primaria.

Es cierto que los últimos cinco años han sido especialmente importantes en la habilitación de energías renovables no convencionales en el país, especialmente la solar. En 2012, de toda la capacidad energética instalada, solo 1 MW (algo así como mil estufas prendidas) provenía del Sol; en 2020, el país alcanzó los 2.700 MW que son de origen solar fotovoltaico y hay otros 1.400 MW en construcción.

“Chile ha tenido una expansión significativa en el uso de la energía solar, más rápido que cualquier otro país en el planeta”, dijo el ex candidato presidencial estadounidense y autor del documental *Una verdad incómoda*, Al Gore, durante la presentación de una segunda parte del documental en agosto de 2017, colocando a Chile como “un ejemplo que debería inspirar al mundo”.

Datos oficiales indican que a nivel nacional existen 3.500 empresas dedicadas al mercado de la energía solar de mediana y pequeña escala. Es decir, instalaciones residenciales o comerciales.

La paradoja es que la región con mayores niveles de radiación solar, como Arica y Parinacota, no solo es deficitaria en términos de generación de energía eléctrica, ya que gran parte de la energía que consume llega desde regiones vecinas a partir de centrales que funcionan a carbón o diésel, sino también en empresas especializadas en la instalación de soluciones solares y la mantención de los equipos. Ni hablar de fabricación de paneles, colectores o accesorios, que es prácticamente nula en todo el país. La mayoría de los equipos son importados y traídos desde la

zona central para cada proyecto, habiendo escaso *stock* de estos productos en la región.

Los desafíos son grandes. Pero el camino ya está abierto. Un catastro realizado por SERC Chile estableció que la región ya cuenta con más de 200 instalaciones para la generación de energía solar, de diversa índole y tamaño. Destacan El Águila 1 y Pampa Camarones entre los megaproyectos. A mediana y pequeña escala, arreglos fotovoltaicos o colectores térmicos que han mejorado la calidad de vida en localidades aisladas, entregando luz y agua caliente a escuelas, servicios públicos o pequeños poblados. También, optimizado los sistemas productivos de comunidades fundamentalmente agrícolas y ganaderas, sectores que sustentan la actividad económica de la región: los últimos datos indican que hay más de 200 mil hectáreas de cultivos de frutas y hortalizas, y más de 13 mil cabezas de ganado, incluyendo ovejas, llamas, alpacas, cerdos, cabras y vacas.

En todos los casos, eso sí, persiste la necesidad de generar servicios de mantención para que estas soluciones tengan la vida útil para las que fueron diseñadas.

En ese contexto, los roles que asumieron SERC Chile y la Universidad de Tarapacá prometen ser cruciales en la formación de capital humano experto. También tendrán ahí un papel relevante las empresas que comercializan soluciones de energía solar en la región. De las 10 existentes, solo cinco han logrado un nivel de formalización y experiencia que les entregan solidez. Por el momento, en las iniciativas de pequeña y mediana escala, Arica y Parinacota puede crecer y potenciarse. Para las de mayor escala, faltan ajustes urgentes en las líneas de transmisión eléctrica.

Ya hay muchos actores trabajando para que la ambiciosa proyección al 2033 y el potencial solar energético concreto y medido se conviertan en una realidad y que la XV Región sea “la” fuente de energía limpia de Chile y del continente.

*Se estima que el potencial disponible de energía solar en la región alcanza a 42.958 MW. Cifra que puede convertir a Arica y Parinacota en exportadora de energía eléctrica al resto de Chile y a Sudamérica.*

## LOS ESFUERZOS SE MULTIPLICAN

Durante 2020, los profesionales de SERC Chile evaluaron el estado del desarrollo de la energía solar en Arica y Parinacota. Buscaban conocer los proyectos existentes y saber si la energía solar había permeado entre sus habitantes. Lo que descubrieron ratifica la riqueza solar de la región: el catastro realizado por SERC Chile muestra 207 proyectos, de diferentes tamaños, tipos de aplicación y usos.

### ELECTRIFICACIÓN RURAL: ILUMINANDO ESCUELAS Y POSTAS



ESCUELA G-55 DEL VALLE DE CHACA: HOY USAN INTERNET Y PIZARRAS ELECTRÓNICAS.

**E**l valle de Chaca se ubica 45 km al sur de Arica y se llega a ahí en solo 30 minutos por la Ruta 5 Norte. Pese a eso, no tiene luz eléctrica. Una realidad que impactaba directamente a la Escuela G-55, que atiende a 27 alumnos, de primero a sexto básico, y a cargo de un solo profesor. "Teníamos que usar un antiguo generador diésel, de pequeña potencia, que nos permitía tener luz eléctrica durante dos horas a la semana", cuenta Hugo Cerda, director del establecimiento desde hace 13 años. Pero en 2010, un proyecto del Ministerio de Energía cambió la vida de esta escuela rural y de otras nueve de las comunas de Arica, General Lagos, Putre y Camarones, con una inversión global de \$ 261 millones.

La Escuela del Valle de Chaca fue el proyecto piloto: un sistema fotovoltaico de 4,2 kW de potencia que permite a sus alumnos contar con luz eléctrica las 24 horas del día y que hoy es parte de las 22 instalaciones de electrificación rural que existen en la región.

Según el catastro realizado por los profesionales de Ayllu Solar, estos sistemas suman una capacidad de más de 30 kW y su impacto supera a las 600 personas, repartidas en diferentes poblados, mayoritariamente, de las comunas de Putre y General Lagos.

Se trata de localidades aisladas, como las 11 casas de Trigo Pampa que, al igual que el poblado del valle de Chaca, solo tenían un sistema de generación diésel de dos horas al día. O el proyecto del Ministerio de Energía, que incluyó a la posta de Alcérreca y las escuelas de Alcérreca, Ancolacane, Humapalca, Chislluma, Cobjia, Illapata, Esquiña, Parcohaylla y Caquena.

El profesor Cerda recuerda que Entel

había instalado una antena para telefonía y un sistema satelital para acceder a internet, herramientas que eran imposibles de aprovechar. "Con los paneles solares, hoy los niños ven televisión en la escuela, películas, tenemos pizarras electrónicas y usamos 30 notebooks para las actividades escolares", dice Cerda. Paralelamente al sistema fotovoltaico, se instalaron dos colectores solares que le permiten contar con agua caliente en las duchas y entregar la posibilidad a los niños de bañarse diariamente en la escuela. Algo no menor, cuando las temperaturas mínimas en invierno pueden llegar bajo los 6 grados.

Claro que el impacto en el uso de esta tecnología también alcanzó al resto de la comunidad. De hecho, es el único lugar del valle que cuenta con luz eléctrica todo el día: "Cuando necesitan hacer reuniones y presentaciones, nosotros les prestamos el colegio para las actividades", dice el director de la Escuela de Chaca, que en 2016 fue distinguida por excelencia académica. "Nos sentimos pioneros en la región en el uso de energías renovables. Somos el ejemplo de que la energía solar funciona y que es una solución real para zonas rurales".

*Son 22 proyectos de energía solar térmica y fotovoltaica.*

*Más de 600 personas es la población total impactada.*



1	PV ESCUELA DE CHISLLUMA
2	PV ESCUELA DE HUMAPALCA
3	PV ESCUELA DE ANCOLACANE
4	PV ESCUELA G-114 COSAPILLA
5	PV POSTA DE SALUD RURAL DE ALCÉRRECA
6	PV ESCUELA DE ALCÉRRECA
7	PV ESCUELA G-116 CHUJLLUTA
8	PV ESCUELA DE CAQUENA
9	PV ESCUELA COTACOTANI G-41 PARINACOTA
10	PV DE USO COMUNITARIO PARA EL POBLADO DE TRIGO PAMPA
11	PV Y CST POSTA RURAL DE BELÉN
12	PV ESCUELA BÁSICA LOCALIDAD DE CAMARONES
13	PV ESCUELA CHITITA
14	PV ESCUELA COBIJA
15	PV ESCUELA DE ILLAPATA
16	PV ESCUELA DE PARCOHAYLLA
17	PV ESCUELA VALLE DE CHACA
18	DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA COMUNIDAD DE CHITITA
19	PV ESCUELA DE ESQUIÑA
20	PV POSTA RURAL CODPA
21	PV POSTA RURAL DE VÍSVIRI
22	PV Y CST EN INTERNADO LICEO TÉCNICO DE CODPA

\*PV: FOTOVOLTAICO / CST: COLECTOR SOLAR TÉRMICO

# AGRICULTURA: BOMBEO SOLAR Y SISTEMAS DE RIEGO

**C**ada 21 de junio celebran el retorno del Sol, en el Machaq Mara o Año Nuevo. Y en agosto participan del carnaval para honrar a la Pachamama o Madre Tierra y celebrar las lluvias que traerán buenas cosechas. La Asociación Indígena Los Lagos mantiene las tradiciones aimaras ancestrales, consciente de que tierra, sol y agua son parte esencial del ciclo de la vida y de su actividad económica, como pequeños agricultores de tomates, porotos verdes, choclos, pimentones y zapallos italianos en el valle de Azapa.

Por eso, no les extraña que desde la misma naturaleza hayan surgido las nuevas soluciones a sus emprendimientos. "El Tata Inti (Sol) es parte de nuestra cultura y ahora nos ilumina en esta tecnología", dice Mario Poma, presidente de la asociación indígena. El agricultor aimara se refiere a la planta fotovoltaica de 60 paneles solares que instalaron en su comunidad, con 15 kW de potencia, que entregan la energía a un sistema de bombeo de agua para el riego de 36 hectáreas de terrenos cultivables en los cerros del valle.

La planta, además, tiene un sistema ongrid que permite inyectar energía a la red eléctrica cuando genera más de la que usa. "Nosotros estamos ubicados en el kilómetro 24 del valle de Azapa, pero sobre una meseta, a 160 metros sobre el nivel del valle, por lo que gastába-

mos mucha energía eléctrica en bombear agua hacia arriba. La planta solar nos permite ahorrar 30 % de esos costos y podemos tener precios más competitivos para nuestros productos. Ahora, nuestro sueño es que la energía solar cubra el 100 % de nuestras necesidades energéticas y estamos trabajando para que eso se haga realidad", dice Poma.

Este sistema de bombeo beneficia a 39 familias integrantes de la asociación indígena y fue construido con financiamiento de la Comisión Nacional de Riego. Un proyecto pionero en Arica y Parinacota, al que hoy se suman otros 95, repartidos entre las cuatro comunas de la región. Como Alto Azapa: una planta de 256 paneles solares, con potencia de 50 kW, que entrega energía para el riego de 20 hectáreas explotadas por los 41 comuneros de la Asociación Indígena Aimara Alto Azapa. O Pampa Concordia, sistema fotovoltaico de 12 paneles de 250 W cada uno y baterías de respaldo, que alimenta una bomba de extracción de agua para el riego y que permite ahorrar \$200 por cada metro cúbico de agua. Destaca también la torre de agua para riego desde la altura en el valle de Azapa: un estanque abastecido por el bombeo de agua de pozo, gracias a la energía que proveen seis paneles solares de 180 W.



SISTEMA DE BOMBEO SOLAR LOS LAGOS: 60 PANELES Y 15 KW DE POTENCIA ENTREGAN ENERGÍA PARA REGAR 36 HECTÁREAS DE TERRENO CULTIVABLE EN LOS CERROS DEL VALLE DE AZAPA.

245 kW de potencia generan las 96 plantas de bombeo solar en la región.

1	PV PARA BOMBEO DE AGUA EN PAMPA CONCORDIA	16	PV PARA BOMBEO DE AGUA COPAQUILLA
2	PV PARA BOMBEO PAMPA CONCORDIA	17	PV PARA BOMBEO DE AGUA SAXAMAR INDAP
3	PV PARA BOMBEO DE AGUA LLUTA INDAP (12 PROYECTOS)	18	PV PARA BOMBEO DE AGUA TIMAR INDAP (2 PROYECTOS)
4	TRATAMIENTO DE AGUA PARA PRODUCCIÓN DE FRUTOS, LLUTA	19	PV PARA BOMBEO DE AGUA CODPA INDAP (2 PROYECTOS)
5	PV PARA BOMBEO Y RIEGO POR GOTEO VALLE DE AZAPA	20	PV PARA BOMBEO DE AGUA SECTOR SANTA ROSA-LLUTA
6	PV PARA BOMBEO ALTO AZAPA	21	PV PARA CABEZAL DE RIEGO VALLE DE CHACA
7	PV PARA BOMBEO DE AGUA AZAPA INDAP (19 PROYECTOS)	22	PV PARA RIEGO INTRAPREDIAL EN PARCELA-VALLE DE LLUTA
8	TORRE DE AGUA PARA RIEGO DESDE LAS ALTURAS	23	PV PARA BOMBEO DE AGUA PAMPA CONCORDIA
9	PV PARA BOMBEO SOLAR EN AGRICULTURA INIA. VALLE DE AZAPA	24	PV PARA BOMBEO DE AGUA INTRAPREDIAL AZAPA (2 PROYECTOS)
10	PV PARA BOMBEO DE AGUA VITOR INDAP (3 PROYECTOS)	25	PV PARA BOMBEO DE AGUA CALETA VÍTOR (9 PROYECTOS)
11	PV PARA BOMBEO DE AGUA CHACA INDAP (4 PROYECTOS)	26	PV PARA BOMBEO DE AGUA LLUTA (4 PROYECTOS)
12	PV PARA BOMBEO SOLAR AGRÍCOLA CORNEJO	27	PV CON CONEXIÓN A RED Y ACUMULACIÓN VALLE DE AZAPA
13	PV PARA BOMBEO SOLAR COMUNIDAD DE LOS LAGOS	28	PV PARA BOMBEO DE AGUA VALLE DE AZAPA
14	PV PARA BOMBEO DE AGUA PARINACOTA INDAP	29	PV PARA BOMBEO DE AGUA PAMPA CONCORDIA (20 PROYECTOS)
15	PV PARA BOMBEO DE AGUA SOCOROMA INDAP		

\*PV: FOTOVOLTAICO



# CONSTRUCCIÓN: AGUA CALIENTE Y HORNOS SOLARES

**F**rente a la playa Chinchorro, el ícono costero de Arica y Parinacota, se levanta el proyecto inmobiliario Brisas del Pacífico. En 2012, este condominio de 308 departamentos marcó un hito en la región al convertirse en los primeros beneficiados con la Ley 20.365. Esta normativa permite a las empresas constructoras la instalación de colectores solares para calentamiento de agua sanitaria en conjuntos habitacionales nuevos, entregándoles un subsidio de hasta el 100 %, vía franquicia tributaria. Colectores solares térmicos sobresalen de las azoteas de estas viviendas eficientes, generando una disminución de hasta 80 % en el consumo de gas de sus habitantes.

Los sistemas de generación de agua caliente con energía solar son una tecnología

que despierta cada día más interés en la región. Nuevos condominios se han sumado a la lista, como el proyecto inmobiliario Zapahuiria o Portal del Sol. Y también, la reinstalación de la población Guañacagua III, conocida en la zona por vivir durante 17 años en las llamadas "casas quebradas": viviendas con daños estructurales ocasionados por el suelo salino del lugar donde estaban emplazadas, lo que se agravó con el terremoto de abril de 2014.

El conjunto habitacional Guañacagua III incluye espacios comunes para el esparcimiento de las familias, como una sede social, multicancha y áreas verdes, y sus 473 viviendas tienen un Sistema Solar Térmico (SST) compuesto por termosifón de placa y un calefón solar de tiro balanceado de 10 litros. También son un proyecto pionero: es el primer conjunto habitacional a nivel nacional de la categoría "nuevos terrenos" que cuenta con todos los sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria instalados. Para eso, el Ministerio de Energía hizo un aporte de UF 28.380, lo que se traduce en un subsidio de 60 UF por vivienda.

A menor escala, esta tecnología es usada en termos y cocinas solares, la mayoría de estos en servicios públicos o centros educacionales.

*Hasta 80 % de ahorro en el consumo de gas. Ese es el beneficio para una vivienda que usa colectores solares para calentar agua.*

*Más de 2.300 personas se han visto beneficiadas con estos 22 proyectos en la región.*



LAS FAMILIAS DE LA POBLACIÓN GUAÑACAGUA III VIVIERON DURANTE 17 AÑOS EN LAS LLAMADAS "CASAS QUEBRADAS", DEBIDO A LOS DAÑOS ESTRUCTURALES OCASIONADOS POR EL SUELO SALINO. EL CONJUNTO HABITACIONAL CONSTRUIDO PARA SU REINSTALACIÓN CUENTA CON UN COMPLETO SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA AGUA CALIENTE SANITARIA.

1	CST EDIFICIOS CONSTRUCTORA (ARICA)
2	CST EN INSTITUTO COMERCIAL DE ARICA
3	CST EN CENTRO DE CAPACITACIÓN LABORAL REPÚBLICA DE BÉLGICA
4	CST RELOCALIZACIÓN DE CONJUNTO HABITACIONAL GUAÑACAGUA 3, ARICA
5	CST EN ESCUELA G-20 PONCONCHILE
6	CST ESCUELA G-28 REPÚBLICA DE ESPAÑA
7	CST ESCUELA G-31 PAMPA ALGODONAL
8	CST ESCUELA DE MOLINOS
9	CST LICEO AGRÍCOLA JOSÉ ABELARDO NÚÑEZ
10	TERMOS SOLARES COMUNIDAD INDÍGENA DE PUTRE
11	COLECTORES SOLARES EN COMUNA DE PUTRE
12	CST ESCUELA INTERNADO VISVIRI
13	AUTOCONSTRUCCIÓN HORNOS SOLARES ADULTOS MAYORES DE TIMAR
14	CST INTERNADO LICEO TÉCNICO DE CODPA
15	SECADORES SOLARES DE CODPA
16	DUCHAS SOLARES VALLE DE CODPA
17	TERMOS SOLARES GUAÑACAGUA
18	COCINAS SOLARES ESQUIÑA
19	PV INSTALACIÓN RESIDENCIAL AZAPA (2 PROYECTOS)
20	PV INSTALACIÓN RESIDENCIAL PAMPA CONCORDIA (2 PROYECTOS)

\*PV: FOTOVOLTAICO / CST: COLECTOR SOLAR TÉRMICO

# PLANTAS FOTOVOLTAICAS: DESDE PASOS FRONTERIZOS A GRANDES INSTALACIONES

**S**on proyectos de diversa envergadura. Desde pequeñas plantas para abastecer de electricidad a servicios públicos, como la aduana y la estación meteorológica de Visviri (General Lagos), hasta grandes generadoras que están marcando un antes y un después en el desarrollo de la energía fotovoltaica en el país.

En agosto de 2013, por ejemplo, la principal generadora eléctrica del Norte Grande, Engie Energía Chile (en ese entonces, E-CL), marcó un hito en la historia de la energía solar: puso en marcha El Águila 1, la primera planta fotovoltaica conectada a la red eléctrica, en este caso, al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING). Ubicada a 60 km de Arica, su construcción fue posible gracias a un contrato de suministro eléctrico de largo plazo firmado por E-CL y Quiborax, tercera productora del mundo de ácido bórico que, a través de El Águila 1, tiene energía limpia y cubre un 30 % de sus requerimientos energéticos.



PLANTA FOTOVOLTAICA EN RETÉN DE CARABINEROS DE CORONEL ALCÉRRECA, LOCALIDAD FRONTERIZA EN LA COMUNA DE GENERAL LAGOS.

Son 7.700 módulos fotovoltaicos que significan una potencia instalada de 2 MW, equivalentes al 4,5 % de la potencia requerida por la ciudad de Arica o al abastecimiento necesario para 2.300 familias. "Para la época en la que se gestó y concretó el proyecto, cuando casi nadie se arriesgaba con las energías renovables como la solar, nosotros asumimos el desafío gracias al apoyo de nuestro cliente Quiborax y construimos la primera planta que se conectó a un sistema eléctrico en Chile; sin lugar a dudas, un hito que marca la génesis del desarrollo de energías limpias para nuestro país", dice Ricardo Peters, subgerente de centrales de Engie Energía Chile. Además de la energía que recibe Quiborax para su funcionamiento, el proyecto entrega energía a la ciudad de Arica, que actualmente cuenta con una población de más de 210 mil habitantes. Y no en cantidades menores: según explica Peters, la planta tiene una generación anual promedio de 4,3 GW/h.

Pero si El Águila 1 fue un hito, Pampa Camarones no lo hace nada de mal. Ubicada a 70 kilómetros al sur de Arica, esta planta tiene una potencia de 6 MW, equivalentes al consumo de cerca de 7 mil viviendas, cuya energía se inyecta desde el 9 de septiembre de 2016 al Sistema Interconectado del Norte Grande. Es la primera fase de un proyecto con sistema seguidor: 24 mil paneles instalados en una superficie de 25 hectáreas, que cambian de posición a la par con los rayos solares.

*Son 26 proyectos de diversa envergadura, incluyendo edificios públicos, servicios y grandes generadoras.*

*2 MW de potencia instalada tiene la planta El Águila 1, lo que equivale a la energía que necesitan 2.300 casas.*



1	PLANTA FOTOVOLTAICA ADUANA VISVIRI
2	PV ESTACIÓN METEOROLÓGICA VISVIRI
3	PLANTA FOTOVOLTAICA SAG, COMPLEJO FRONTERIZO VISVIRI
4	PLANTA FOTOVOLTAICA ANTENA ENTEL VISVIRI
5	PLANTA FOTOVOLTAICA RETÉN DE CARABINEROS LOCALIDAD DE CORONEL ALCÉRRECA
6	PLANTA FOTOVOLTAICA CHACALLUTA (AEROPUERTO)
7	PLANTA PV TRIBUNAL ORAL DE ARICA
8	PLANTA PV CORTE DE APELACIONES DE ARICA
9	PLANTA PV CON CONEXIÓN A LA RED - CST, EN BARRIO AGTIMA DE ARICA
10	PLANTA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EMPRESA NEUMATRIX
11	PV CENTRO DE PRODUCCIÓN DE INSECTOS ESTÉRILES, SAG
12	PLANTAS EXPERIMENTALES INNOVA-CORFO-EMELARI
13	PLANTA FOTOVOLTAICA EL ÁGUILA 1
14	PLANTA PAMPA CAMARONES
15	PLANTA FOTOVOLTAICA LOCALIDAD DE ESQUIÑA
16	ESTACIÓN RADIOMÉTRICA VELÁSQUEZ
17	ACELERÓGRAFO UBICADO EN EL GOBIERNO REGIONAL DE ARICA Y PARINACOTA
18	PV AZAPA
19	PV CONSERVADOR DE ARICA
20	PV TERMINAL PUERTO ARICA
21	PARQUE SOLAR AZAPA

\*PV: FOTOVOLTAICO / CST: COLECTOR SOLAR TÉRMICO

## TURISMO: ALBERGUES, HOSTERÍAS Y PARQUES NACIONALES

**A** 145 km de Arica se encuentra Putre: un pueblo de poco más de 1.200 habitantes, que se caracteriza por sus terrazas de cultivo, sus calles empedradas y su iglesia del siglo XVII. Es paso obligado de los turistas, especialmente europeos, que recorren la región y que ocupan esta localidad de la provincia de Parinacota como base de operaciones para conocer el Parque Nacional Lauca, el lago Chungará, el salar de Surire e, incluso, para ir a Bolivia.

En las afueras del pueblo se emplaza el Hotel Qantati, que cuenta con 10 piezas idénticas y capacidad para 20 personas. En pleno Altiplano, a 3.500 metros sobre el nivel del mar y con temperaturas que bajan de los cero grados Celsius en la noche, este recinto entrega a sus visitantes habitaciones con agua caliente y calefacción central. De allí que la caldera sea el corazón del hotel. Nutre a todas las instalaciones: "Para hacerla funcionar usábamos gas a granel. Dos estanques. Pero siempre te-

nemos problemas de reparto, ya que la empresa que nos provee sube a Putre solo una vez al mes, lo que sirve para temporada baja, pero en temporada alta se hace escaso", cuenta Carmen Blanco, administradora del Qantati. Por eso, hace cinco años decidieron instalar un sistema termosolar que consta de dos paneles fotovoltaicos de 2,18 metros cuadrados, dos termos colectores de aproximadamente 1.000 litros y tres expansores de aire, que se conectan a la caldera con gas licuado, en caso de que la temperatura no sea suficiente.

En efecto, las instalaciones de energía solar son aún marginales en el turismo regional. Solo ocho proyectos, que incluyen cuatro hospedajes en las cercanías de Codpa, en la comuna de Camarones; un albergue ecológico en Putre; el refugio de la Conaf dentro del Parque Nacional Lauca y, por supuesto, la iglesia de Socoroma, localidad ubicada a 30 kilómetros de Putre y a 3 mil metros sobre el nivel del mar. Fue construida sobre una plataforma artificial en 1560 y desde ahí se obtiene una impresionante vista hacia los cultivos en terrazas que bajan hasta el fondo de la quebrada. En una de las esquinas del recinto, un panel solar la abastece de electricidad, aprovechando lo que sobra en esta zona: la radiación solar, que en Putre llega a 2.395 kWh/m<sup>2</sup> en el año.

Pero la aún tímida presencia de la energía solar en esta actividad económica comienza a dar sus frutos: "Pequeño hotel ubicado a 3.500 metros de altura, pero puedes pedir té de coca. Las noches son frías, pero sus habitaciones cálidas", dice en TripAdvisor un turista neozelandés. Mientras que un italiano agrega: "Inesperado en una ciudad como Putre".



1	SISTEMA TERMOSOLAR HOTEL QANTATI
2	SISTEMA FOTOVOLTAICO GUARDERÍA LAS CUEVAS, CONAF, COMUNA DE PUTRE
3	ALBERGUE ECOLÓGICO EN PUTRE
4	SISTEMA PV IGLESIA SOCOROMA
5	SISTEMA FOTOVOLTAICO Y CST HOSPEDAJE SAMJKANJAMA
6	PV Y CST EN CODPA VALLEY (HOSTERÍA)
7	PV Y CST HOSPEDAJE VILA VILA
8	SISTEMA FOTOVOLTAICO Y CST HOSPEDAJE OFRAGIA

\*PV: FOTOVOLTAICO / CST: COLECTOR SOLAR TÉRMICO



IGLESIA DE SOCOROMA: SE CONSTRUYÓ A MEDIADOS DEL SIGLO XVI Y SE RESTAURÓ EN 2013. UN PANEL FOTOVOLTAICO, UBICADO EN UNA ESQUINA DEL RECINTO, LA ABASTECE DE ELECTRICIDAD.

*El uso de la energía solar en esta actividad económica es aún incipiente en la región. Pero ocho proyectos están mostrando su potencial.*

## LUMINARIAS PÚBLICAS: EL SOL SOBRE LAS RUTAS NOCTURNAS

Iluminar espacios públicos donde es difícil la instalación de un tendido eléctrico convencional, debido a las condiciones geográficas. Esa era la misión que se autoimpuso la Universidad de Tarapacá. Un proyecto Innova Corfo le permitió concretarla: diseñaron y desarrollaron semáforos, letreros y luminarias solares que, luego, con financiamiento del Ministerio de Obras Públicas se instalaron en toda la región.

Una de las primeras zonas beneficiadas fue la Ruta 11-CH que une las localidades de Putre y Socoroma, así como las cercanías del lago Chungará. Todas zonas vinculadas a poblados aislados de la urbe, pero con alto flujo turístico por las bellezas naturales que existen en su entorno.

Allí la Universidad de Tarapacá instaló 20 luminarias solares, distribuidas de la siguiente manera: tres en el acceso a Socoroma, tres en el Mirador de Putre, cinco en el Acceso a Putre, tres en el sector de

Las Cuevas, tres en el acceso a Parinacota y tres más en el refugio CONAF de lago Chungará.

No se trataba de cualquier solución. Un equipo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica del plantel, liderado por el académico Bernardo Barraza, desarrolló un dispositivo de última generación. Este incluye un poste que sostiene una placa solar, que carga una batería de alto rendimiento de 12 volts y que alimenta leds que se encienden automáticamente en la noche. Los leds iluminan más que una ampolla y generan 75 % de ahorro energético.

La obra fue solo el puntapié de un plan de luminarias solares para la región. En 2009 se instalaron otras 38 luminarias más en la zona de la Ruta 5, específicamente en el Cruce de Codpa, y más de 400 en toda Arica y Parinacota, así como en la Región de Tarapacá.

Faustina Carrasco Guarache, vendedora de mermeladas caseras del poblado de Socoroma, entrevistada por el MOP, dijo que las 70 personas que viven en ese pequeño poblado transitan constantemente por la ruta para ir a las plantaciones donde trabajan: "Al principio, los pobladores pensaban que la luz era de un camión que se estacionaba de noche. Estas luminarias nos han brindado mayor seguridad. Nos han cambiado la vida".

Algo similar a lo que se vive hoy en Cuya, localidad ubicada en la ribera sur del río Camarones: su calle principal cuenta con 16 postes, mientras que las calles secundarias con 12 postes, la plaza con seis postes, 22 postes en el puente Camarones y otros siete en el acceso a la caleta. O en Chuga, Lauca Cruzani, Japu, Puyapuyane, Collpa y Laytuma, donde el alumbrado público que se abastece de energía solar beneficia a 42 estancias y caseríos.



1	ILUMINACIÓN PUENTE CHACALLUTA
2	ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA PUENTE POCONCHILE, VALLE DE LLUTA
3	ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA VÍAS DE EVACUACIÓN TIERRAS BLANCAS
4	INSTALACIÓN DE LUMINARIAS SOLARES SECTOR DE PUTRE, SOCOROMA Y CHUNGARÁ
5	ALUMBRADO PÚBLICO FOTOVOLTAICO PUTRE (42 CASERÍOS)
6	INFRAESTRUCTURA VIAL BASADA EN ENERGÍA SOLAR MOP
7	ILUMINACIÓN PÚBLICA FOTOVOLTAICA LOCALIDAD DE CUYA
8	ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICA EXTERIOR PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA, CUYA
9	ILUMINACIÓN GUATANAVE DÍA Y NOCHE CON ERNC
10	ILUMINACIÓN ANTENA REPETIDORA TACORA



CUYA, LOCALIDAD UBICADA EN LA COMUNA DE CAMARONES: SU PLAZA CUENTA CON SEIS POSTES DE ALUMBRADO PÚBLICO.

*Son 11 proyectos ubicados en las comunas de Arica, Putre y Camarones. Incluyendo casi 60 luminarias led en Codpa y en el camino que une Putre y Socoroma, con una vida útil de 50 mil horas.*

## ENTIDADES Y SERVICIOS PÚBLICOS: EDUCANDO EN LA PRÁCTICA

Un viaje a Alemania cambió algo en la cabeza de Luis Varas, en ese entonces director del Liceo técnico profesional Pablo Neruda. Todas las casas del pueblo donde vivía su hermana tenían paneles solares en sus techos, lo que les permitía casi autoabastecerse de agua caliente y luz eléctrica. De regreso a Arica, tenía claro su objetivo: sus alumnos debían aprender esa tecnología, pues ahí estaba el futuro.

Un concurso de la Fundación Luksic les permitió dar el paso. Junto a los docentes de electrónica postularon un proyecto educativo con energía solar. "Habíamos pensado en una plaza solar para mostrarle a la comunidad cómo funcionaba esta energía, pero nos recomendaron hacer algo directamente con los alumnos. Así surgió la idea de hacer la planta fotovoltaica y que fuera una especie de laboratorio para los estudiantes de electrónica que quisieran especializarse en energía solar", cuenta Carlos Sepúlveda, hoy coordinador de electrónica del liceo.

Ganaron el proyecto. La Fundación financió el 80% de su construcción y el resto, el municipio de Arica. En 2015 inauguraron la planta en el techo del colegio, instalada por la empresa local Solar Trust, marcando un hito a nivel nacional: se convirtieron en el primer establecimiento educacional del país en tener una planta solar que produce y

vende electricidad a una distribuidora de energía. El primero que cubre el 100% de sus necesidades energéticas con una planta solar propia y el primero en hacer cambios en la malla curricular para incorporar a esta tecnología como una especialidad en la formación académica.

Actualmente, cuenta con dos plantas: una de 60 paneles fotovoltaicos que genera 15 kW, con lo que se abastece a todas las dependencias e inyecta la energía sobrante a la red eléctrica, y una planta de nueve paneles y 2 kW, que incluye un banco eléctrico de baterías, que se usa para iluminar pasillos y los pabellones de enfermería, en situaciones de emergencia o cuando es usado como albergue en casos de catástrofes.

En su laboratorio solar de alta tecnología, los estudiantes de electrónica aprenden y sus seis docentes han sido capacitados por organismos expertos para la mantención y reparación de la planta. Los planes incluyen un patio de entrenamiento para que los estudiantes puedan fabricar sistemas fotovoltaicos.

La Universidad de Tarapacá también cuenta con una planta educativa de 15 kW. Está compuesta por 60 módulos fotovoltaicos policristalinos, cuya energía es usada en las dependencias del campus e inyecta la energía que no usa a la red eléctrica. El proyecto incluye un sistema de seguridad energético sustentable, con seis luminarias led de alta eficiencia y enchufes en caso de corte del suministro.

*Son 21 proyectos de autoabastecimiento de energía eléctrica.*

*El Liceo Pablo Neruda es único en Chile: cubre el 100 % de sus necesidades energéticas, gracias a su planta de 60 paneles fotovoltaicos.*



1	PV RADIO DE CARABINEROS, RETÉN TACORA
2	PV ANTENA ONEMI, EN RETÉN DE CARABINEROS TACORA
3	PV TRATAMIENTO AGUAS SERVIDAS DE PUTRE (2 PROYECTOS)
4	PV EN RETÉN DE CARABINEROS EN CHUCUYO
5	PROYECTO PAMPANUNES - AGUA POTABLE
6	PLANTA DESALINIZADORA CON ENERGÍA SOLAR EN LICEO AGRÍCOLA PADRE F. NAPOLITANO
7	PLANTA FOTOVOLTAICA LICEO PABLO NERUDA
8	PV EN CARRO MÓVIL GELATERÍA DI MARCELA
9	SISTEMA ALERTA DE TSUNAMI ARICA
10	PV EDUCATIVA CENTRO DE FORMACIÓN TÉCNICA UTA
11	PROYECTO PILOTO DEMOSTRATIVO SAN MIGUEL DE AZAPA
12	ESTANQUE DE AGUA POTABLE RURAL DE CODPA
13	SISTEMA DE AGUA POTABLE RURAL, LOCALIDAD DE TACORA
14	PV INSTITUTO TELETÓN ARICA
15	PV APR VISVIRI
16	SISTEMA EXPERIMENTAL DE BOMBEO SOLAR, ING. MECÁNICA-UTA
17	SISTEMA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICO ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
18	PATIO DE ENTRENAMIENTO FOTOVOLTAICO, LICEO TÉCNICO PABLO NERUDA
19	PLANTA PILOTO DE DESHIDRATADO SOLAR DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS EN SAN MIGUEL DE AZAPA

\*PV: FOTOVOLTAICO



LOS TECHOS DEL LICEO PABLO NERUDA DE ARICA Y SUS PLANTAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

CRÉDITO: SOLAR TRUST.

# 05 /

## AYLLU SOLAR

*Ayllu Solar se propuso cambiarle el rostro a la región usando lo que la naturaleza le brinda en abundancia y que la cultura prehispánica andina valoraba como ninguna otra: la energía del Sol. Buscamos de esta forma sentar las bases, transfiriendo conocimientos y asesoría técnica, de modo que las comunidades de Arica y Parinacota logren usar sus propias capacidades para alcanzar el desarrollo sostenible y convertir a la zona en un referente mundial en el uso y exportación de este recurso.*

*Para eso, ha trabajado con las comunidades urbanas y rurales, las escuelas, con las organizaciones vecinales, con los planteles de Educación Superior, con los investigadores, con los emprendedores.*



# EL AUGUE DEL SOL

En la lengua quechua ayllu significa "comunidad", considerada como una gran familia que funciona bajo un sistema de reciprocidad. Un concepto que está en la base de la cosmovisión de los pueblos altiplánicos y que inspiró a los investigadores de SERC Chile para denominar al proyecto que comenzó en 2014 con el ambicioso plan de convertir a la Región de Arica y Parinacota en un referente mundial en el uso y producción de energía solar. Desde la ciencia, transfiriendo conocimientos. Desde la actividad económica, sentando las bases para un clima de emprendimiento. Desde la educación, divulgando la necesidad de contar con energía limpia en un momento en que el planeta se aproxima a límites peligrosos de cambio climático. Desde la academia, incentivando la investigación y consensuando las competencias para la formación de capital humano. Desde la urgencia, producto de la pandemia vivida hacia finales del proyecto, de poder contar con soluciones en el territorio que permitan un abastecimiento local de energía, alimentos y agua.

Chile ocupa el tercer lugar de los países del mundo con más atractivo para la inversión en Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Si en 2009 las ERNC representaban apenas el 2,5 % de la generación energética en el país, en la actualidad concentran más del 20 % de la matriz energética eléctrica. Entre estas, la energía solar es la que más rápido está creciendo: en la actualidad el 65 % de los proyectos de ERNC en construcción corresponden a proyectos de energía solar.

En ese escenario, Arica y Parinacota presenta condiciones realmente excepcionales. El clima que predomina en las pampas se caracteriza por la ausencia de lluvias, cielos despejados y mucha luminosidad. A lo que se suma la existencia de amplias extensiones de tierras llanas y deshabitadas. Nunca antes ha existido una oportunidad tan grande para el desarrollo de innovaciones que aprovechen el potencial energético del Sol en esta zona. Y Ayllu Solar se instaló en la región precisamente con ese objetivo: convertirla en el epicentro de la Fiebre del Sol. En el lugar del mundo donde confluye todo el talento creativo que

busca explotar la energía solar para generar soluciones más baratas, eficientes y sustentables. Solo que, a diferencia de la Fiebre del Oro, que caracterizó la cultura popular californiana del siglo XIX, el recurso solar no se va a agotar y sólo produce beneficios. Por lo menos, durante los próximos cinco mil años.

El proyecto tuvo un plazo de ejecución de cinco años, hasta 2020. Durante ese tiempo, las comunidades urbanas y rurales de la región han tenido a su disposición la experiencia de un equipo multidisciplinario de profesionales e investigadores.

Escalabilidad y replicabilidad. Estos son conceptos clave en el trabajo de Ayllu Solar y para materializarlos, está promoviendo iniciativas de desarrollo de capital humano en distintas líneas: entre escolares, a través de un innovador método de enseñanza; a nivel técnico, analizando brechas y creando los perfiles de competencias para la ejecución y mantenimiento de tecnología solar; a nivel de profesionales, propiciando la creación de diplomados y posgrados; y, entre emprendedores, generando condiciones para multiplicar las oportunidades de negocios. Pero, sobre todo, llevando a las comunidades el conocimiento acumulado, de modo que logren apropiarse del enorme potencial que ostenta la región.

Para su financiamiento, SERC Chile postuló a los fondos que la Fundación BHP Billiton, una entidad con sede en Estados Unidos, entrega a iniciativas que benefician a comunidades en diversos países del mundo y que provienen del 1 % de las utilidades que generan las empresas de dicho conglomerado.

Ayllu Solar considera en sus proyectos aplicados los conceptos de co-construcción y de sustentabilidad. La co-construcción es una metodología de participación y transferencia tecnológica que busca la permanencia del proyecto en el tiempo, y otorga un rol predominante a las comunidades en el diseño y su ejecución. Serán las comunidades quienes los trabajen y los mantengan a futuro. En este tiempo, bajo los conceptos de "aprender haciendo" y de "ciencia hacia la comunidad", se capacitó para continuarlos. Luego de realizar un diagnóstico so-

ciocultural de las comunidades indígenas y las organizaciones locales de Arica y Parinacota, se hizo una primera selección de 10 proyectos factibles de acuerdo a sus características técnicas y sociales, los que después fueron sometidos a la evaluación de un comité académico externo independiente. Se seleccionaron cuatro proyectos de referencia, uno en cada comuna de la región, relevando los atributos productivos de cada una y con características de replicabilidad en otras localidades y escalables en su esencia.

Esas cuatro iniciativas se convirtieron en los primeros proyectos aplicados de Ayllu Solar. Soluciones energéticas en áreas productivas: Agricultura, con el proyecto de deshidratado y, en una segunda etapa, de packing de frutas y hortalizas en los valles de Vitor y Chaca; Acuicultura, con el cultivo de camarón de río y tratamiento del agua en la comuna de Camarones; Turismo, con el proyecto de puesta en valor de las rutas troperas prehispánicas en la comuna de Putre; y Ganadería, con el uso de la energía solar en un centro de acopio y procesamiento de fibra de camélidos, en la comuna de General Lagos. Posteriormente, se sumaron nuevos proyectos: la recuperación de una planta fotovoltaica en desuso para la agricultura en Altos de Azapa, la reactivación de la actividad agropecuaria en la precordillera, en la comuna de Putre, y la construcción de un packing solar de tomates para pequeños agricultores en Pampa Concordia.

La propuesta de Ayllu Solar no pretende intervenir ni cambiar la forma en que las comunidades han generado su producción por cientos de años en los diferentes pisos ecológicos (costa, valles, precordillera y altiplano). Pero sí aportar en desarrollo sustentable de una región que por muchos años ha carecido de altas inversiones públicas y se ha mantenido tímidamente al margen de la inversión privada. Una región que tiene entre sus comunas a la que registra el menor desarrollo socioeconómico a nivel nacional, como es el caso de Putre, pero que tiene todo para crecer.

*Nunca antes ha existido una oportunidad tan grande para el desarrollo de innovaciones que aprovechen el potencial energético del Sol en esta zona del país. Y Ayllu Solar se instaló en la región precisamente con ese objetivo: convertirla en el epicentro de la Fiebre del Sol. En el lugar del mundo donde confluye todo el talento creativo que busca explotar la energía solar para generar soluciones más baratas, eficientes y sustentables.*

# MUCHOS DESAFÍOS Y UNA SOLUCIÓN

*En la quebrada de Camarones. En el poblado fronterizo de Visviri. En las tierras productivas del valle de Vitor. En las alturas de Putre. Ahí, Ayllu Solar ha trabajado con las comunidades para darle un nuevo impulso a sus economías, usando lo que sobra en la región: la energía del Sol.*

Cada vez que un aimara debe faenar un animal para consumo, venta o sacrificio, pide permiso a la Pachamama. Mira y nombra a sus cerros tutelares, los más altos de su entorno, espíritus de sus antepasados y protectores de la comunidad. Un ritual tan antiguo como el mismo pueblo, que se instaló en la región andina hace 10 mil años, incluso antes de la llegada de los incas. Y que hoy sigue practicándose en los diferentes poblados ganaderos que habitan las alturas de los Andes; como en General Lagos, donde sus casi 1.200 habitantes viven del pastoreo de alpacas, llamas y algunas ovejas, a más de cuatro mil metros, en la frontera con Perú y Bolivia.

A unos 100 kilómetros al sur, pero a nivel del mar, una pequeña comunidad es testigo del entorno privilegiado que forma el valle de Camarones. Grandes maquinarias, lecherías y una casa patronal permanecen como recuerdos del desarrollo agrícola que tuvo esta zona en sus primeros años. Sus 50 habitantes conservan el cultivo de alfalfa, ajos y papas, pero también un sueño no cumplido: el cultivo de camarones de río a nivel comercial, que podría dar un fuerte

impulso a su precaria economía.

El sentido de comunidad es fuerte en Camarones. También en Visviri, centro administrativo de la comuna de General Lagos, el poblado nortino más extremo del territorio nacional. Extremo en su altura, extremo en su clima y extremo en su aislamiento. Ahí los ayllu ("comunidad" en lengua quechua) tienen la palabra y han sido actores gravitantes de los proyectos con que la iniciativa de SERC Chile buscó cumplir uno de sus principales propósitos: transferir conocimientos y formar capital humano en el uso de la energía solar.

En efecto, tanto en Camarones y Visviri, como en Arica y Putre, los Ayllu están trabajando para activar las economías locales. Usando la energía del Inti, quieren eliminar el arsénico del agua del río Camarones, crear un centro de acopio y procesamiento de fibra de camélido, impulsar el desarrollo turístico de las rutas troperas prehispánicas y construir un sistema de deshidratación y packing de frutas y hortalizas en el valle de Vitor.

Estos proyectos son el fruto de más de un año de diagnóstico y de trabajo con las comunidades que hicieron los profesionales de Ayllu Solar. Hubo 10 opciones que se



analizaron de acuerdo con las necesidades y el impacto que tendría la aplicación de soluciones tecnológicas más avanzadas de energía solar en los sistemas productivos locales. Al final, un comité de expertos seleccionó cuatro proyectos, que recibieron el apoyo de Ayllu Solar para su desarrollo.

Claro que apoyar con recursos y asesoría técnica algunos proyectos puede parecer un aporte, pero -en realidad- es insuficiente. Acciones parecidas partieron con buenas intenciones, pero se frustraron en el camino. Lo que se necesita, y ahí apunta Ayllu Solar, es crear un ambiente de emprendimiento e investigación en torno a la energía solar en la zona; que las comunidades de Arica y Parinacota se apropien de un recurso energético que la naturaleza les entrega en abundancia y que puede convertirse en el gran motor de desarrollo de la economía regional.

El plan ha sido ambicioso: trabajar con profesores y estudiantes en las escuelas para crear en las nuevas generaciones una conciencia profunda sobre la energía solar como solución a problemas cotidianos y productivos; desarrollar la investigación y la formación de capital humano avanza-

do, apoyando la creación de programas de magíster y diplomados en los planteles de Educación Superior; asesorar la capacitación de técnicos con los perfiles de competencias necesarios; entregar herramientas e incentivos para que los emprendedores vean en la energía solar una oportunidad de negocios accesible e innovadora.

En otras palabras: fundar las bases para que, cuando Ayllu Solar haya terminado su trabajo en abril de 2021, las comunidades urbanas y rurales de Arica y Parinacota usen sus propias capacidades para continuar la tarea.

## FRUTOS AL SOL

A 45 kilómetros al sur de Arica, una extensa quebrada dibuja los prolíferos valles de Chaca y Vitor. Un río de igual nombre cruza a ambos poblados y es la base de su principal actividad económica: la agricultura. Sus tomates son particularmente famosos, no sólo por su calidad, también porque llegan a todos los chilenos, especialmente de Santiago en invierno. Son más de 200 toneladas mensuales, que provienen de unos 70 pequeños y medianos agricultores, quienes además cosechan ají, locoto (como llaman al rocoto), maracuyá,



## PROYECTO: PROCESAMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS CON ENERGÍA SOLAR

LUGAR: VALLE DE VITOR

ÁREA PRODUCTIVA: AGRICULTURA

INICIO PROYECTO: AGOSTO 2016

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: 2017

PUESTA EN MARCHA: 2020



### MÁS RÁPIDO Y SEGURO

Los deshidratadores solares constan de dos partes: de una cámara de secado, donde se colocan los alimentos previamente lavados y cortados; y de un colector solar. La radiación solar es absorbida por el colector que calienta el aire en el interior de la cámara de secado. Ese aire caliente circula en torno a los alimentos, absorbe su agua y luego sale. En tres días, aproximadamente, la radiación solar hace su trabajo y los productos están deshidratados, listos para empaquetar.

El deshidratado de frutas y verduras se usa desde antaño como una forma de conservación de alimentos, ya que los microorganismos propios de la descomposición no pueden vivir sin agua. Antes se hacía exponiéndolos directamente a radiación. Pero el deshidratador permite que el secado sea uniforme, más rápido y que los alimentos no estén expuestos a contaminantes externos.



mango, sandías, melones, caigua y pimienta morrón, entre otras frutas y hortalizas.

Como en toda cosecha, una parte de los frutos no cumple los estándares para ser comercializados, porque son muy chicos o están deformes. Se le llama descarte y termina en la basura o como comida para animales. Pero hoy, en Vitor y Chaca hay una nueva mirada sobre esos productos.

"Partimos con una idea de packing y refrigeración para las frutas y hortalizas; pero en las reuniones con la comunidad comenzó a tomar mayor fuerza la deshidratación. Nos hicieron ver que en este valle se producen verduras y frutas todo el año, por lo que no necesitan refrigerar alimentos para tener cuando los precios suben, como se hace en la zona central", cuenta Marcia Montedónico, ingeniera agrónoma, coordinadora del área Socio Ambiental del Centro de Energía de la Universidad de Chile y líder de este proyecto.

La decisión, entonces, fue instalar secadores solares para la deshidratación de frutas y hortalizas (de descarte y otras) y, en una segunda etapa, un sistema de packing con paneles fotovoltaicos, donde se lavan, clasifican y empaquetan los productos. La profesional explica que el deshidra-

tado se justifica con mayor fuerza en el uso de productos de descarte, porque hay temporadas en que la producción, si bien existe, es escasa.

"Se trata de un secador familiar y uno de mayor escala, y la propuesta de negocios es que cada agricultor lleve sus productos, los deshidrate y se los lleve empaquetados, pero que deje un porcentaje para venderlos a través de la cooperativa creada denominada Vitorsol. Así podremos acceder a otros mercados y promocionar una suerte de sello de origen o de marca", dice Montedónico.

Los deshidratadores solares tienen una capacidad de secado de hasta 80 kilos y prometen generar nuevos ingresos a estos agricultores, al hacer comerciables productos que antes eran desechados. Según explica Felipe Fernández, encargado del modelo de negocios de este proyecto, pueden deshidratarse 20 toneladas de tomates, 53 toneladas de ají y 12 toneladas de mango al año: "Nuestras proyecciones de utilidades a un plazo de 5 años es de 80 millones de pesos, aproximadamente".

Las cifras son prometedoras, por lo que el gran desafío es generar formas de trabajo comunitario en un sector donde el



trabajo es familiar e individual. "El ciclo del Sol lo tienen incorporado en todos los ciclos productivos. La energía solar es una mirada tecnológica para este recurso, que les propone nuevas oportunidades respecto de su relación con el Sol. La idea de este proyecto es agregarle valor a la producción agrícola de la zona y es lo que estamos haciendo", dice Montedónico.

### SIGUIENDO LAS RUTAS TROPERAS

Las huellas cordilleranas de Putre guardan una historia de nutrida actividad desde hace casi mil años. Caravanas de llamas iban y venían, antes y durante la era incaica, uniendo Altiplano y costa para trasladar todo tipo de insumos. Putre era lugar de descanso. Tras la llegada de los españoles, estas rutas se usaron por otros 150 años para el traslado de mercancías entre Potosí y Arica. En el primer poblado había un importante yacimiento de plata. El segundo era puerto y abastecía de productos a la ciudad boliviana. Putre siguió siendo el epicentro y la zona aún conserva rastros de la intensa actividad que por siglos se vivió: huellas de las caravanas, tambos, arte rupestre, petroglifos y geoglifos, que se ubican en las partes más altas.

Varias de esas rutas forman parte del célebre Camino del Inca o Qhapaq Ñan. Hoy, algunos habitantes de Putre se dedican al turismo y llevan a los extranjeros a conocerlo. Pero no existe un servicio consolidado. La propuesta de Ayllu Solar fue poner en valor estos senderos. Con la asesoría de expertos del Centro de Investigaciones Hombre del Desierto, de la Universidad de Tarapacá, analizaron el estado de los caminos, la seguridad, la amplitud del paisaje y la vulnerabilidad arqueológica, entre otras variables, para confeccionar la mejor ruta entre todas las huellas existentes.

"Se decidió finalmente poner en valor dos senderos que forman un círculo en torno a la comunidad de Belén", explica Gonzalo León, ingeniero agrónomo, magister en Gestión Ambiental y líder de este proyecto, el cual incluía descansos solares en la mitad de cada ruta, habilitar albergues existentes en Belén con electrificación fotovoltaica y energía termosolar, instalar señalética y entregar implementos solares para guías locales. En una segunda etapa, se habilitaría un sistema de wifi de emergencia. Lamentablemente, no fue factible para Ayllu Solar concretar este proyecto en conjunto con las comunidades involu-



### PROYECTO: RUTAS TROPERAS PREHISPÁNICAS

LUGAR: PUTRE

ÁREA PRODUCTIVA: TURISMO

INICIO PROYECTO: AGOSTO 2016

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN: 2017

PUESTA EN MARCHA: 2020



**PROYECTO: CULTIVO DE CAMARONES DE RÍO Y TRUCHAS**

**LUGAR:** CAMARONES, TALTAPE Y MAQUITA

**ÁREA PRODUCTIVA:** ACUÍCOLA

**INICIO PROYECTO:** AGOSTO 2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:** 2017

**PUESTA EN MARCHA:** 2020

cradas. Sin embargo, fueron entregados los estudios, los planos e implementos menores para que las comunidades lo desarrollen cuando sea posible.

**¿Y LOS CAMARONES?**

No solo proliferan en el río que cruza el pueblo, también dan nombre a este cauce, al poblado, a la quebrada, a la caleta y a la comuna entera. Teniendo esto en cuenta, podría esperarse que fuera el principal producto comercial de la zona, fortaleciendo las arcas de sus habitantes. En temporada alta, se pueden obtener hasta 15 kilos diarios de camarones. La señora Nancy Leyton lo sabe.

Vive en un predio con nueve hermanos, dedicada al cultivo de productos agrícolas, principalmente la alfalfa. Pero como todos en la zona, ella también captura camarones: se mete al río y con una especie de malla, llamada chinguillo, extrae hasta 1 kilo y medio de este crustáceo por día. Su nieto, que suele acompañarla, prefiere emplear un cestón para la captura. Una técnica ancestral que utiliza un embudo de caña amarrado con totora, que se coloca en el río contra la corriente. Otro factor importante es la estación del año, puesto que

cuando el cauce aumenta producto de las lluvias altiplánicas, arrastra grandes cantidades de este crustáceo de agua dulce.

A pesar de la relativa abundancia de camarones en el río, la existencia de una demanda no satisfecha por este producto y la oportunidad de desarrollo para las personas que se dedican a su extracción, su venta en Arica o en la caleta de Camarones es de bajo precio. ¿Por qué?

En esta región, y especialmente en la quebrada de Camarones, la actividad volcánica y geotérmica de la cordillera de los Andes ha dado origen, de manera natural, a rocas y suelos con alto contenido de arsénico. Cuando llueve, el arsénico es arrastrado desde los suelos, enriqueciendo las aguas del río quebrada abajo. Durante muchos años, la gente ha consumido esta agua con los riesgos que implica su ingesta a largo plazo y su acumulación en el organismo, efectos que suelen manifestarse en la vejez.

La doctora en Ciencias y académica de la Universidad de Tarapacá Lorena Cornejo ha estudiado por más de una década el agua de todas las quebradas de la Región de Arica y Parinacota. En 2005, en conjunto con su equipo científico del Laboratorio de In-



vestigaciones Medioambientales de Zonas Áridas, creó un sistema para tratar agua y eliminar el arsénico en más de 99 %, usando la radiación solar. Este invento fue llevado por la doctora Cornejo y su equipo hasta las comunidades de Camarones, Taltape y Maquita para generar, en conjunto, un proyecto productivo. La propuesta final, a partir de la creación de la cooperativa Acuisol, fue construir un sistema acuícola que incluye tres partes: primero, piscinas y estanques donde se cultivarán camarones y truchas. Segundo, un sistema de tratamiento solar de agua que dotará de agua sin arsénico a las piscinas de cultivo. Y tercero, una planta fotovoltaica que entrega-

rá energía eléctrica a los estanques para hacer recircular el agua de las piscinas de crianza, eliminar los desechos y ahorrar en el uso de agua limpia, de modo que se necesite sólo una renovación diaria de entre 5 % y 10 %.

Para que el proyecto sea sustentable, la capacitación es vital. Por eso, un grupo de profesionales trabajó con la comunidad en diversas tareas: la técnica acuícola, el funcionamiento y limpieza de estanques, mantención de paneles, sistema de tratamiento solar de agua y modelo de negocio. “Buscamos que el proyecto permanezca una vez que nos vayamos y así impulsar el desarrollo socioeconómico de estos tres



**¿CÓMO EL SOL PUEDE ELIMINAR EL ARSÉNICO?**

Usando hierro y unas gotas de limón. Tal cual. El sistema de tratamiento de agua diseñado por el equipo que lidera la doctora en Ciencias Lorena Cornejo y que se aplicará en Camarones funcionará de la siguiente manera: el agua del río Camarones llegará a través de cañerías a un estanque de 10 mil litros. Desde ese estanque, se impulsará el agua hacia a una serie de ductos transparentes con hierro en su interior, expuestos de forma directa a la radiación solar. Posteriormente, se agregará una solución cítrica (como gotas de limón). Mientras el agua circula por estos ductos transparentes, el Sol hace su trabajo.

“En palabras simples, el Sol es el protagonista para gatillar la producción de hierro, el cual ‘atrapa’ el arsénico y lo hace ‘caer’ al fondo, dejando el agua libre de este elemento (arsénico).

El limón actúa como catalizador, interactuando con el Sol y permite que ocurra esta reacción química. La remoción de arsénico llega a 99 %”, asegura la doctora en Ciencias y líder del proyecto, Lorena Cornejo.

Esta agua filtrada y libre de arsénico es la que, luego, ingresará a los estanques de cría de truchas y camarones.



**PROYECTO: CENTRO DE ACOPIO Y PROCESAMIENTO DE FIBRA DE CAMÉLIDO**

**LUGAR:** VISVIRI, GENERAL LAGOS  
**ÁREA PRODUCTIVA:** GANADERÍA  
**INICIO PROYECTO:** AGOSTO 2016  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN:** 2017  
**PUESTA EN MARCHA:** 2020

poblados”, dice Cornejo, líder de este proyecto de Ayllu Solar en Camarones. Para los pobladores, esto es el inicio de una nueva y anhelada etapa: “Producir camarones es un anhelo de muchos años en esta comunidad. El proyecto Ayllu nos cayó del cielo y ahora podemos cultivarlos en forma asociativa. Estamos muy entusiasmados”, dice Nancy Leyton.

**LAS ALPACAS DE VISVIRI**

En Visviri, las alpacas dominan el paisaje. Llamas y ovejas están cada vez menos presentes en los prados que rodean las casas. No es porque su carne o lana sean menos valoradas por los habitantes de este pequeño poblado fronterizo. Simplemente, las alpacas se mueven menos. Y en un lugar donde ya casi no quedan jóvenes, esto es importante.

Así es. La migración a Arica, en busca de estudios y de trabajo, es un problema en Visviri, donde los abuelos se han hecho cargo del ganado y de las tierras, pero ya no tienen la misma fuerza o la energía para arrear a los animales. Tampoco para que el proceso de esquilado e hilado de lana de alpaca, una de las fibras más cotizadas en el mercado, genere un producto que pue-

dan vender a buen precio. “Los domingos se realiza la Feria Tripartita en el límite con Bolivia y Perú, donde los ganaderos van a vender carne, animales y lana. Si las abuelas logran hilarla, pueden venderla a 20 mil pesos el kilo, cuando en el mercado cuesta 50 mil. Pero la mayoría la vende en bruto y entonces el kilo cuesta entre dos y tres mil pesos. Otras veces cambian la lana por otros insumos, como verduras”, cuenta Ignacio Flores, quien reparte su tiempo entre Arica y la capital de la comuna de General Lagos.

Flores, como muchos otros ganaderos de Visviri, está esperanzado en que el proyecto que impulsa Ayllu Solar junto a la comunidad cambie este escenario.

La idea fue construir un centro de acopio y procesamiento de lana de alpaca que use la energía solar para automatizar un proceso que hoy se hace a mano, en forma artesanal o simplemente no se hace. Felipe Valencia, ingeniero de Control de la Universidad Nacional de Colombia, investigador del Centro de Energía de la Universidad de Chile y líder de este proyecto, explica que el centro contará con paneles fotovoltaicos que proveerán la energía necesaria para el funcionamiento de las máquinas



para procesar la fibra. Los colectores solares térmicos dotarán de agua caliente al recinto, algo crucial para el lavado de lana.

La propuesta de negocio de Ayllu Solar es que la comunidad de General Lagos deje de vender lana en bruto en el hito tripartito y que use el centro de procesamiento para lograr un producto terminado: hilo de fibra de alpaca, empaquetado y listo para tejer. “Nuestra idea es que con ese producto puedan acceder a otros mercados de mayor valor. Podrían beneficiarse cerca de 200 ganaderos de la zona”, dice el experto.

Junto con la construcción del centro, que además tiene una zona de acopio o almacenaje, los profesionales han capacitando a la comunidad sobre cómo operar el recinto y en la mantención e instalación de máquinas, sistemas fotovoltaicos y colectores.

Si se logra dinamizar la economía local, podría volverse más atractiva para los jóvenes y así promover el repoblamiento de la comuna. “Hay jóvenes de la localidad que estudian o trabajan en áreas de comercio, negocios e ingeniería, que podrían subir y hacerse cargo de cubrir las necesidades más importantes del centro”, dice Valencia.

Una mirada que comparte Ignacio Flores: “Hoy los jóvenes sólo vienen cuando se realizan las fiestas patronales, que duran dos días, y luego se retiran. Estamos trabajando en Ayllu Solar porque creemos que va a tener un impacto, que va a mejorar los ingresos de los comuneros de General Lagos y que puede ayudar a que los jóvenes vuelvan. Si hay plata y oportunidades, volverán. El aimara siempre quiere volver a su origen”.

*La fibra de alpaca es considerada una de las más finas y lujosas del mundo, tiene capacidad térmica (aisla del frío y del calor), es suave y resistente. Una alpaca puede esquilarse cada dos años, tiempo en que tarda en crecer el vellón.*

**¿CÓMO SE SELECCIONÓ?**

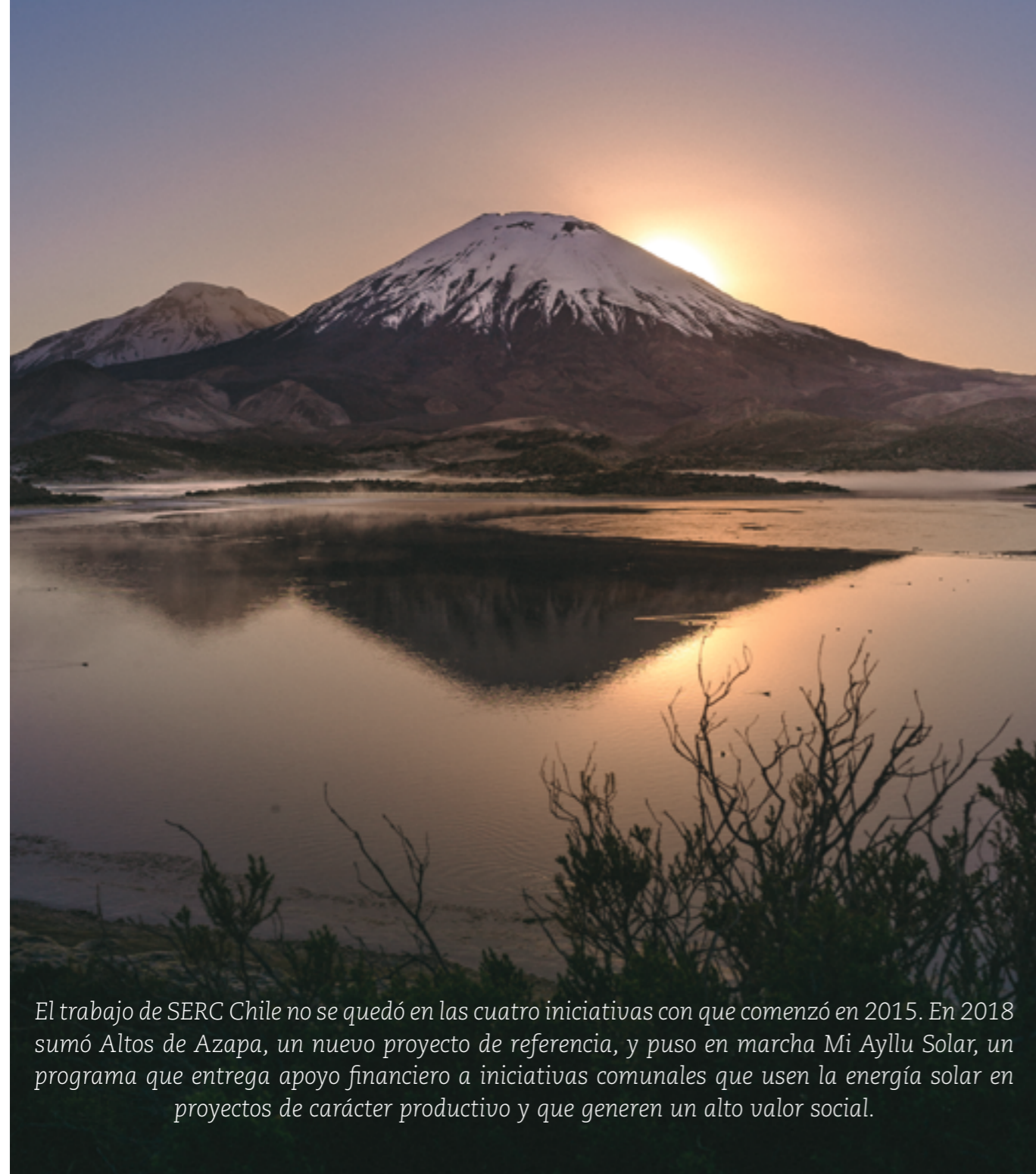
El proceso consideró un levantamiento de oportunidades de aplicaciones solares en la región durante 2015, las que fueron priorizadas con la participación de los alcaldes de cada comuna involucrada. Luego se analizaron técnicamente y, considerando las indicaciones de los alcaldes, se definieron 12 localidades. En éstas se realizó un diagnóstico sociocultural y técnico, a partir del cual se desarrollaron anteproyectos que fueron evaluados por un comité independiente definido por SERC Chile.

Las oportunidades se identificaron gracias al análisis de documentos y a un levantamiento de información general, reconociendo vocaciones productivas y requerimientos energéticos. El comité evaluador seleccionó usando criterios obligatorios (factibilidad técnica y económica, por ejemplo) y recomendaciones que apuntaron a su replicabilidad en otras localidades y su impacto en el desarrollo productivo.

La metodología de co-construcción es un proceso abierto entre los especialistas de Ayllu Solar y la comunidad. Va más allá de la validación social; involucra la participación activa de la comunidad en todas las decisiones relevantes: desde el diseño conceptual, pasando por la implementación y operación, hasta la evaluación final.

Esta metodología plantea un diseño emergente de la aplicación tecnológica, a través del aprendizaje experiencial y permanente. Su objetivo es que el producto resultante se elabore y ajuste a la medida de la realidad local, siendo fiel a sus particularidades culturales, sociales, ambientales y económicas.

# LA TAREA CONTINÚA



El trabajo de SERC Chile no se quedó en las cuatro iniciativas con que comenzó en 2015. En 2018 sumó Altos de Azapa, un nuevo proyecto de referencia, y puso en marcha Mi Ayllu Solar, un programa que entrega apoyo financiero a iniciativas comunales que usen la energía solar en proyectos de carácter productivo y que generen un alto valor social.



## PROYECTO MI AYLLU SOLAR

### PACKING SOLAR DE TOMATES PARA PEQUEÑOS AGRICULTORES

Mientras el valle de Azapa es considerado un verdadero oasis en medio del desierto, al norte de Arica, hacia la costa y a sólo seis kilómetros de la frontera con Perú, las tierras de Pampa Concordia estuvieron abandonadas, debido a la infertilidad del terreno. Pero hoy, esta "zona olvidada" se levanta como un nuevo sector productivo de 1.050 hectáreas.

En 2013, el Ministerio de Bienes Nacionales licitó los terrenos de Pampa Concordia. Uno de éstos, específicamente el Lote B, de 350 hectáreas, fue cedido a la Agrupación de Pequeños Agricultores de Arica y Parinacota (APAAP), con el compromiso de que en un plazo de 25 años se debía generar un nuevo vergel productivo para la región. Son 80 productores, con un promedio de cuatro hectáreas cada uno: el 44% son mujeres y más de la mitad pertenece a pueblos originarios.

Siguiendo los modelos de producción europeos y africanos, hicieron zanjas con tierra fértil, con compost y materia orgánica. Comenzaron a sembrar (principalmente tomate, pimentón, cho-

clo, pepino de ensalada y zapallo italiano), para luego convertir los lugares en invernaderos, utilizando artificialmente abejorros para hacer el trabajo de polinización, dado que en la zona no hay polinizadores. El agua para riego es captada de los pozos de la Concordia, napas subterráneas ubicadas 9,5 km al noroeste, desde donde es trasladada en ductos a un tranque con capacidad de 11.500 m<sup>3</sup>, situado en los faldeos de un cordón de cerros. Desde ahí, otra red de 13 km de tuberías la distribuye en cada predio.

Uno de los proyectos buscados por esta agrupación era contar con oficinas y packing completamente sustentable y fue en lo que Mi Ayllu Solar aportó: la construcción de un packing de tomates que funciona 100% con energía solar y con almacenamiento de baterías de litio para calibrar, limpiar y empacar la producción.

Una contribución significativa para conseguir el objetivo de convertir a esta zona, que hace más un siglo sirvió para fortificaciones militares, en un verde valle productivo.

PROYECTO MI AYLLU SOLAR

# REACTIVACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN LA PRECORDILLERA

A más de 3 mil metros sobre el nivel de mar, en plena precordillera, la Comunidad Indígena Aimara de la Estrella posee terrenos y derechos en la localidad de Tignamar. Sus 27 socios (y un total de 15 familias) son agricultores y comerciantes que trabajan en el Valle de Azapa, mientras sus terrenos en las alturas de Putre son usados en actividades temporales, como el cultivo y la cosecha de alfalfa.

La iniciativa que se adjudicó los fondos de Mi Ayllu Solar busca aprovechar el enorme potencial de desarrollo productivo sustentable de Tignamar, mediante aplicaciones agropecuarias sobre la base de energía solar. El proyecto se concentra en un

enfoque integral. En lo agrícola se intensificará la producción de alfalfa con sistemas de bombeo solar y fertirrigación con aspersión y la producción de pellets de alfalfa. Se quiere demostrar las ventajas de plantaciones de tuna como ejemplo de cultivos de muy baja demanda hídrica y alta rentabilidad, uso de forraje para los animales y venta de frutas frescas. En lo pecuario, se está implementando una lechería y quesería, ofreciendo queso de cabra de muy alta calidad en el mercado.

El suministro de energía es 100% de origen solar para el bombeo y el riego, y para los procesos productivos, operación de máquinas y para uso de la comunidad.



PROYECTO DE REFERENCIA / AYLLU SOLAR

## BOMBEO SOLAR EN ALTOS DE AZAPA



PROYECTO: HABILITACIÓN SISTEMA ON-GRID EN PLANTA FOTOVOLTAICA

LUGAR: ALTOS DE AZAPA

ÁREA PRODUCTIVA: AGRICULTURA

INICIO PROYECTO: 2018

PUESTA EN MARCHA: 2020

Habilitación sistema On-Grid en planta fotovoltaica y programa de gestión de la energía, Altos de Azapa. Así se llama el nuevo proyecto de referencia que Ayllu Solar inició en 2018, en su permanente objetivo de contribuir para que las economías locales adquieran un nuevo impulso.

Se trata de 41 pequeños agricultores, pertenecientes a la etnia aimara, que trabajan cultivando, principalmente, hortalizas. Esto, en parcelas con superficie de explotación de 1,5 hectáreas, en promedio, ubicadas en Altos de Azapa, a 34 kilómetros de la ruta que conecta a Arica con el prolífero valle del mismo nombre.

El proyecto consiste en la rehabilitación de una planta fotovoltaica, de modo de conectarla a la red eléctrica, y fomentar el autoconsumo en el sistema de bombeo para el riego de los cultivos.

En lo concreto, se recuperó una planta fotovoltaica de 50 kWp de capacidad instalada, pero en desuso, se instalaron dos inversores de 25 kW On-Grid, se hizo la canalización eléctrica y luego, se gestionaron trámites y permisos, de tal forma de conectar la planta a la red eléctrica, aprovechando la ley de net billing (N° 21.118). Esto, les permite bajar sus costos de producción, tanto por uso de energía solar como por la venta de excedentes a la red. También, se está capacitando a los agricultores para subsanar ciertas brechas en el uso de las instalaciones y optimizar el uso de la energía.

# EDUCAR Y EMPRENDER

Convertir a Arica y Parinacota en un Silicon Valley Solar. Así de ambicioso es el impacto que se busca con una serie de iniciativas tendientes a formar capital humano desde el nivel escolar y a generar un ecosistema que seduzca a emprendedores de todo Chile y de países vecinos para el desarrollo en la zona de innovaciones basadas en la energía del Sol.

## ¿Qué es el Sol?

-Es como una pelota amarilla llena de energía.

## ¿Y qué es la energía solar?

-Mmm... uno puede sacar la energía del Sol para calentar cualquier cosa.

## ¿Dónde aprendiste eso?

-En internet.

Es la hora del recreo y los patios de la Escuela Humberto Valenzuela, de Arica, están repletos. Vestido con un impecable buzo de colegio, Jorge Aguirre es uno de los alumnos que participan en los talleres con que Ayllu Solar está capacitando a profesores y estudiantes en el uso de la energía solar. Es evidente que el tema le interesa a este pequeño, que cursa quinto básico.

## ¿Qué problema te gustaría solucionar usando la energía del Sol?

-En mi casa no hay calefón, así que me gustaría usar el Sol para no bañarme con agua helada.

Aunque su casa no es parte de los proyectos en que están trabajando, las respuestas de Jorge son, probablemente, un buen punto de partida para lo que busca la metodología educativa que se está aplicando: que los estudiantes reflexionen y busquen soluciones a problemas reales, investigando, debatiendo y desarrollando productos. Y, al mismo tiempo, que tomen conciencia sobre el uso de las energías renovables y sobre la potencialidad de su riqueza territorial, el Sol.

Comenzaron en diciembre de 2016 con 30 profesores, incluyendo 10 facilitadores,

encargados de guiar a los docentes que implementan el proyecto con los estudiantes. A principios de 2020, el proyecto ya había capacitado a 179 profesores e involucrado a 1.353 estudiantes. Partieron con seis escuelas (América, Centenario, Humberto Valenzuela, Liceo Pablo Neruda, República de Israel y Tucapel) y la meta era llegar a 36 durante la vigencia del programa, pero este objetivo fue superado ampliamente: 40 establecimientos (8 rurales y 32 urbanas) ya son parte de la red solar de Ayllu Escuelas.

La metodología que se está usando es bastante novedosa: Aprendizaje Basado en Proyectos, en el que los estudiantes adquieren conocimientos y habilidades al responder una pregunta, problema o desafío a través de una investigación y posterior desarrollo de un proyecto, durante un tiempo prolongado. En este caso, insertado en el currículo escolar a través del Sol. Este es uno de los aspectos que más le gusta a Mario González, profesor de la Escuela Humberto Valenzuela: su transversalidad. "Los niños ven el tema en arte, tecnología, matemáticas. Eso es muy bueno, porque nos permite trabajar de forma integrada. Hacen los proyectos en tecnología; en matemáticas se realizan los cálculos y en la clase de ciencias abordamos el efecto invernadero", cuenta.

Jeannette LaFors, experta en ABP de la Fundación Chile, explica que hay una gran diferencia entre "hacer un proyecto" e involucrarse en un aprendizaje basado en proyectos.

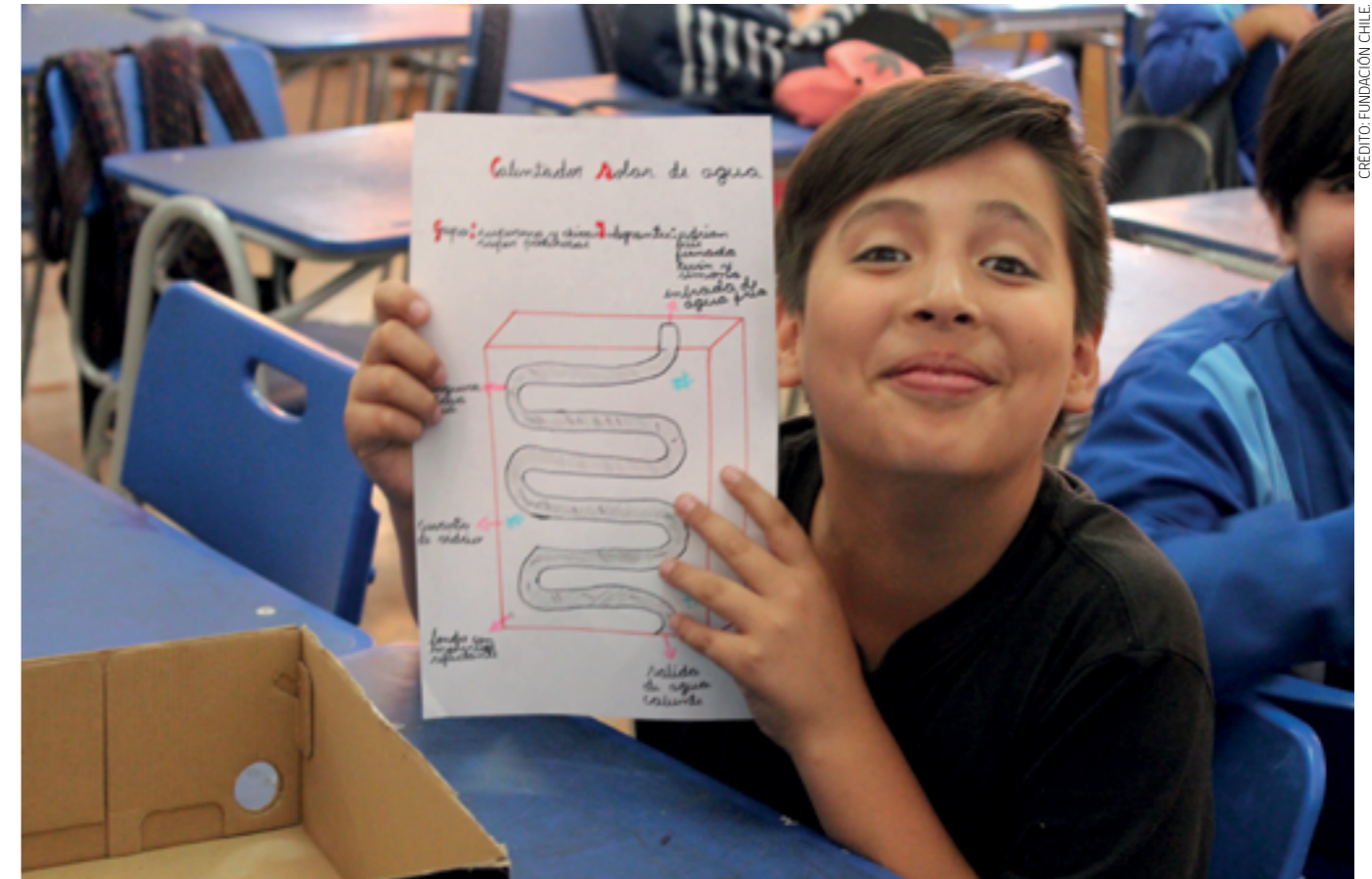
Un "proyecto", dice LaFors, puede ser completado siguiendo unas pocas instrucciones básicas. Los estudiantes, frecuentemente,

generan un producto igual o similar al de sus compañeros. Son, generalmente, asignados después de que los niños han aprendido la mayoría de los contenidos.

El aprendizaje basado en proyectos, en cambio, activa a los estudiantes a través de preguntas llamativas y relevantes, y requiere que los alumnos tomen decisiones durante todo desarrollo de su trabajo. "Cuando el ABP está bien diseñado, los alumnos construyen conocimiento y generan las habilidades del siglo XXI (comunicación, pensamiento crítico, colaboración, creatividad, habilidades metacognitivas), mientras planifican y ejecutan. Además, los proyectos son relevantes para sus vidas y se parecen al trabajo que se realiza en el mundo real", dice la experta.

Formar docentes en metodología ABP (integrada al currículo y con conocimiento de energía solar) es el primer paso. Luego, se incorpora a los facilitadores (profesores que guían a otros docentes en el proceso) y, ya implementando ABP en clases, los estudiantes deben pensar y crear proyectos que solucionen algún problema usando la energía del Sol.

En los cuatro años que lleva el programa Ayllu Escuelas han surgido muchos proyectos desde las aulas. Los primeros fueron un huerto vertical para la escuela con sistema de riego por goteo, calentadores solares de agua para las duchas del establecimiento, creación y montaje de autitos solares, helioterapia (curas para la depresión y fortalecer huesos con la energía del Sol) y cremas e infusiones a partir de plantas altioplánicas. Luego vinieron otros, como riego tecnificado con arduino y energía voltaica, un deshidratador



solar, un purificador de agua y un desalinizador de agua.

## El Silicon Valley Solar

Claro que la formación de capital humano en el uso de la energía solar desde el nivel escolar debe ir acompañada de un clima de emprendimiento que empape la actividad económica. Y el objetivo, en este sentido, es igualmente ambicioso: Ayllu Solar se propuso transformar la Región de Arica y Parinacota en el epicentro del emprendimiento solar de Chile y de toda la región andina.

Convocó a emprendedores de todo Chile y de los países vecinos, para que pudiesen implementar y consolidar en la zona empresas que se basen en el uso de la energía solar. No se trata ya de plantas de producción, sino de aplicaciones mucho más concretas que benefician directamente a organizaciones y comunidades en los ámbitos de agricultura, turismo y logística, entre otros.

Para esto, Ayllu Solar contó con el apoyo de dos actores clave: Wakilabs, un centro de negocios y emprendimiento, y la aceleradora de negocios EmpredeFCh. La primera de estas convocatorias, bautizada la Fiebre del Sol, abrió sus postulaciones en el segundo semestre de 2017, fueron seleccionados ocho emprendedores (cuatro de Santiago y cuatro de Arica) y los ganadores fueron SUNCAS-

CRIPOTOSOLAR y OSOJI.

Durante 2018, una nueva convocatoria seleccionó seis postulantes (uno de Arica, cuatro de la Región Metropolitana y uno de Valparaíso) y sumó tres ganadores: GEOGROW, RENTADRONE y ENDURANCE ELECTRIC.

Además de sus características naturales, Arica y Parinacota ofrece otras condiciones que la convierten en un atractivo escenario para nuevos emprendimientos. Incluyendo incentivos como el crédito tributario y la bonificación a la inversión; o que la región forme parte de la Zona Franca de Extensión y la Zona Franca Industrial, las cuales ofrecen a los emprendedores precios preferenciales para el desarrollo de su negocio, y un centro de exportación que permite reducir costos.

El trabajo constante para la creación de un ecosistema de emprendimiento permitirá conectar necesidades de la región en ámbitos como turismo o agricultura, con soluciones basadas en el aprovechamiento del recurso solar. Esto facilitará la visibilidad del Sol como una fuente de riqueza y desarrollo, percepción aún no muy asentada.

El impacto que se espera es atraer empresas que tengan su sede principal en Arica y que hayan iniciado ahí un negocio con solución radicalmente potente, pero con proyección transnacional. A partir de esta empresa madre, que germine un clúster de empresas

derivadas, creadas por los colaboradores o proveedores, con nuevas soluciones solares.

Así ocurrió en Silicon Valley, donde se articuló un clúster de empresas tecnológicas a partir de Fairchild Semiconductors. Aproximadamente, 90 empresas ubicadas en Silicon Valley derivan o se conectan de alguna forma con esta compañía.

En otras palabras, Ayllu Solar aspira a convertir a Arica en un Silicon Valley Solar.

## CONSOLIDANDO EL APRENDIZAJE

Todo el aprendizaje del proyecto Ayllu Solar, a través de los proyectos de referencia y de todas las actividades realizadas, está disponible para las comunidades a través de lo que hemos denominado Bienes Públicos (BBPP): videos, infografías, guías prácticas, libros, manuales, planos, herramientas de cálculo, instructivos, entre otros. Los BBPP son de libre acceso y pueden descargarse en la sección "Recursos Descargables" del sitio web de Ayllu Solar. Ahí podrán conocer todos los detalles sobre los avances de los proyectos que hemos mostrado en este capítulo.

## BIBLIOGRAFÍA

Arellano Escudero, Nelson. "La planta solar de desalación de agua de Las Salinas (1872). Literatura y memoria de una experiencia pionera". *Quaderns d'història de l'enginyeria*. Volumen XII, 2011.

Arellano Escudero, Nelson. "Para el bien de la Humanidad: Julio Hirschmann Recht (1902-1981) y la energía solar en Valparaíso, Chile". Universidad Politécnica de Cataluña, España. 2014.

Arellano Escudero, Nelson. "La ingeniería y el descarte artefactual de la desalación solar de agua. Las industrias de Las Salinas, Sierra Gorda y Oficina Domeyko (1872-1907)". Programa de doctorado en sostenibilidad, tecnología y humanismo. Cátedra Unesco de Sostenibilidad. Barcelona. Abril de 2015.

Ashe, Katy. "Photocell Economic History". Submitted as coursework for Physics, Stanford University. November 25, 2010.

Biblioteca del Congreso Nacional, BCN. "Reportes Estadísticos Comunales". 2015.

Brito Alcayaga, Marcos. "Estudio de proyecciones y oportunidades del mercado Solar Regional". Corporación de Desarrollo Técnico CDT Arica. Abril de 2017.

California Solar Center. "La historia de la energía solar". Departamento de Energía de Estados Unidos. 2001.

Choque Mariño, Carlos. "Cosmovisión aymara". 2008.

Comisión Nacional de Energía. Reporte mensual ERNC. Volumen 11, Julio de 2017.

Garcés Feliú, Eugenio. "Las ciudades del salitre. Un estudio de las oficinas salitreras de Antofagasta". Esparza. Diciembre de 1999.

Guerra, José. "Habitar el desierto. Transición energética y transformación del proyecto habitacional colectivo en la ecología del desierto de Atacama. Chile". Universitat Politecnica de Catalunya. Barcelona. 2003.

Hirschmann, Julio. "Energía solar y geografía". Apartado Revista geográfica de Valparaíso. UTFSM. Volumen 1. 1967.  
Jym Qhapaq Amaru. "Inka Pachaqaway - Cosmovisión andina". Lima. Marzo de 2012.

La Ciencia para Todos. Fondo de Cultura Económica. México. 1997. Capítulos de Silvia Bravo, Susana Show Pangtay, Magdalena Rius y Mauricio Castro-Acuña.

Meinel, Aden y Meinel, Marjorie. "Aplicaciones de la energía solar". Optical Sciences Center, University of Arizona. Edición en español. Editorial Reverté. 1982.

Ministerio de Energía. "Diagnóstico energético de la Región de Arica y Parinacota". Resumen ejecutivo. Subsecretaría de Energía. 2016.

Morales, Joaquín. "Análisis preliminar de la utilización económica

de la energía solar en Chile". División de Proyectos de la Rectoría de la Universidad Católica del Norte. 1973.

Osorio, Gabriel. "La labor del laboratorio de energía solar de la UTFSM de Valparaíso". Monografía. Valparaíso. 1972. <https://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/89527>

Santana, Christian; Falvey, Mark; Ibarra, Marcelo; García, Monserrat. "Energías renovables en Chile. El potencial eólico, solar e hidroeléctrico de Arica a Chiloé". Ministerio de Energía/Deutsche Gesellschaft für/ Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GMBH. 2014.

Sarmiento, Pedro. "Energía solar. Aplicaciones e ingeniería". Ediciones Universitarias Pontificia U. Católica de Valparaíso. Valparaíso. 2016.

Solar Energy International. Curso de Energías Renovables No Convencionales. 2015.

Trombe, Félix. "Algunas proposiciones preliminares de actividades conducentes a la explotación económica de la energía solar en Chile. Informe preliminar de misión del Dr. Félix Trombe en Chile en 1973". Rectoría. Departamento de Proyectos Universidad del Norte, Chile. Abril de 1974.

Vargas, Luis; Haas, Jannik; Barría, Fabián; Reyes, Lorenzo. "Generación de energía eléctrica con fuentes renovables". Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2010.

# AGRADECIMIENTOS

Nelson Arellano Escudero, investigador posdoctoral, Instituto de Estudios Internacionales, Universidad Arturo Prat.

Katherine Jara Alarcón, directora de Biblioteca, Universidad Católica del Norte.

Laboratorio de Energías Renovables, Universidad Técnica Federico Santa María.

Carlos Barraza, matróon jefe y encargado de mantención, Hospital de Combarbalá.

Ricardo Peters, subgerente de centrales Engie Energía Chile.

Pablo Godoy, gerente general Solar Trust.

David Hormazábal, fotógrafo y reportero gráfico.

Y al equipo de profesionales que contribuye con su trabajo al desarrollo del proyecto Ayllu Solar, a la fecha en que se imprimió este libro:

Alejandra Mejías  
Andrea Osorio  
Andrés Marconi  
Carlos Portillo  
Chantall Huerta  
David Faivovich  
Felipe Valencia  
Gonzalo León  
Hugo Lienqueo  
Jorge Reyes

Juan Caimanque  
Lorena Cornejo  
Marcela Gallardo  
Marcia Montedonico  
María Isabel De Martini  
María Janet Arenas  
Myriam Reyes  
Paola Silva  
Patricia Vilca  
Patricio Mendoza

Paulina Ramírez  
Priscila Duarte  
Rodrigo Palma  
Sandra Fernández  
Tania Correa  
Tania Escobar  
Víctor Illanes  
Yazmín Infante

Y a quienes fueron parte de Ayllu Solar y contribuyeron con su trabajo a este proyecto:

Alexis de Ponson du Terrail  
Ana María Raad  
Anahí Urquiza  
Andrés Pérez  
Andrés Pesce  
Bárbara Silva  
Carla Lanyon  
Carlos Arenas  
Carolina Cuevas  
Emilia González  
Felipe Fernández

Diego Irizarri  
Dinka Acevedo  
Francisca Herrera  
Francisco Meza  
Guillermo Jiménez  
Ignacio Guzmán  
Ignacio Polanco  
Jadira Fontana  
Jeanette LaFors  
Jorge Acarapi  
José Oliva

Julia Aravena  
Miguel Salas  
Oscar Barahona  
Patricio Donoso  
Patricio Jascura  
Paz Fabio  
René Rosati  
Roberto Román  
Sergio Montero  
Sofía Montedonico  
Tomás Egaña





INSTITUCIONES SERC CHILE EJECUTORAS Y SOCIOS ESTRATÉGICOS



INSTITUCIONES SERC CHILE



INSTITUCIONES SERC CHILE

