

# ENERGÍAS

*que mueven al mundo*



El Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas fue creado en 2013, al alero de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chile. Tiene como misión concentrar las actividades de investigación relacionadas con las ciencias básicas y aplicadas en diferentes líneas de investigación como la astroquímica, la física, los nanomateriales, las energías alternativas, los productos naturales, la bioquímica, entre otras. Cuenta con 29 investigadores distribuidos en las tres sedes de la universidad (Temuco, Talca y Santiago) y su actual directora es la Dra. María Luisa Valenzuela Valdés.



## **ENERGÍAS QUE MUEVEN AL MUNDO**

Universidad Autónoma de Chile

Primera edición, Octubre, 2019

Centro de Comunicación de las Ciencias

<http://ciencias.uautonoma.cl>

©Universidad Autónoma de Chile.

Avenida Pedro de Valdivia 425, Providencia

Santiago, Chile

Edición: Dra. María Luisa Valenzuela

Dirección editorial y corrección de textos: Isidora Sesnic

Diagramación, ilustraciones y diseño de portada: Felipe G. Serrano

ISBN versión digital: 978-956-8454-47-0

Registro de propiedad intelectual: 307551

....

Impresión: Procolor



Este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos y solo para fines educacionales y de divulgación científica. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.



**Centro de Comunicación  
de las Ciencias**

Universidad Autónoma de Chile



**UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA  
DE CHILE**





# ENERGÍAS

*que mueven al mundo*



# Introducción

El progreso y el bienestar de una sociedad están relacionados con el consumo de energía, debido a que el desarrollo de una nación exige necesariamente el uso de ella. Por lo mismo, es fundamental que esta misma establezca las directrices de sus distintos procesos productivos con el objetivo de hacer frente al cambio climático que vivimos en la actualidad.

Hoy en día, gran parte de los recursos utilizados para la obtención de energía se derivan de combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. El común denominador entre ellos es que son recursos no renovables. Su consumo indiscriminado ha provocado el agotamiento sistemático y, en términos de contaminación, daños irreparables debido, por ejemplo, a la emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ). Una consecuencia de esto es el calentamiento global producto del aumento de los gases de efecto invernadero.

Actualmente, los gobiernos de todo el mundo están haciendo esfuerzos coordinados para descarbonizar sus economías y frenar así los efectos del cambio climático. Algunos incluso se han

comprometido a mantener el calentamiento global por debajo de los 2 °C. Para cumplir con esto, se deberán reducir en un 85 % las emisiones mundiales anuales de gases de efecto invernadero para el año 2050. Lo anterior implica una revolución energética global, particularmente por el rápido crecimiento de la población mundial. Por lo tanto, el desafío está en identificar la mejor forma de reducir las emisiones de estos gases y, al mismo tiempo, garantizar la competitividad económica, el crecimiento y una energía segura.

En este sentido, la Agencia Internacional de Energía sostiene que la segunda mayor contribución a la reducción de  $CO_2$  la harán las energías renovables, que, de un 38 % de emisiones en la actualidad, llegarán a alrededor del 32 % una vez que puedan tener mejoras en su eficiencia.

Pero ¿qué se entiende por energía renovable? La energía renovable es aquella que se obtiene de materias primas inagotables y se convierte en energía útil, que puede ser aprovechada en cualquier ámbito. La energía renovable puede dividirse en dos grandes grupos: las llamadas «convencionales», como la hidráulica, y las «energías renovables no convencionales» (ERNC), que se obtienen por medio de la luz solar (plantas fotovoltaicas) o el viento.

La implementación de algunas ERNC comenzó en el siglo XX debido a la búsqueda por obtener energía usando procesos que fueran amigables con



el medioambiente y, de esta manera, contribuir en la disminución de los niveles de gases de efecto invernadero.

El problema medioambiental es un desafío mundial y la mayoría de los países se están esforzando por obtener energía por medios que no contaminen. Sin embargo, uno de los grandes problemas de las energías renovables es que, en su mayoría, dependen de las condiciones climáticas de cada zona y, por lo mismo, es necesario contar con lugares para almacenarla, tal y como se hace con otras fuentes de energía como la madera, el gas o el petróleo.

En cuanto al consumo, el ritmo es tan acelerado que, en un año, la humanidad gasta lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el posible agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión. De hecho, datos oficiales indican que el agotamiento del petróleo y del gas natural será una realidad en el plazo de una o dos generaciones. Es cierto que las reservas de carbón son menos limitadas, pero este combustible es altamente contaminante, de modo que su utilización estará condicionada por el desarrollo de tecnologías más limpias. En este escenario, las ERNC se han transformado en un foco de investigación e innovación en todo el mundo.

Dentro de las energías renovables destaca la energía hidráulica, la eólica, la solar, la energía de los océanos (mareomotriz), la geotérmica, la energía de biomasa y la energía de los biocombustibles. Este libro, *Energías que mueven al mundo*, ha sido elaborado por investigadores e investigadoras del

Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chile, explica en qué consiste cada una de ellas, de manera fácil y sencilla, a través de imágenes, preguntas y otros recursos didácticos. Además, aborda el papel y la importancia que le cabe al hidrógeno en la actualidad, como un vector energético que permite almacenar la energía que se produce por los métodos antes mencionados. También describe la generación de energía eléctrica producida por los microorganismos y la obtención de biogás y biodiesel a través de procesos respetuosos y compatibles con el medioambiente. Finalmente, incluye un capítulo sobre baterías de litio y su importancia en temas de electromovilidad.

**Doctora Claudia Sandoval**  
Académica e investigadora  
Universidad Autónoma de Chile

# Autores

- **SEBASTIÁN MICHEA.** Doctor en Física por la Universidad de Santiago de Chile. Académico e investigador del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **ÁLVARO MUÑOZ.** Doctor en Fisicoquímica Molecular por la Universidad Andrés Bello. Académico e investigador del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **XIMENA ZÁRATE.** Doctora en Fisicoquímica Molecular por la Universidad Andrés Bello. Académica e investigadora del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **NANCY ALVARADO.** Doctora en Química por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Académica e investigadora del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **NATALIA INOSTROZA.** Doctora en Fisicoquímica Molecular por la Universidad Andrés Bello. Académica e investigadora del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **LORENZO REYES-BOZO.** Doctor en Ciencias de la Ingeniería por la Pontificia Universidad Católica de Chile. Académico, investigador y director de la carrera de Ingeniería Civil Química en la Universidad Autónoma de Chile.
- **GUILLERMO SCHAFFELD.** MSc en Ciencias y Tecnología de los Alimentos por el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chile.
- **MARÍA LUISA VALENZUELA.** Doctora en Química por la Universidad de Chile. Académica, investigadora y directora del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **CRISTIÁN LINARES-FLORES.** Doctor en Fisicoquímica Molecular por la Universidad Andrés Bello. Académico e investigador del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.
- **TATIANA GÓMEZ.** Doctora en Fisicoquímica Molecular por la Universidad Andrés Bello. Académica e investigadora del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas de la Universidad Autónoma de Chile.



# Energías renovables y no convencionales

	Capítulo 1. El poder del agua	17
	Capítulo 2. La velocidad del viento	27
	Capítulo 3. La energía de nuestra estrella	37
	Capítulo 4. Desde el corazón de la Tierra	47
	Capítulo 5. Mares y mareas	57
	Capítulo 6. Biomasa: fuente inagotable de energía	65
	Capítulo 7. ¡También los microorganismos!	75

# índice

## Nuevas alternativas

87

Baterías de litio. Capítulo 1



99

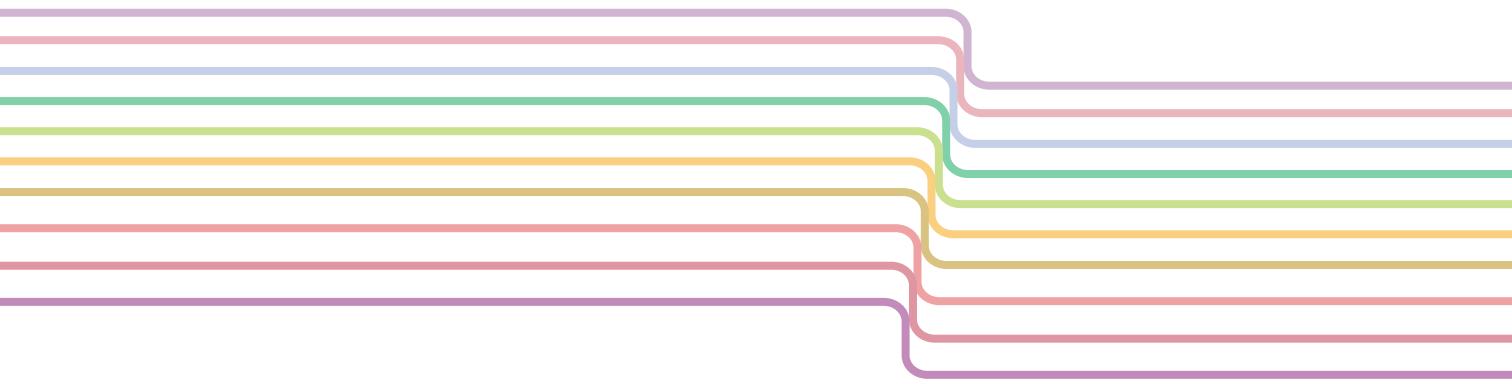
Hidrógeno y el futuro. Capítulo 2



107

Biocombustibles. Capítulo 3





# Energías renovables y no convencionales

«El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza»

(Leonardo da Vinci)

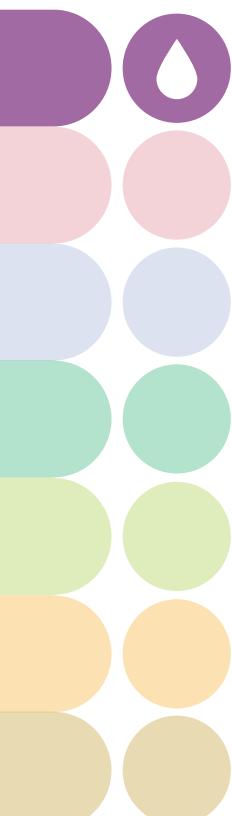
# Capítulo 1

# El poder del agua

Sebastián Michea



# EL AGUA



El agua es un elemento indispensable para la supervivencia de las especies vivas. Los seres humanos estamos constituidos por un 75% de este compuesto vital que además cumple diversas funciones en nuestro organismo, desde ayudar a la digestión de los alimentos hasta la regulación de la temperatura corporal, entre otras, aunque sus aplicaciones son muchas más. Pensemos en una palabra: «hidroelectricidad».

## ¿Qué es la hidroelectricidad?

La hidroelectricidad es el proceso por el cual se genera corriente eléctrica a partir del agua. En este caso, se usa la

energía del caudal de agua (recurso hidroenergético) para convertirla en corriente y esto se logra ya que todo proceso que implique generación de trabajo (en este caso, trabajo eléctrico) debe tener asociado un proceso de conversión de energía.

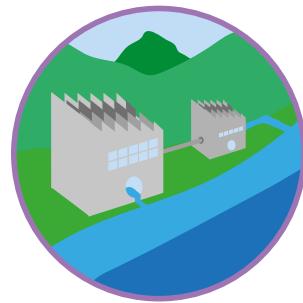
Por lo general, al hablar de energía obtenida a partir del agua, la relacionamos con el concepto de centrales hidroeléctricas, instalaciones que poseen un embalse que almacena gran cantidad de agua y que, mediante un proceso interno, son capaces de generar electricidad.

Existen tres tipos de centrales hidroeléctricas:



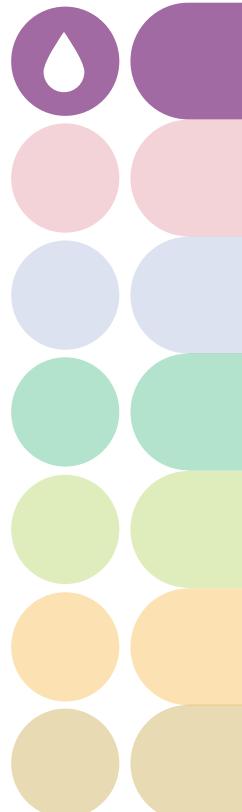
### Centrales de embalse

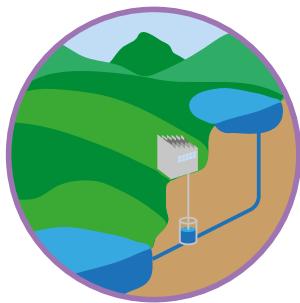
Son las más conocidas de todas y un referente para este tipo de fuente de energía. Su objetivo es, en el agua, almacenar una gran cantidad de energía potencial que al liberarse produzca la energía que requiere el sistema al que se encuentra conectada. Su proceso de encendido y apagado es sencillo. Son reconocidas por sus embalses y el impacto ambiental que estos generan en su etapa inicial.



### Centrales de pasada

La principal característica de este tipo de centrales es que utilizan directamente el flujo de agua de un río o canal para la generación de electricidad. Su proceso productivo es constante y continuo, sin posibilidad de ajustarlo a la demanda del sistema. La mayor ventaja de este tipo de plantas es que, al instalarse, generan un impacto ambiental mucho menor que las centrales de embalse.





## Centrales de bombeo

Son centrales que generan electricidad, en función de la demanda de la red, a partir de un proceso cíclico entre dos reservorios de agua ubicados a distinta altura. Si la demanda es alta, para producir la corriente necesaria, utiliza la energía hídrica almacenada en el reservorio superior; si la demanda de energía es baja, consume lo necesario para bombear agua desde el reservorio inferior al superior y volver a repetir el proceso.

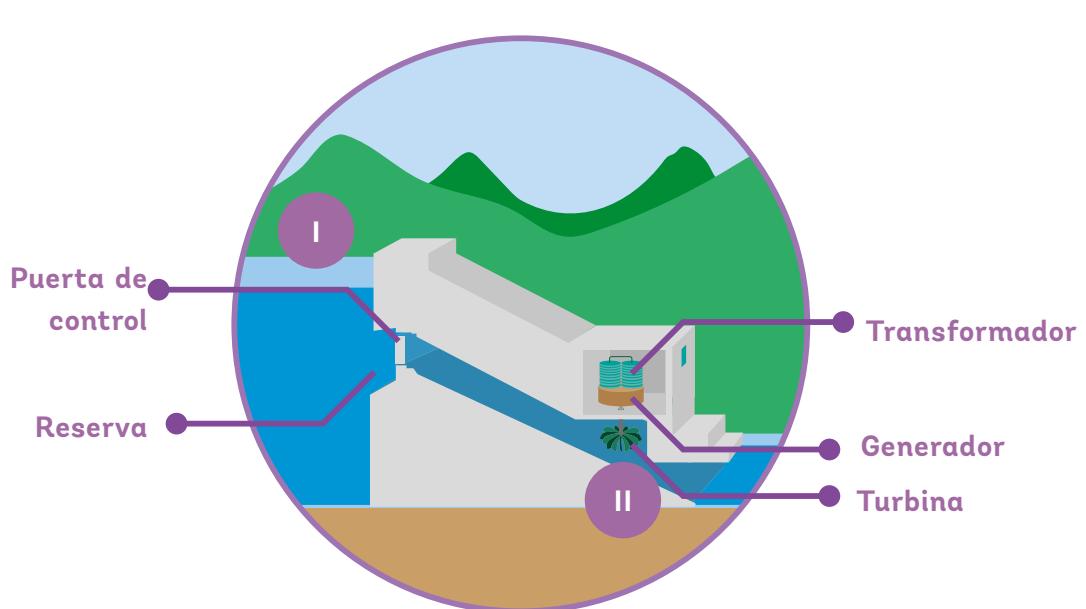
### ¿Cómo se produce la generación de corriente?

La corriente se genera gracias a un elemento clave llamado turbina, desarrollado a partir de 1827 y cuya aparición permitió el uso del agua como recurso energético. La función de este dispositivo es transformar la energía cinética de un caudal de agua en potencia eléctrica a través de la inducción magnética por medio de la rotación de unas aspas. Por consiguiente, lo que la central debe hacer es poner en movimiento las aspas de las turbinas para que puedan girar y comenzar así el proceso de transformación de energía.

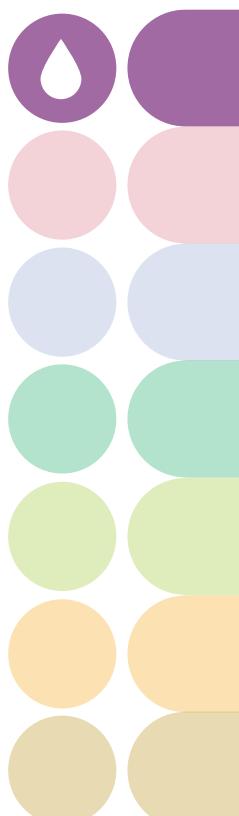
Para comprender mejor esta función analicemos la imagen de la derecha. En ella se muestra un esquema simplificado de una central hidroeléctrica de embalse.

La eficiencia de la turbina dependerá de la rapidez con que sea impactada por el agua que viene desde el embalse. Para calcular esa magnitud es posible dividir el problema en dos etapas. Primero, hay que considerar que, en el punto I de la imagen, nos encontraríamos en la parte superior del embalse donde, al mirar de cerca la superficie del agua, veríamos que esta casi no se mueve, por lo tanto, podríamos decir que su rapidez es nula.

Luego, en el punto II, el caudal entra en contacto con las aspas de la turbina, pero, para saber la rapidez de este proceso, hay que observar dos fenómenos: la presión y la altura del embalse. A mayor altura, el sistema tendrá una mayor energía potencial la que, en las aspas de la turbina, se transformará casi completamente en energía cinética y generará mayor potencia eléctrica.



Esquema de una central hidroeléctrica de embalse.



## Algunos hitos de la hidroelectricidad

- El primer proyecto de hidroelectricidad en el mundo se desarrolló en 1878, en un hogar en Craighouse, Inglaterra, con el objetivo de encender una lámpara. La potencia que se logró generar equivalió a seis caballos de fuerza.
- Para saber si fue mucha o poca potencia, basta considerar que, en la actualidad, el automóvil eléctrico más modesto posee una potencia de setenta y cinco caballos de fuerza (75 kW) y la central hidroeléctrica más pequeña posee una producción de 36 MW, es decir, seis mil veces más que el primer proyecto. En 1882, fue inaugurada la primera planta de servicio privado en Wisconsin, Estados Unidos, y, tras una década, cientos de centrales quedaron en operación.
- En la actualidad, la hidroelectricidad representa el 0,05% del total global de generación de electricidad por cualquier medio, no obstante, también se aprecia que el cambio en las políticas públicas de algunos países del mundo ha permitido incentivar el uso de este tipo de fuente energética que, además, tiene un bajísimo impacto y grado de contaminación medioambiental.

Turbina hidroeléctrica Taccani.  
Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com).



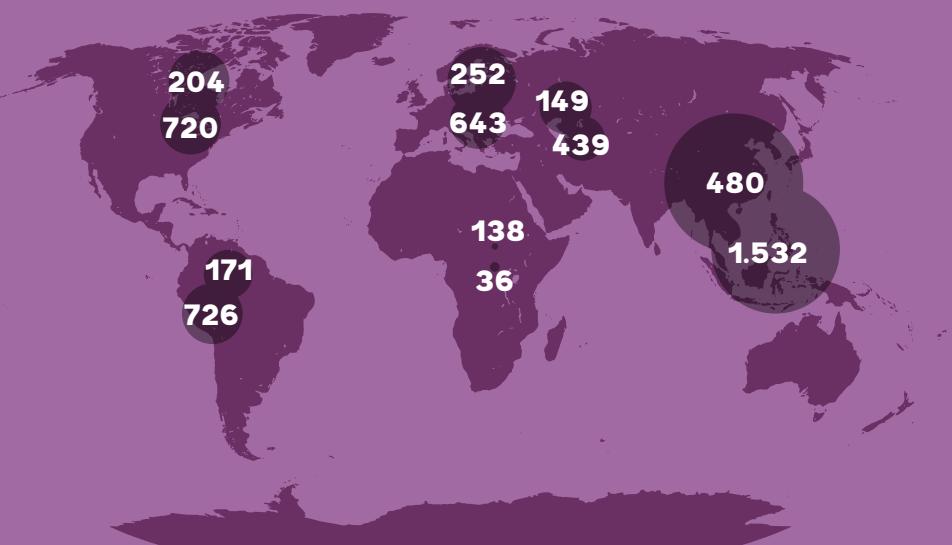
## Proyecciones

Ante el gran problema que representa hoy el calentamiento global —producido por el uso de elementos combustibles en base a carbono para la generación de energía— la hidroelectricidad se presenta como un actor clave, un proceso capaz de entregar soluciones viables, de menor impacto y compatibles con el medioambiente.

Según el índice de capacidad hidroeléctrica en Sudamérica, realizado por la *International Hydropower Association* se observa la misma tendencia mundial sobre la utilización de energías no contaminantes y energías renovables no convencionales. En específico, es posible ver un gran aumento en la capacidad del recurso hidroeléctrico en 2018.

**Tabla de Generación de energía por tipo de fuente.**

Fuente	Energía producida (TWh)
Solar	442.62
Eólica	1.122.62
Nuclear	2.635.56
Hídrica	4.059.87
Gas natural	36.703.97
Petróleo crudo	53.752.28
Carbón	43.397.14
Biocombustible	10.895.32
Otros	586.17
<b>Total</b>	<b>1569</b>





## VENTAJAS



- Representa una energía limpia de alto rendimiento.
- Gestiona responsablemente el agua dulce al permitir su almacenamiento para abastecer fácilmente actividades recreativas o sistemas de riego.
- El principal precursor (agua) es devuelto a la naturaleza sin dañar el ecosistema. En caso de que haya riesgo de inundación, se regula el caudal del río.
- No genera gases, no produce emisiones tóxicas ni causa ningún tipo de lluvia ácida.

## DESVENTAJAS



- La construcción de grandes embalses inunda importantes extensiones de terreno.
- Destrucción de la naturaleza. Represas y embalses alteran los ecosistemas acuáticos, principalmente en el río aguas abajo.
- Cuando las turbinas se abren y se cierran repetidas veces, el caudal del río puede modificarse drásticamente y causar daño en los ecosistemas. Por ejemplo, algunos estudios han evidenciado que las represas en las costas de Norteamérica han reducido las poblaciones de trucha septentrional común, las que necesitan migrar a otros locales para reproducirse.



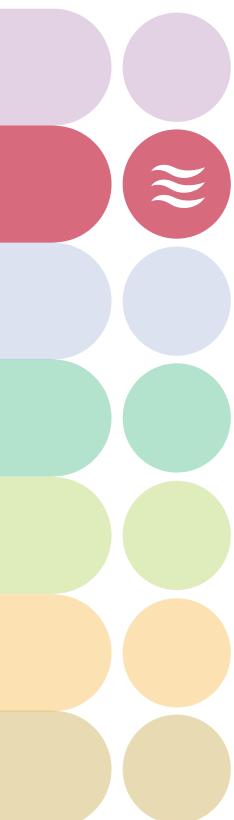
# Capítulo 2

# La velocidad del viento

Álvaro Muñoz



# EL VIENTO



Desde hace miles de años, la humanidad ha utilizado la fuerza del viento como fuente de energía. Por ejemplo, los granjeros utilizaban molinos de viento para moler los granos de sus cosechas y bombear aguas subterráneas, los marineros usaban —y usan— velas para poder capturar el viento y permitir el desplazamiento de sus barcos. En los últimos años, esta fuente de energía se ha incorporado fuertemente en la generación de electricidad gracias al uso de turbinas de viento que permiten transformar, por medio de un generador, la fuerza del viento en energía eléctrica.

## ¿Qué es el viento?

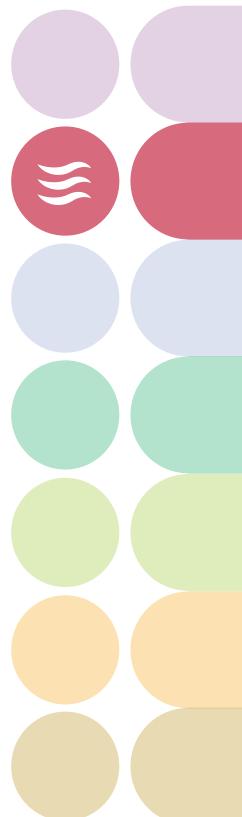
El viento es el movimiento de aire causado por diferencias de presión en la atmósfera, que se desplaza desde zonas de alta presión hacia zonas de baja presión.

Cuando el Sol calienta la superficie de la Tierra, el aire caliente sube y el frío baja. Lo anterior se da porque al calentarse, las partículas del aire se separan y este ocupa mayor volumen. Al tener mayor volumen, el aire muestra una densidad menor, razón por la que se ubica arriba del aire frío que, al contrario, tiene mayor densidad. Es así como los globos aerostáticos se elevan: gracias al calentamiento del aire que está adentro.

La presión generada por el peso del aire se denomina presión atmosférica. La presión atmosférica se mide en unidades de «atmósferas» (ATM), donde una atmósfera es el peso del aire ubicado en un punto sobre el nivel del mar en una superficie cuadrada de 1 por 1 cm. Está definido como aproximadamente 0,98 kg, lo que equivaldría a 760 mmHg (milímetros de mercurio).



Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com)



multiplicadores, se enlaza a un generador produciéndose la electricidad que alimenta al sistema interconectado nacional o al de uso local.

Los parques eólicos, por ejemplo, pueden contener desde decenas hasta cientos de aerogeneradores, los que usualmente se ubican alineados para aprovechar al máximo las ráfagas de viento provocadas por las diferencias de presión atmosférica.

En las últimas décadas, en Chile se ha iniciado una etapa propicia para el desarrollo de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables no convencionales, donde la energía eólica ha sido una de las más relevantes. En 2017, en el norte del país, una empresa eléctrica nacional se adjudicó casi ocho mil hectáreas de terrenos fiscales para llevar a cabo un proyecto que potenciara la matriz

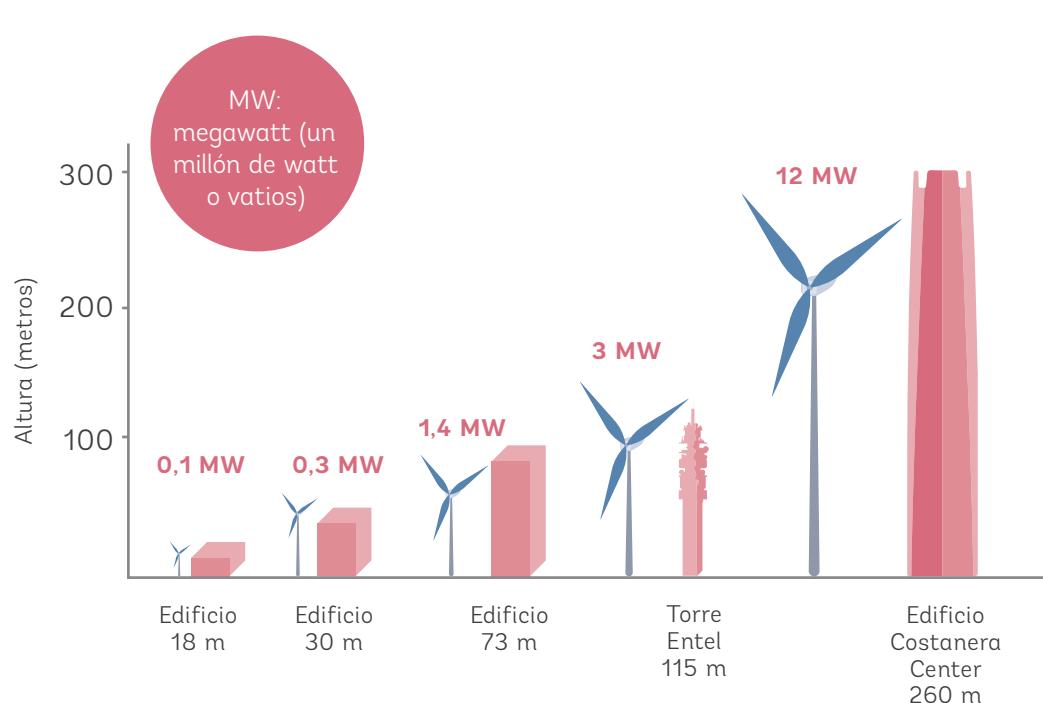
energética nacional por medio del uso de energía eólica. La propuesta involucra una inversión total de 971 millones de dólares y contempla la construcción del parque eólico más grande de Latinoamérica, ubicado en la comuna de Taltal (Región de Antofagasta) que presenta una zona que tiene una de las mayores intensidades de viento constante del planeta, lo cual permitiría proveer energía eléctrica con una capacidad equivalente al consumo de más de setecientos mil hogares. Esta iniciativa

El aire es transparente porque la luz a la que nuestros ojos es sensible —llamada luz óptica—, pasa libremente a través de este gas y no alcanza a ser absorbida. Si, por ejemplo, nuestros ojos fueran sensibles a los rayos X veríamos nuestra piel transparente y, al mirar a otras personas, solo veríamos sus huesos.

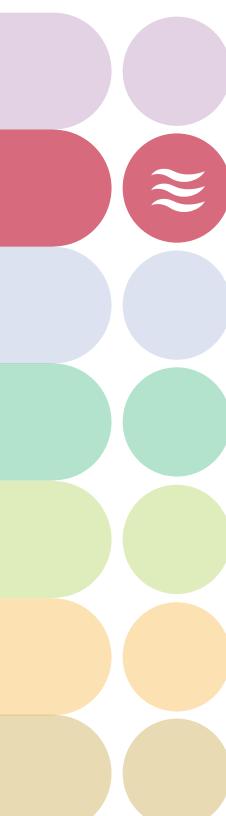
forma parte del compromiso que ha hecho el país para lograr tener, al año 2050, un 70% de energías limpias en su matriz.

### El aumento de la industria de energía eólica

El viento es una fuente de energía limpia ya que no produce contaminación de aguas ni de aire y tiene un costo de operación bajo luego de la inversión inicial ya que, entre otras cosas, el viento es un recurso natural disponible en forma gratuita. Además, la producción en masa y avances tecnológicos hacen disminuir los



Altura de turbinas de aire comparadas con las altura de edificios en Santiago de Chile.



costos asociados a los aerogeneradores y su mantenimiento.

Para poder obtener mayor energía del viento, el diseño de aerogeneradores considera dos aspectos fundamentales:

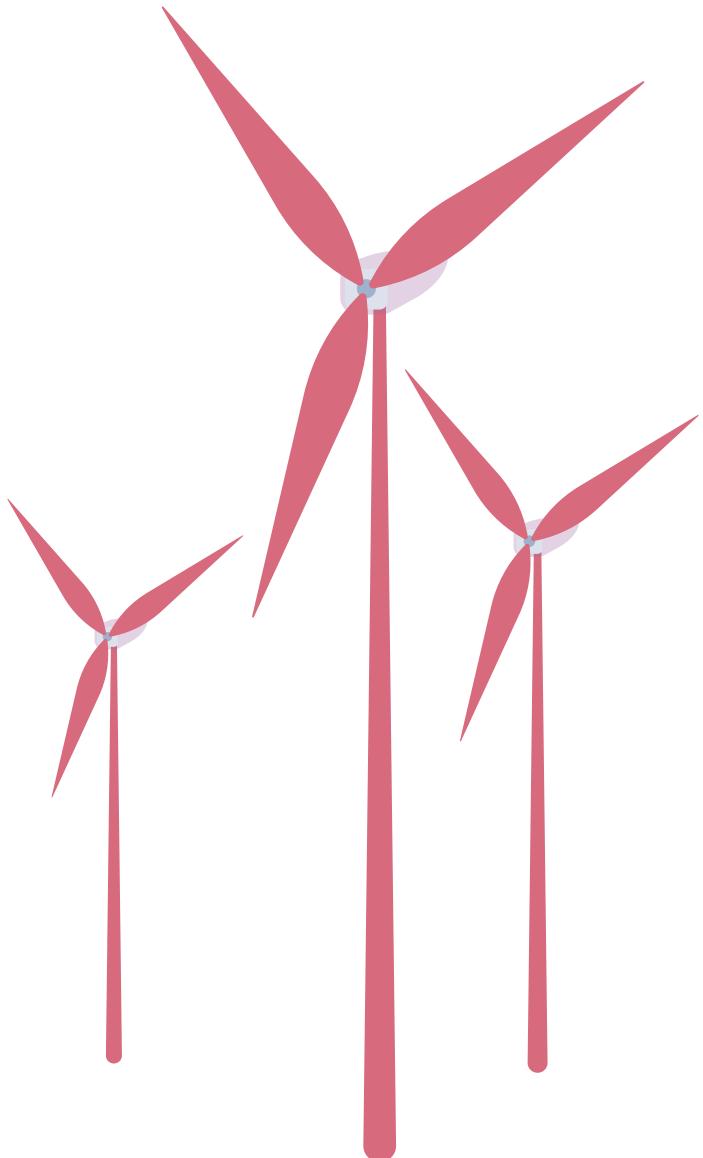
- **El tamaño de las aspas.** Esto aumentaría el área de barrido y la cantidad de energía capaz de conseguir desde del viento.
- **El tamaño de la torre.** A mayor altura, el recurso eólico es mayor en cantidad y calidad.

De esta forma, el reciente desarrollo de la energía eólica se resume en la fabricación de aerogeneradores cada vez más grandes gracias a la reducción del precio de las tecnologías asociadas a los materiales utilizados y al costo de instalación.

Entre 1980 y 1990, las torres más altas alcanzaban los 18 metros (que corresponde a un edificio de

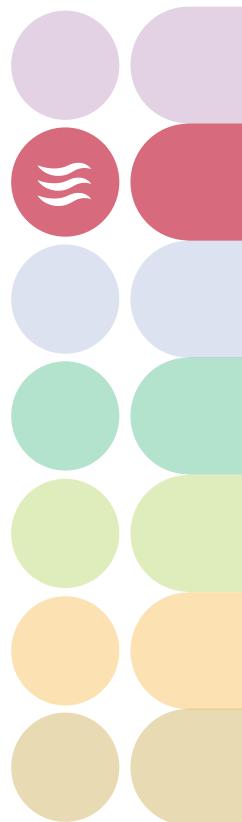
seis pisos), lo que generaba 0,1 MW de energía limpia, suficiente para alimentar catorce hogares. En 1995, la altura ya llegaba a los 30 metros y entregaba cerca de 0,3 MW de energía, equivalente a lo utilizado por cuarenta hogares. Hasta 2005, el diseño de aerogeneradores consideraba que el diámetro de las aspas debía ser igual a la altura de la torre. En ese sentido, una estructura de 73 metros de altura, tenía aspas con un diámetro total de 73 metros, lo que generaba 1,4 MW de energía. Sin embargo, desde 2015, esta situación varió y, por ejemplo, torres con 82 metros de altura (como las Torres de Tajamar, en Santiago de Chile) funcionaban con aspas con diámetros de 102 metros. Esto permitía una generación de 2 MW, cantidad suficiente para proveer energía a dos mil setecientos hogares.

En la actualidad, tenemos torres de 115 metros de altura,



que alcanzan la generación de 3 MW y, como hito de los nuevos aerogeneradores, destaca el Haliade-X que, con 260 metros de altura y un diámetro de 220 metros en sus aspas, es capaz de generar más de 12 MW de energía, lo que equivale a lo utilizado por dieciséis mil hogares.

Lo anterior es un gran logro y da paso a una nueva era en la generación de energía eólica, donde la ciencia de materiales y el desarrollo de tecnologías serán fundamentales para avanzar técnicamente en la industria y de forma armónica y respetuosa con el medioambiente.





Uno de los ejemplos más antiguos del aprovechamiento de energía eólica, son las turbinas de aire ubicadas en la villa Nashtifan, al noreste de Irán. Están hechas de arcilla, forraje y lana y, constantemente, desde hace más de mil años, han molido el trigo para formar harina.

**Villa Nashtifan, donde se ubican los molinos de viento más antiguos del mundo.**

Fuente: V4ID Afsahi / [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)



## VENTAJAS



- La energía eólica no afecta al medioambiente ni agrava el efecto invernadero.
- Con sensores y softwares capaces de monitorear la fuerza del viento, las aspas podrían modificarse en tiempo real para responder a los vientos cambiantes.
- Los aerogeneradores poseen una vida útil de treinta años.
- La energía eólica contribuye al desarrollo sostenible y al empleo local.

## DESVENTAJAS



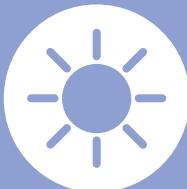
- Debido a su tamaño y el sonido que genera el movimiento de las aspas, deben ubicarse, preferentemente, lejos de zonas pobladas.
- Es una de las energías menos predecible, ya que el viento depende de las condiciones meteorológicas.
- El plazo de desarrollo, desde que se comienza a construir un parque eólico, hasta que inicia su vertido de energía a la red eléctrica, puede tardar unos cinco años.
- Por ahora, su almacenamiento es imposible. La energía eléctrica producida o se consume en el momento o se pierde.



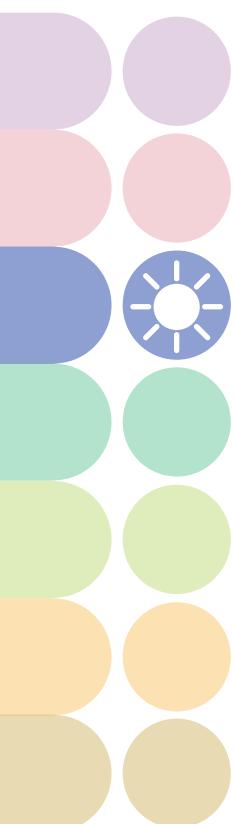
# Capítulo 3

# La energía de nuestra estrella

Ximena Zárate



# EL SOL



El Sol es una estrella gigante y, ubicada al centro del sistema solar, constituye la mayor fuente de radiación electromagnética que recibimos en forma de luz y calor.

Desde el comienzo de nuestras civilizaciones, el Sol se ha considerado sagrado y poderoso ya que, en la Tierra, la vida depende de este astro. Los argumentos que sostenían esta importancia eran variados. Algunos lo atribuían al hecho de que el Sol tenía el poder de nacer y morir cada día; otros a que regulaba el clima, lo que indicaba los tiempos más aptos para hacer siembras y cosechas. También hubo razones de orden temporal, ya que gracias a él se originaron los calendarios. Si bien

todo lo anterior es efectivo, en la actualidad, la ciencia ha comprobado que el Sol es fuente de vida debido a la energía que recibimos de él y que esta puede ser medida y capturada.

De acuerdo con la primera ley de la termodinámica, que indica que «la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma», los distintos avances tecnológicos dieron paso a la creación de paneles o celdas solares, cuya función es convertir la radiación solar en energía eléctrica. En el tiempo, se han diseñado distintos tipos de celdas solares que se clasifican en generaciones de tecnologías fotovoltaicas.

Hace más de cinco décadas, algunos investigadores enfocaron sus

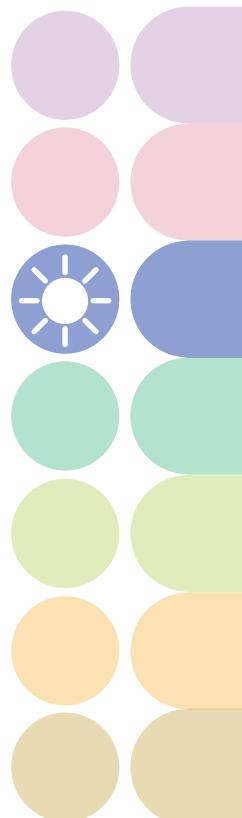
La palabra «foto» viene del griego y significa «luž», mientras que «voltaico» hace alusión al físico italiano Alessandro Volta, quien inventó la pila eléctrica.

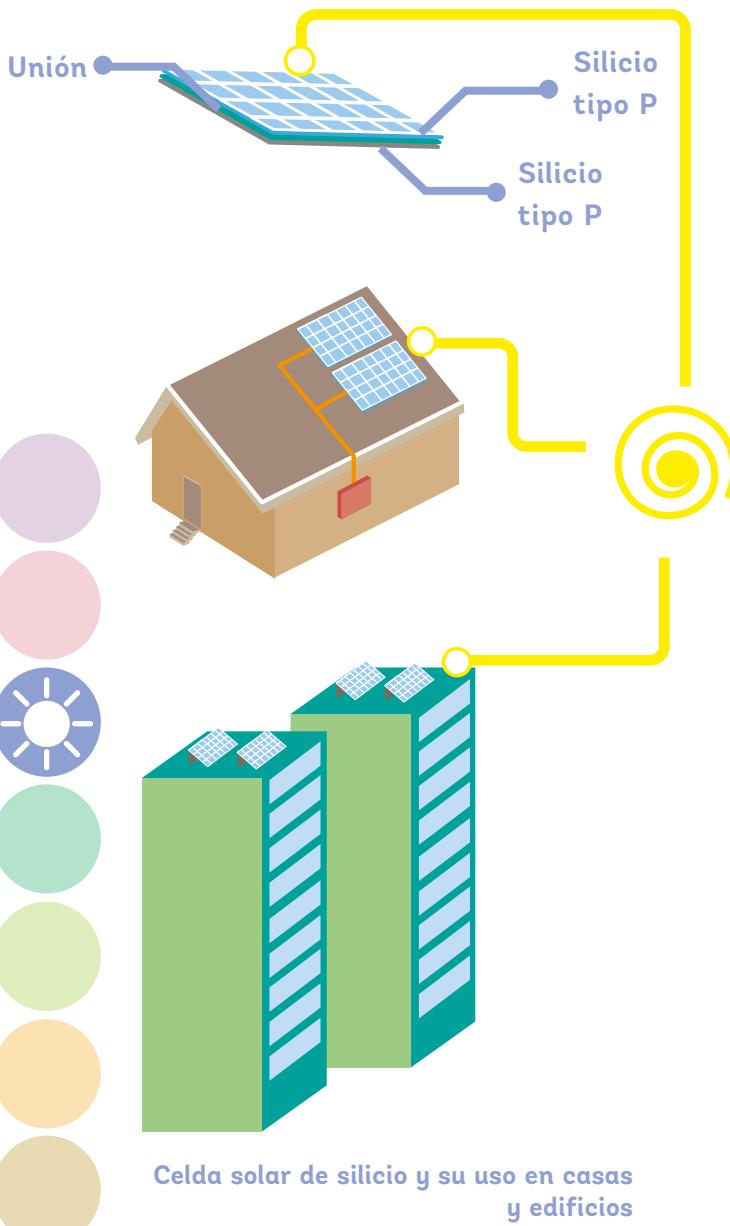
estudios en celdas constituidas por uniones simples de láminas de silicio, lo que abrió paso al crecimiento de esta tecnología y promovió un aumento significativo en su eficiencia, la que hoy está entre el 31% y 41% de fotoconversión (proceso que convierte la energía solar en energía eléctrica).

Actualmente, en el mercado se venden paneles solares de primera generación —cuyo funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico descubierto por Heinrich Hertz en 1887 y explicado teóricamente por el Premio Nobel de Física 1921, Albert Einstein—, por lo tanto, su uso, como suministro de energía

eléctrica en casas y edificios para aprovechar la radiación solar que llega a los techos, se ha masificado. Esto ha generado que parte de la electricidad empleada en los hogares o lugares de trabajo se obtenga de una fuente limpia y descentralizada como la luž del Sol.

El efecto fotoeléctrico consiste en generar una corriente a partir de luž y para que esto suceda la luž debe impactar un metal. Si la energía de las partículas de luž o fotones que chocan con el metal, es superior a un cierto límite (que depende del tipo de metal) los átomos absorberán esa luž y expulsarán electrones, lo que provocará una corriente de cargas eléctricas. O sea, mientras la energía de los fotones es mayor —que no es lo mismo que la intensidad o cantidad de ellos—, mayor es la posibilidad de que los electrones salgan del metal y se genere dicha corriente.



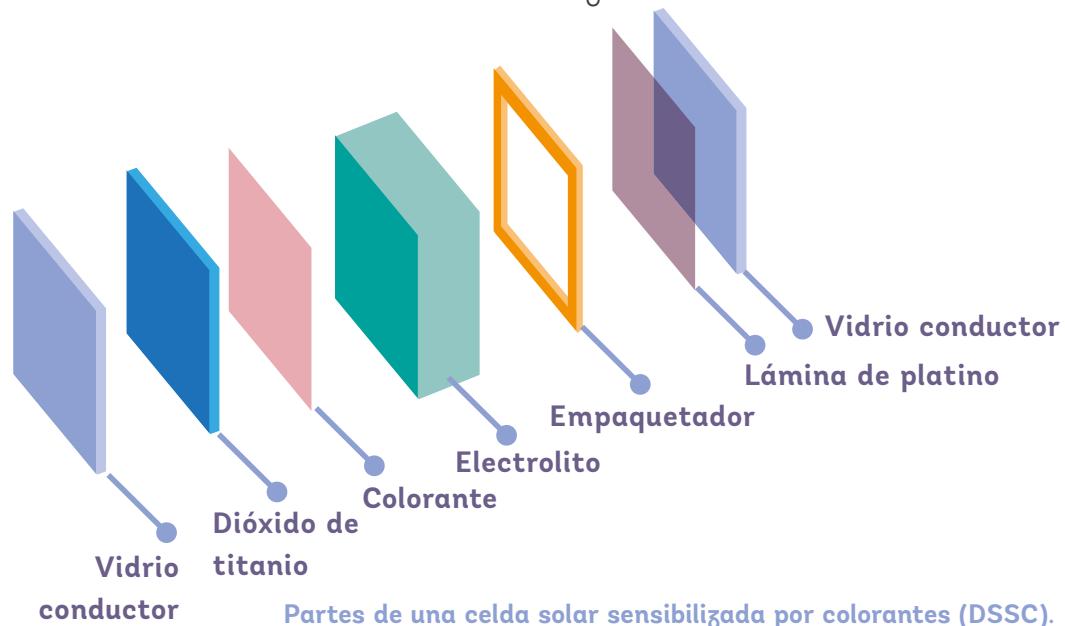


La segunda generación de celdas fotovoltaicas apareció durante la década de los ochenta. Se diseñaron sustituyendo las placas de silicio de las celdas de la primera generación, por láminas delgadas de otros semiconductores. Se ha observado el uso exitoso de materiales como teluro de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre-indio (CIS), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y silicio amorfo.

Existen, también, las celdas de tercera generación. Están las llamadas «celdas de multiunión», que se construyen apilando varias celdas con materiales que presentan distinta absorción de radiación electromagnética, con el objetivo de aprovechar el mayor rango de luz. Aunque, teóricamente, son más eficientes y tienen un bajo costo de producción, su tecnología aún se encuentra en fase de experimentación al igual que las celdas de la cuarta generación.

Otras celdas de este tipo, y que

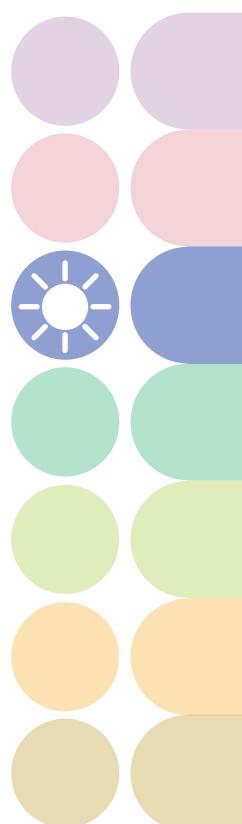
constituyen una alternativa prometedora desde un punto de vista social y económico, son las celdas solares sensibilizadas por colorantes o DSSC (del inglés Dye Sensitized Solar Cell). Su diseño fue propuesto, en 1991, por el químico Michael Grätzel por lo que también son conocidas como «celdas de Grätzel».

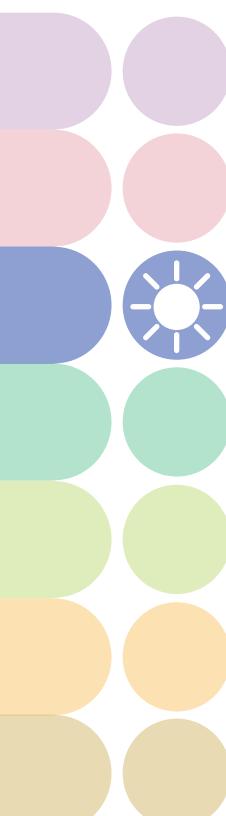


### ¿Qué es y cómo funciona una celda solar sensibilizada por colorantes?

En una DSSC, la corriente eléctrica se genera gracias a la absorción de fotones por el colorante que se encuentra impregnado en

el cristal de dióxido de titanio. Estos fotones tienen la energía suficiente para excitar a los electrones de las moléculas de colorante y ser transferidos al dióxido de titanio. A este proceso se le denomina «sensibilización». Los electrones viajan por

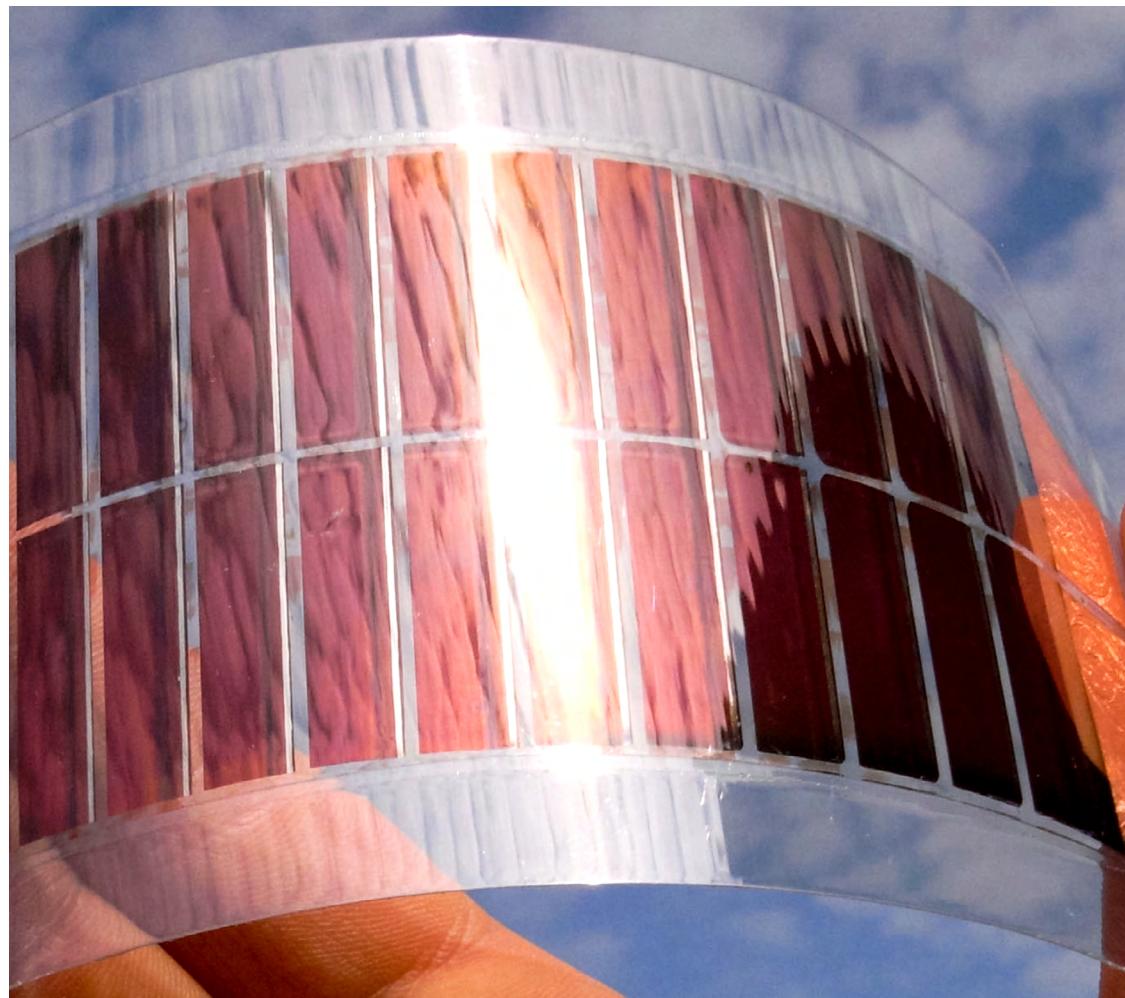




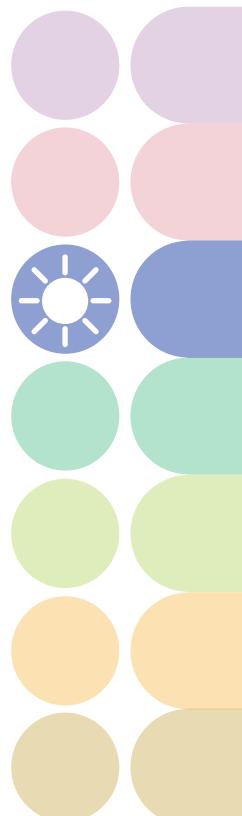
Las celdas solares se crearon sobre la base de las reacciones químicas que ocurren en las plantas, específicamente, la fotosíntesis. Una molécula, llamada clorofila, ubicada en las hojas, atrapa la luz del Sol y la usa para sintetizar hidratos de carbonos. De esta forma, la energía que viene del Sol es transformada en energía química.

los vidrios conductores hasta la solución de un electrolito —generalmente yodo/triyoduro— que regresa los electrones a los colorantes que se encuentran en estado oxidado. De esta forma se produce una «diferencia de potencial». El funcionamiento de la celda es regenerativo, ya que no se consumen ni producen sustancias químicas durante el ciclo de trabajo, por lo tanto, este se repite mientras la radiación solar incida sobre el dispositivo.

En comparación con otras tecnologías solares, las celdas de Grätzel tienen algunas ventajas como, por ejemplo, que pueden funcionar en condiciones de poca luz, es decir, con luz solar indirecta o días nublados, y que son más económicas que las celdas basadas en silicio. Además, su diseño de múltiples colores —cuyo origen puede ser orgánico o inorgánico— ofrece un gran potencial para usarlas como parte de la arquitectura y decoración de edificios y otras construcciones. De hecho, los avances en investigación han llegado al punto de que estas celdas pueden ser impresas o construidas incluso en superficies flexibles, lo que abre un gran abanico de posibilidades en cuanto a formas, colores, funciones y usos.



**Celdas solares flexibles de rutenio. Productos de eficiencia energética. Fuente: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)**



Si una celda solar sensible a colorante se acopla a materiales electrocrómicos, los que controlan sus propiedades ópticas de manera reversible bajo la aplicación de un voltaje, además de aprovechar la luz para generar y almacenar electricidad, este artefacto podría cambiar de color mientras deja pasar la luz. Visualmente, la celda se comportaría como los famosos lentes photocromáticos, pero ¡además, obtendríamos electricidad! Es de esta forma que se están construyendo las llamadas «ventanas inteligentes» que, muy probablemente, serán las ventanas del futuro.

Finalmente, la cuarta generación de celdas fotovoltaicas, también conocida como «inorgánicos en orgánicos», combinan el bajo costo y el diseño de películas delgadas, con alta flexibilidad e incorporan nuevos materiales como nanopartículas metálicas, óxidos metálicos, grafeno y sus derivados.



**Sistema fotovoltaico.**

Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com).



## VENTAJAS



- Los paneles solares de silicio cuentan con una garantía de aproximadamente veinticinco años, lo que los convierte en la mejor alternativa a largo plazo.
- Para el caso de particulares, es posible comercializar la energía que se produzca en exceso.
- Es una buena alternativa para sitios aislados o localidades con difícil acceso a la red eléctrica.
- El mantenimiento de las celdas solares de silicio tiene un bajo costo. Con una o dos limpiezas al año es suficiente.



## DESVENTAJAS



- A la hora de implementar este tipo de energía, hay que tener en cuenta que en determinadas zonas el horario solar es más corto.
- La variación en la inclinación de la radiación solar influye en el rendimiento de los paneles solares.
- La relación entre la cantidad de energía recibida en un panel solar y la cantidad de energía eléctrica producida es baja en comparación con otras fuentes de energía.
- El costo inicial de instalación de paneles solares es todavía muy alto.

«La Tierra es la madre y la tumba de la  
naturaleza; su antro sepulcral es su seno  
creador»

(William Shakespeare)

# Capítulo 4

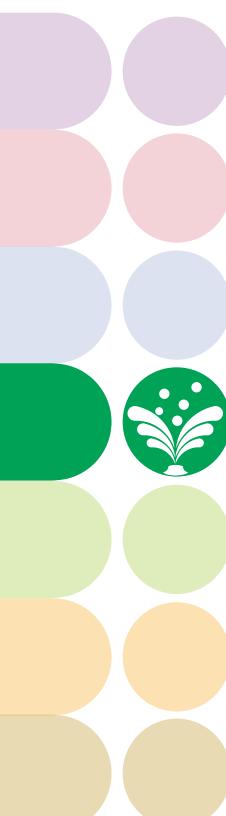
# Desde el corazón de la

# Tierra

Nancy Alvarado



# LA TIERRA



Frente al panorama actual de emisión de gases de efecto invernadero, es fundamental emplear recursos renovables para generar energía. En este escenario mundial, la energía geotérmica se presenta como una de las alternativas para la generación, tanto de electricidad como de calefacción.

## Conociendo la energía geotérmica y dónde se encuentra



La energía geotérmica es un tipo de energía renovable que proviene del calor interno de la Tierra que, la mayoría de las veces, acumula agua y vapor de agua. Este calor se produce a más de 4.000 kilómetros de profundidad desde la superficie, donde se generan altas presiones y temperaturas que bor-

dean los 6.800 °C. Esta temperatura, aunque va disminuyendo conforme se acerca a la superficie de la Tierra, es lo suficientemente alta como para extraerla y utilizarla.

La energía geotérmica se extrae desde cualquier superficie, sin embargo, las fuentes con temperaturas más altas están en las áreas con actividad geológica.

De acuerdo con este requisito, el denominado Anillo de Fuego del Pacífico —ubicado en la cuenca del océano Pacífico y que reúne las costas de América, Asia, Australia y Nueva Zelanda—, posee la actividad geológica más grande del planeta, esto significa que es una zona con alta capacidad natural para extraer energía

geotérmica. Atractivos fenómenos naturales como las termas, las fumarolas y los géiseres son productos de esta actividad.

El uso de este tipo de energía se remonta al año 1904, en la loca-

lidad de Larderello, en Pisa, Italia, donde se construyó la primera planta piloto geotérmica y que aún continúa activa. Hoy en día, más de veinte países generan energía geotérmica, pero los que



**Géiseres del Tatio. Región de Atacama, Chile.**  
Fuente: Olga Danylenko / [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)

En la actualidad, de las reservas geotérmicas exploradas en todo el mundo, solo el 15% son explotadas para la producción de electricidad.

tienen mayor capacidad de extracción son Estados Unidos, Indonesia, Filipinas, Italia, Turquía, Nueva Zelanda, México, Islandia y Japón, entre otros.

A nivel regional, tanto América Central como América del Sur están creciendo en el desarrollo de centrales geotérmicas. De hecho, en 2017, cinco países del Caribe recibieron aportes del Fondo de Inversión del Caribe de la Unión Europea (EU-CIF) para la explotación y primeros estudios en extracción de energía geotérmica.

mientras que El Salvador, Costa Rica, Nicaragua, Argentina y Chile ya poseen al menos una central geotérmica en funcionamiento.

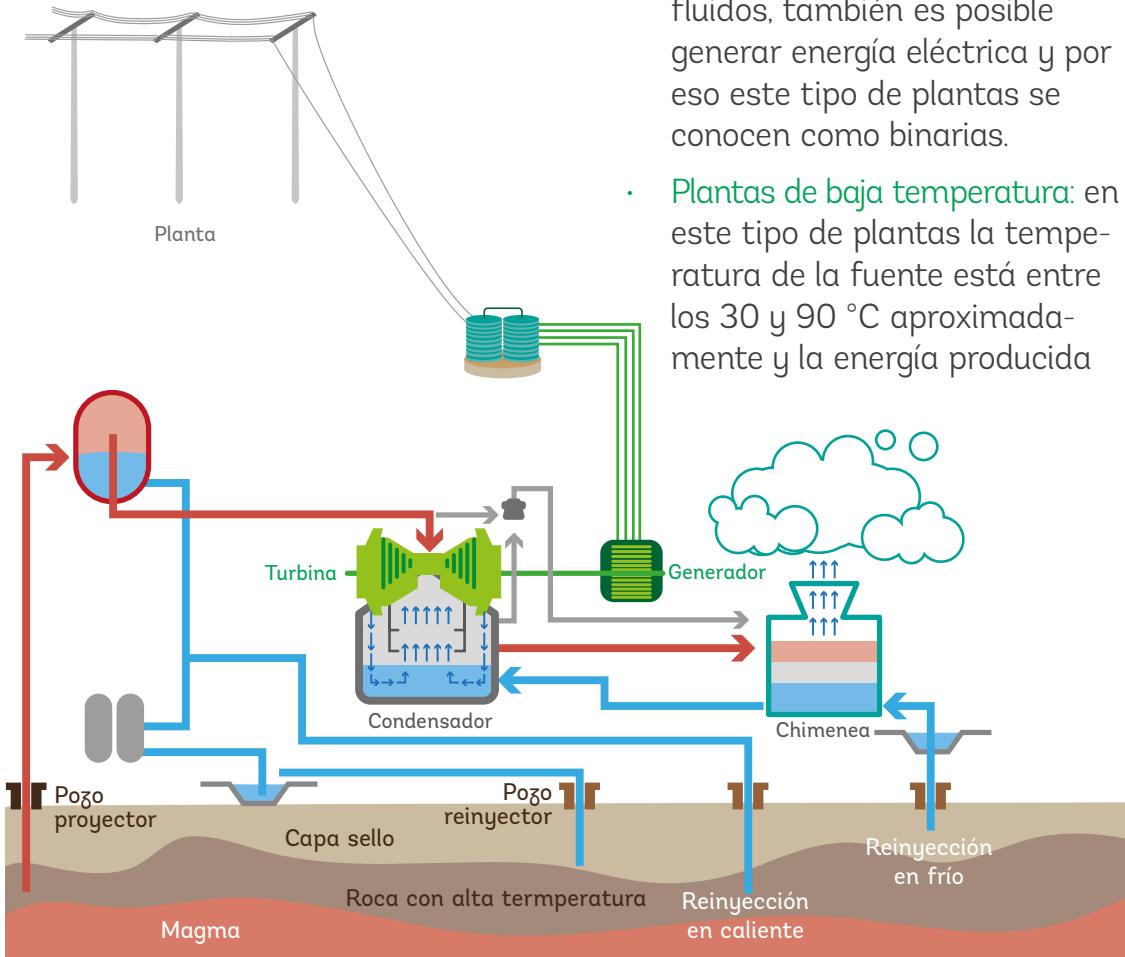
### ¿Cómo funciona la energía geotérmica?

A través del mundo se pueden encontrar diferentes tipos de fuentes geotérmicas y se diferenciarán entre ellas por la gradiente de temperatura que tenga el recurso.

De acuerdo con esto, se pueden dividir en:

- **Plantas de alta temperatura:** son aquellas donde se genera energía eléctrica debido a la alta presión y temperatura —por sobre los 150 °C— del yacimiento. Generalmente, se ubican en zonas de subducción o volcánicas.
- **Plantas de media temperatura:** la temperatura de la fuente se encuentra entre los 100 y los 150 °C. Para usos térmicos, estas plantas generadoras





se utilizan, principalmente, a nivel industrial. Sin embargo, mediante el intercambio de fluidos, también es posible generar energía eléctrica y por eso este tipo de plantas se conocen como binarias.

- **Plantas de baja temperatura:** en este tipo de plantas la temperatura de la fuente está entre los 30 y 90 °C aproximadamente y la energía producida

se usa para calefacción en viviendas, actividad agrícola y otras acciones de menor envergadura.

Para aumentar la eficiencia de las plantas de media y baja temperatura se está implementando la combinación con otras fuentes energéticas.

### ¿Cómo funciona una planta geotérmica?

En términos generales, una planta geotérmica tiene pozos, una red de tuberías y una central generadora. A través de los pozos, se extrae el agua —que se presenta como mezcla de vapor de agua y agua líquida— que viene a alta temperatura y presión. Luego, esta mezcla hace funcionar una turbina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

Para asegurar el uso responsable del recurso geotérmico, el vapor de agua es condensado y devuelto al pozo, proceso denominado

«reinyección».

En las plantas que usan el método binario, el proceso consiste en que al agua que pasa por las tuberías se le añade otro líquido con menor temperatura de ebullición (generalmente, isopentano) que, al tener contacto con el agua, mediante un intercambiador de calor, se evapora y entrega energía mecánica a las turbinas que luego producen energía eléctrica.

### Aplicaciones de la energía geo-



Una central térmica basada en carbón produce alrededor de 240 kilos de CO<sub>2</sub> por gigajoule (GJ) generado, mientras que una central geotérmica de 0 a 8 kilos de CO<sub>2</sub> por la misma cantidad de energía producida.

## térmica

Aparte del uso en hogares convertida en energía eléctrica, la energía geotérmica tiene otras aplicaciones. Por ejemplo, el sector de los agroalimentos consume mucha energía y esta proviene, principalmente, de combustibles fósiles, lo que produce una alta emisión de contaminantes y gases que aumentan el efecto invernadero. Con esto a la vista, la energía geotérmica se presenta como una fuente sostenible si tenemos en cuenta que, en general, las industrias alimentarias requieren de temperaturas bajas a medias, lo cual, a nivel geotérmico, está disponible casi en todo el planeta. Tanto es así que, en la actualidad, treinta y ocho países usan energía geotérmica para producción agrícola.

En criaderos de cangrejos, ostras, ranas y carpas también se usa energía geotérmica. El agua pro-

veniente de esta fuente energética tiene una temperatura constante y es baja en contaminantes emitidos, ambas excelentes condiciones para el desarrollo de esas especies.

A nivel industrial, la energía geotérmica también puede ser una alternativa. De hecho, en Nueva Zelanda, la papelera Tasman Pulp & Paper Co. Ltd usa vapores geotérmicos para su producción y con esta importante acción han logrado disminuir en un 46% los gases de efecto invernadero.



## VENTAJAS



- Se calcula que existe unas cincuenta mil veces más esta energía, que gas natural o petróleo.
- Está presente en todas partes del mundo.
- Tiene alto rendimiento y bajo consumo.
- Es independiente de las variables meteorológicas.



## DESVENTAJAS



- Emite gases como ácido sulfhídrico y dióxido de carbono.
- Al corto plazo, cuando se construyen los pozos, se emite mucho ruido. A largo plazo, los terrenos ocupados por la central se hunden.
- Posible contaminación de aguas próximas a la central con sustancias como arsénico y amoníaco.



# Capítulo 5

## **Mares y mareas**

Natalia Inostroza



# LAS MAREAS

En nuestros mares y océanos hay un gran potencial energético que puede ser convertido en electricidad y proviene principalmente de:

- **La energía de las corrientes**, donde se hace uso de la energía cinética que tienen las corrientes marinas.
- **La energía mareotérmica**, que usa la variación entre la temperatura de la superficie y la temperatura de aguas profundas. Se requiere un gradiente térmico de al menos 20 °C.
- **La energía undimotriz o energía a partir del movimiento de las olas**, que utiliza la fuerza con la que se desplaza determinada masa de agua a

causa del rozamiento con las corrientes de aire (oleaje).

- **La potencia osmótica o también llamada energía azul**, obtenida, mediante ósmosis, por la diferencia de concentraciones de sal entre el agua de mar y el agua de los ríos.
- **La energía mareomotriz, que aprovecha el ascenso y descenso del agua del mar** producidos por las fuerzas gravitatorias del Sol y la Luna. Esta es la más utilizada y una de las principales fuentes de energía renovable.

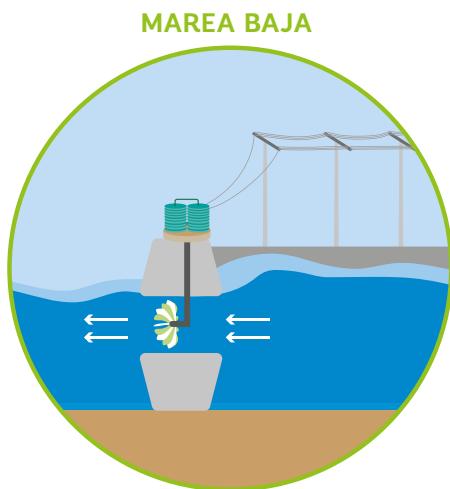
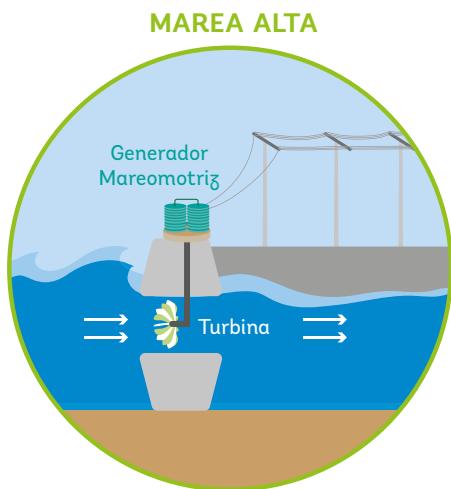
La energía mareomotriz es mayor en las regiones geográficas donde hay más diferencia entre las ma-

reas (pleamar y bajamar). Asimismo, estas fluctuaciones dependerán de la posición geográfica.

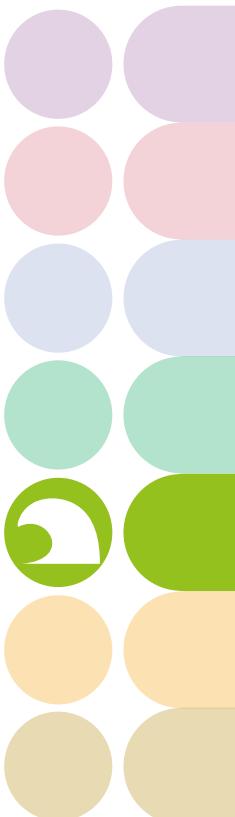
Cuando la gravedad de la Tierra y de la Luna se alinean entre sí, sus influencias se vuelven muy fuertes y hacen que millones de litros de agua se muevan o fluyan hacia la costa para crear una condición de «marea alta». Del mismo modo, cuando la gravedad de la Tierra y la de la Luna están, entre sí, en una posición de 90°, sus influen-

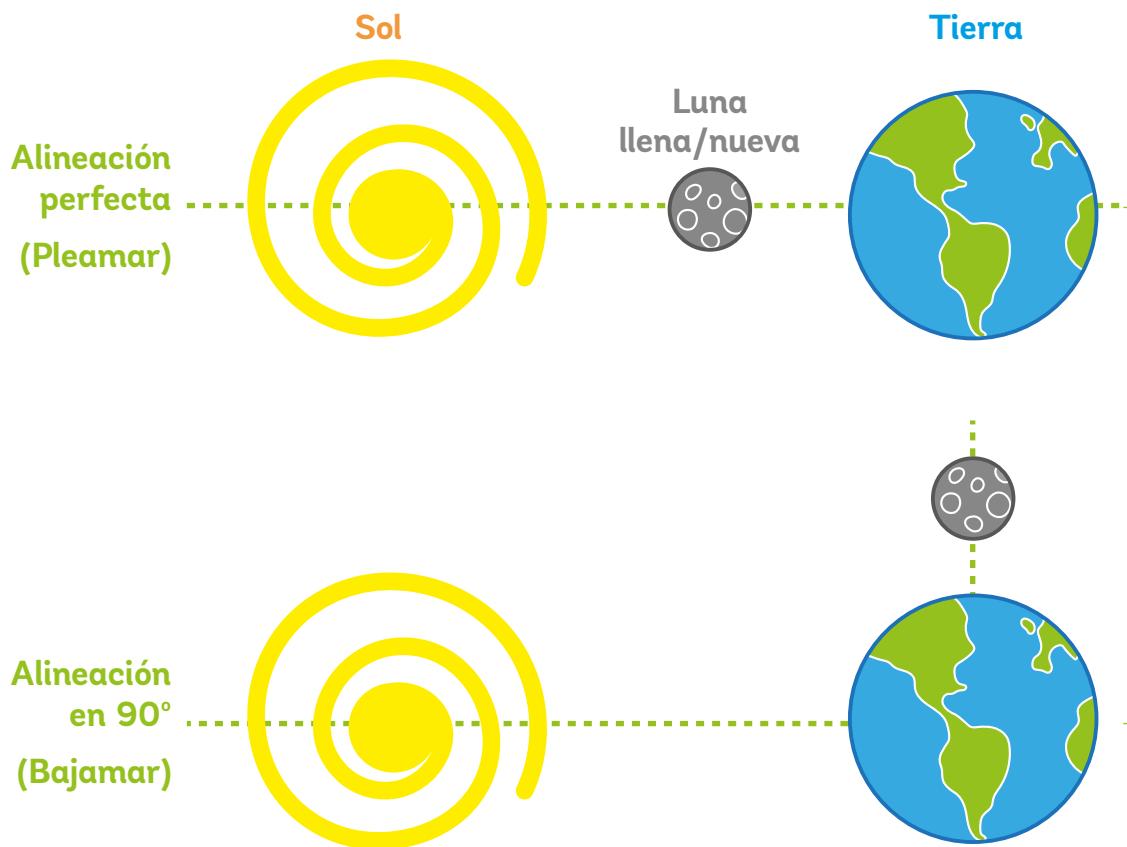
cias son más débiles y el agua fluye desde la orilla a medida que la masa de agua se mueve a otra ubicación en la Tierra, lo que da paso a una «marea baja». Este flujo y reflujo de las mareas ocurre dos veces durante cada período de rotación de la Tierra, con ciclos lunares —semanales y anuales— más fuertes superpuestos a estas mareas.

Cuando la Luna está en perfecta alineación con la Tierra y el Sol,



**Energía producida por la diferencia de altura en las aguas de los océanos durante la subida y bajada de las mareas.**





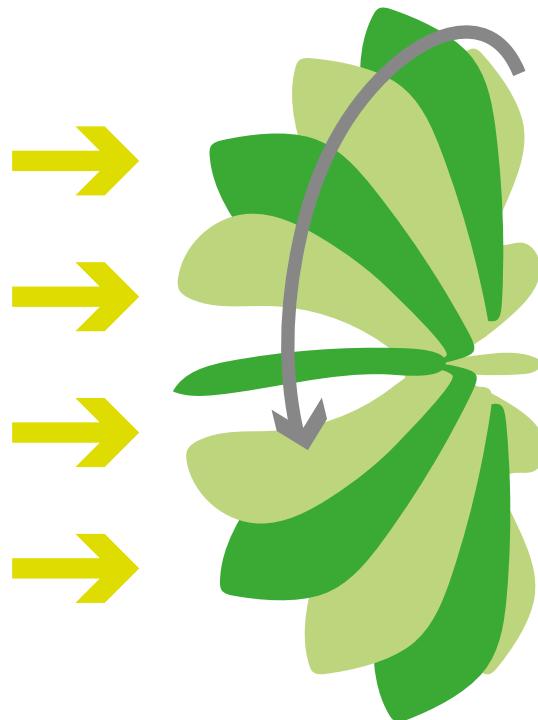
La energía mareomotriz se produce por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol, los que atraen el agua hacia arriba, mientras que la rotación y poder gravitacional de la Tierra, llevan el agua hacia abajo, lo que provoca cambios verticales periódicos en estos cuerpos de agua en movimiento. Estos cambios reciben el nombre de «mareas». Existe la marea alta (pleamar) y la marea baja (bajamar).

la fuerza gravitacional de ambos se vuelve mucho más fuerte de lo normal, con la marea alta, muy alta, y con la marea baja, muy baja, durante cada ciclo de marea. Este movimiento es el que se aprovecha para mover una turbina y generar energía eléctrica.

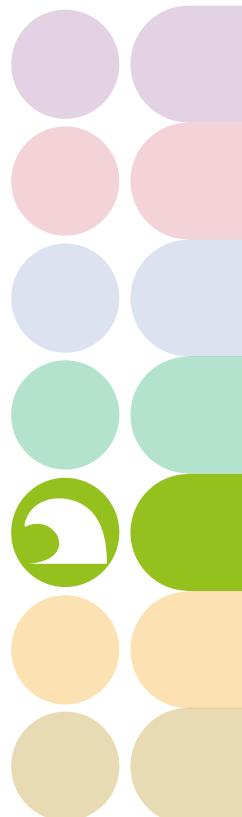
### ¿Cómo funciona la producción de energía a partir de las mareas?

En el siglo XX, la ingeniería ha desarrollado formas de usar el movimiento de las mareas para generar electricidad en áreas geográficas donde existe una diferencia significativa entre la marea alta y la marea baja. Algunos métodos difieren entre sí pero todos usan generadores especiales (Tidal Stream Generators o TSG por sus iniciales en inglés) que utilizan la energía cinética del agua en movimiento para movilizar las turbinas. Debido a que el agua es mucho más densa que el aire, la energía de las mareas es más

poderosa que la energía del viento, lo que produce un flujo constante y confiable de electricidad.



Una turbina es una máquina que toma energía del flujo de un fluido. Ese fluido puede ser aire (viento), líquido (agua) o gas.



## La energía mareomotriz en el mundo

La central mareomotriz de barrera más emblemática del mundo es la central La Rance, ubicada en el estuario del río Rance, en la región de Bretaña, en Francia. Se empeñó a construir en 1960, pero solo en 1966 comenzó a generar energía. En este estuario, la amplitud de marea alcanza los 13,5 metros. Debido a las mareas, el caudal que entra llega a los 20.000 m<sup>3</sup>/s y tiene un área embalsada de un poco más de 22 km<sup>2</sup>. La potencia de esta central es de 240 MW y, anualmente, produce 550 GWh, con un rendimiento que alcanza el 26%.

Hoy en día, existe gran interés en el sector energético mareomotriz. Así es como en Francia, Canadá, Suiza, Estados Unidos y China, que ya tienen plantas operando, este tipo de energía sigue tomando fuerza y con proyección de expan-

sión. Por ejemplo, en Reino Unido se calculó que la capacidad total de la energía mareomotriz de su país llegaría a 27,5 GW en 2050, lo que equivaldría a más de una quinta parte de su demanda actual de electricidad.

## Impacto en el medioambiente

En general, este tipo de extracción de energía conlleva un gran impacto ambiental ya que su construcción afecta directamente la ecología de los lugares donde se instala. Sin embargo, al ser una energía renovable que no produce emisiones de CO<sub>2</sub>, se presenta como una alternativa al uso de energía proveniente de combustibles fósiles.





## VENTAJAS

- Las mareas son predecibles. Al conocer sus ciclos, se hace más fácil la construcción de sistemas con las dimensiones adecuadas, dado que ya sabemos qué potencia podemos esperar en cada caso.
- Esta energía tiene la capacidad de abastecer a quince millones de hogares, ahorrar setenta millones de toneladas de carbono y crear dieciséis mil empleos.
- Dado que el agua es mil veces más densa que el aire, es posible generar electricidad a baja velocidad. Incluso, con velocidades de un metro por segundo puede obtenerse energía.



## DESVENTAJAS

- Hasta ahora, la cantidad de energía producida de esta forma ha sido pequeña. Esto se debe a que las formas de producción de energía de las mareas aún están en desarrollo.
- Hay muy pocas plantas, de tamaño comercial, operativas en el mundo.
- Como requiere de una gran diferencia de nivel entre las mareas alta y baja, hasta ahora solo es factible de producirse —a un precio razonable— en las costas de China, Francia, Inglaterra, Canadá, Argentina y Rusia.
- Las centrales mareomotrices deben construirse en tierra firme, lo que genera ocupación de zonas costeras, impacto visual, entre otros.





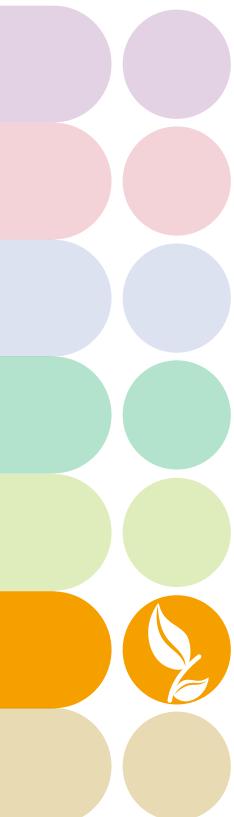
# Capítulo 6

## **Biomasa: fuente inagotable de energía**

Lorenzo Reyes-Bozo



# BIOMASA



La biomasa se define como la materia orgánica renovable de origen vegetal o animal (incluye los residuos y los desechos orgánicos) que puede ser aprovechada para generar calor y/o electricidad.

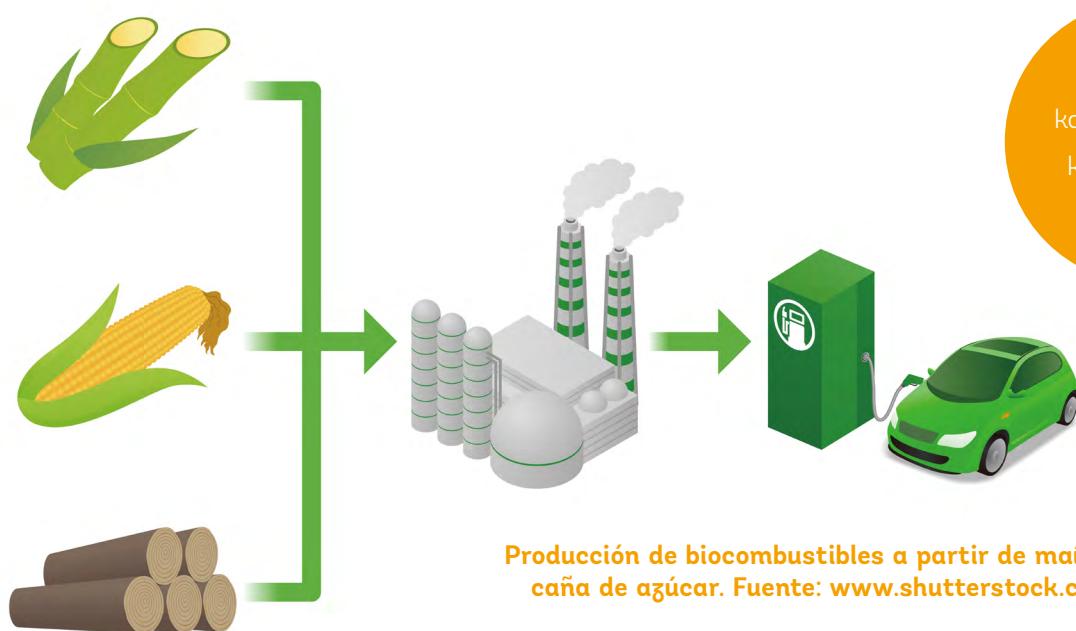
La biomasa se produce de la transformación de la energía proveniente del sol en energía química, a través de la fotosíntesis que realizan las plantas. Parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica y puede utilizarse como fuente energética.

## Clasificación de biomasa

De acuerdo con el método de obtención, la biomasa puede clasificarse en biomasa primaria y biomasa secundaria.

La biomasa primaria se consigue directamente de los ecosistemas naturales. La biomasa secundaria o también llamada residual, es aquella que se obtiene como residuo, desecho o subproducto de actividades realizadas por los seres humanos. Si bien el origen de la biomasa puede ser diverso, destacan los sectores productivos agrícola, forestal e industrial.

La biomasa agrícola puede considerar cultivos energéticos (producción de biocombustibles para generar calor y/o electricidad), o bien, contemplar todos los residuos vegetales obtenidos durante el manejo de distintos cultivos, como los restos de la paja, restos del manejo de plantaciones de

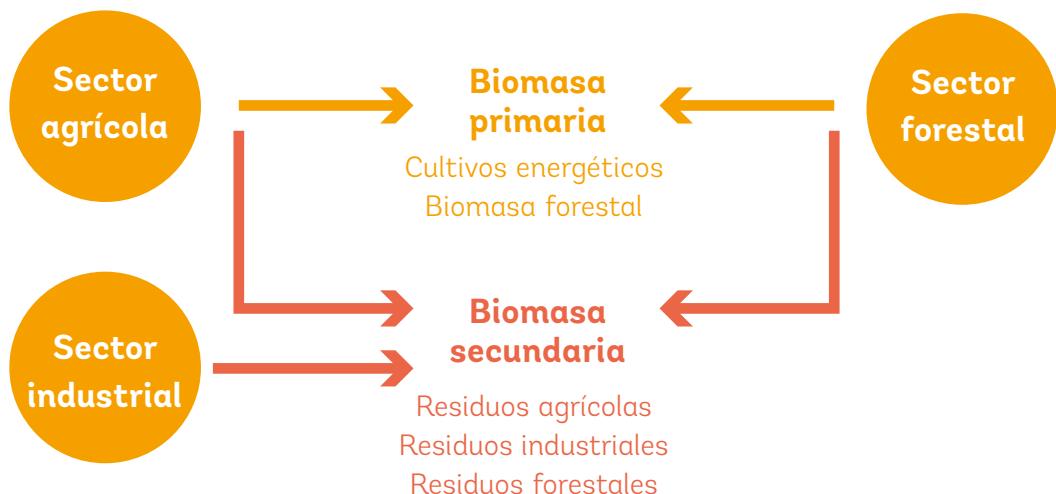


olivos, de frutales, de vid o restos de podas, de ramas, etc.

La biomasa forestal es la que existe en los diversos tipos de bosques. En este caso, es posible aprovechar directamente la energía disponible en los árboles y también la energía de los residuos (cortezas, restos de podas, aserrín, virutas, entre otros) generados

en el manejo del propio bosque o durante la producción de otros productos.

Por su parte, la biomasa industrial considera residuos de los sectores agroalimentarios y de la transformación de la madera. Destaca aquí la industria de la celulosa y el papel.



**Principales sectores productores de biomasa y tipos de biomasa disponible.**

El contenido energético de la biomasa se mide a través del poder calorífico, el que depende de su contenido de humedad. Por ejemplo, el aserrín y la viruta tienen un poder calorífico entre 2.600 y 3.800 kcal/kg para contenidos de humedad entre 35% y 15%, respectivamente. La cáscara de almendra tiene un poder calorífico aproximado de 3.950 kcal/kg, mientras que el cartón tiene unos 3.700 kcal/kg.

### **Tecnologías para el aprovechamiento energético de la biomasa**

Existen distintas tecnologías disponibles para el aprovechamiento energético de la biomasa primaria y secundaria. Los procesos de conversión térmica son:

- Incineración
- Gasificación
- Pirólisis y termólisis

## Incineración

El proceso de incineración se fundamenta en una reacción química de oxidación térmica a partir de un exceso de oxígeno. Todo el carbono presente en la biomasa se combusciona y se obtiene de esto dióxido de carbono y agua. La tecnología de este proceso convierte prácticamente toda la energía química de los componentes de la biomasa en energía térmica.

### Energía eléctrica

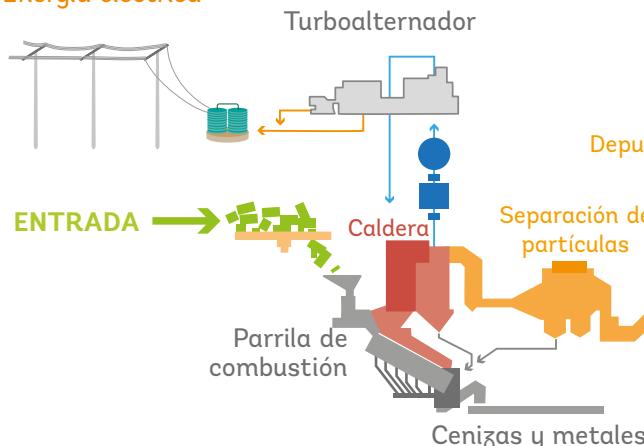
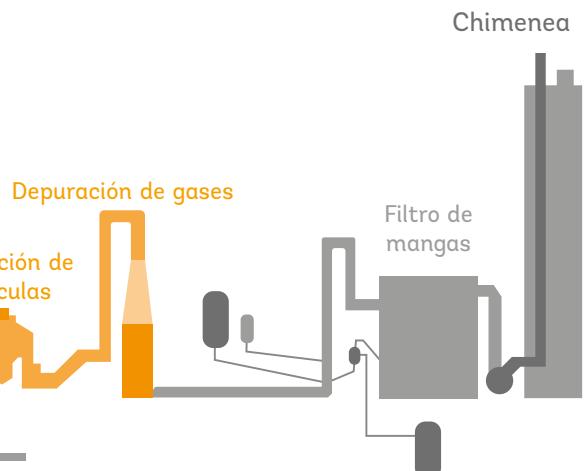


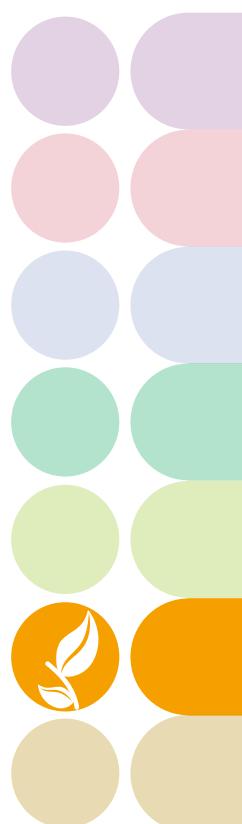
Figura adaptada de Grau y Farré (2011). *Situación y potencial de valorización energética directa de residuos: Estudio Técnico PER 2011-2020.*

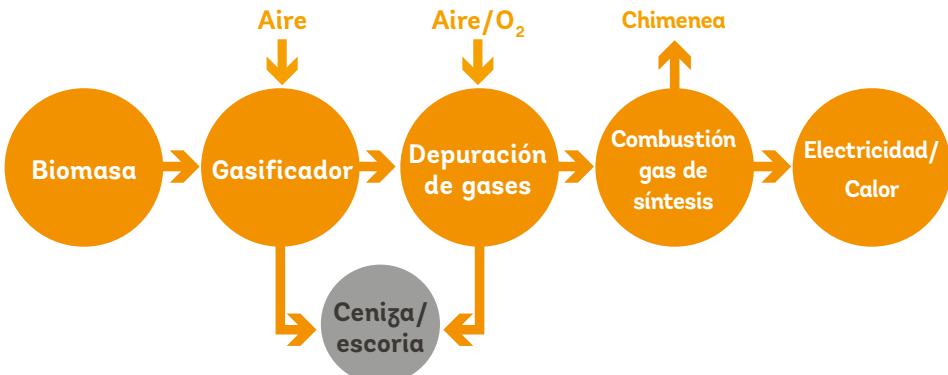
## Gasificación

La gasificación, en tanto, es un proceso de oxidación parcial, a altas temperaturas, de la biomasa sólida con una menor presencia de oxígeno a la requerida estíquiométricamente. Este proceso convierte los materiales carbonosos en una mezcla de gas compuesto principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno, llamado gas de síntesis, cuyos productos secundarios



Esquema del proceso de incineración.





Principales etapas del proceso de gasificación

son alquitrances, halogenados y partículas. La gasificación es una tecnología muy eficiente para extraer la energía de la biomasa.

### Pirólisis y termólisis

Finalmente, la pirólisis y la termólisis son procesos que tratan la biomasa en déficit y ausencia total de oxígeno, respectivamente. El objetivo de estas tecnologías es transformar la materia orgánica presente en la biomasa, en otros compuestos más fáciles de tratar. En el caso de la pirólisis, se obtiene un gas compuesto por metano, hidrógeno, monóxido de carbono,

nitrógeno, agua y un residuo inerte, mientras que en la termólisis se produce un gas combustible y un residuo sólido carbonado llamado comúnmente «coque», el que se usa como carbón activo o como combustible.

La estequiometría es la ciencia que estudia las relaciones de masas de los elementos químicos presentes en una reacción química.

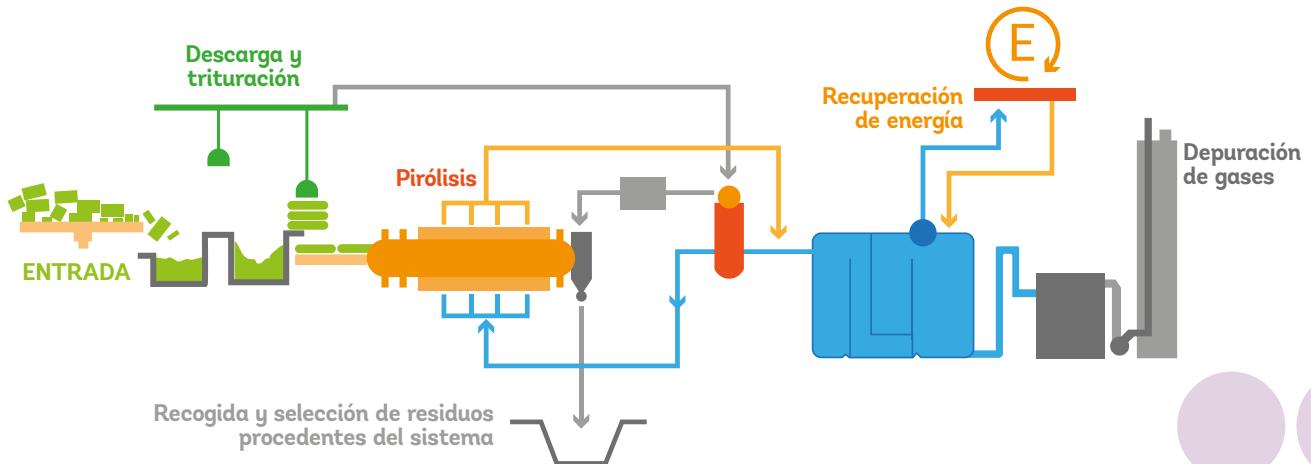


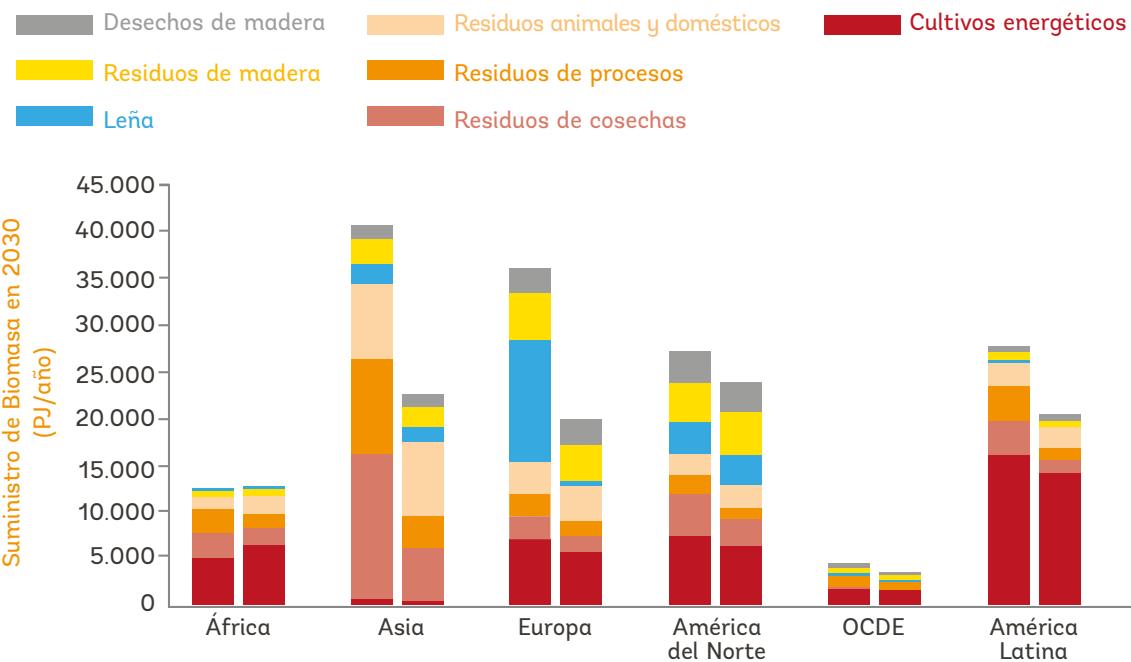
Figura adaptada de Grau y Farré (2011). *Situación y potencial de valorización energética directa de residuos: Estudio Técnico PER 2011-2020.*

## Situación actual y el futuro de la biomasa

De acuerdo con estadísticas de la *World Bioenergy Association* (WBA), la electricidad obtenida a partir de la biomasa es la tercera fuente de producción de energía eléctrica renovable, después de la hidroelectricidad y la generación eólica. En su reporte 2018, la WBA indicó que en 2016, a nivel mundial, se generaron 571 TWh (terawatt por hora) de energía

Es posible revalorizar energéticamente los residuos sólidos urbanos para generar calor y/o electricidad. Por ejemplo, los residuos orgánicos dispuestos en un relleno sanitario, durante su descomposición, generan gases que pueden ser utilizados para producir energía térmica y/o energía eléctrica.

a partir de biomasa. El 64,6% se obtuvo de fuentes de biomasa sólida, como astillas y pellets de madera, el 19% de residuos municipales e industriales, un 14,8% a partir de biogás y un 1,6% de otros biocombustibles.



Esta gráfica representa el suministro de biomasa proyectado al año 2030 en diferentes regiones del planeta y diferencia el tipo de sector de producción. Datos de la *World Bioenergy Association (WBA)*.

En Latinoamérica, el origen de producción mayor será a partir de los cultivos, mientras que en Asia se originará de residuos de cosechas y procesamiento de residuos, y en Europa será principalmente a partir de la leña.



## VENTAJAS



- La generación de energía térmica o eléctrica utilizando biomasa contribuye a disminuir los gases de efecto invernadero, ya que reemplaza el uso de combustibles fósiles.
- Permite la revalorización energética de residuos agrícolas y de los rellenos sanitarios.
- El aprovechamiento energético de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae su inadecuada gestión.
- Contribuye a la seguridad energética de los países, en particular, aquellos que no poseen combustibles fósiles.
- Podría transformarse en un vector económico relevante, en especial para contextos rurales, pues crea opciones de trabajo para esas localidades.

## DESVENTAJAS



- En algunas zonas geográficas podría existir competencia de cultivos para obtención de energía y cultivos de alimentos para consumo humano.
- La biomasa tiene menor densidad energética que los combustibles fósiles y un alto contenido de humedad. Por lo tanto, antes de usarla, es necesario contar con sistemas de almacenamiento y procesos de secado.
- En general, los canales de distribución del recurso energético biomásico no se encuentran desarrollados.
- La gestión de las cenizas producidas por la combustión de la biomasa puede generar mayores costos de operación y mantenimiento de los equipos de combustión.

«Hasta las bacterias funcionan por  
consenso, o no funcionan»

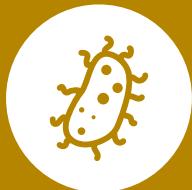
(Eduardo Punset)

# Capítulo 7

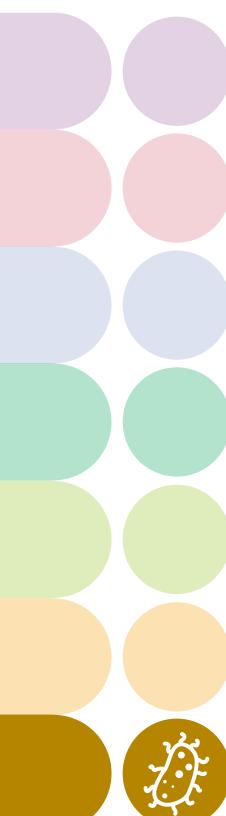
# ¡También los

# microorganismos!

Guillermo Schaffeld



# LAS BACTERIAS



Entre las diversas propiedades que los organismos vivos poseen está la de generar electricidad o presentar fenómenos eléctricos como parte de su sistema fisiológico. Ejemplos de esta actividad eléctrica los encontramos en el funcionamiento del sistema nervioso de los vertebrados, el marcapasos natural del corazón de los mamíferos, las potentes descargas de la anguila eléctrica y en los procesos bioelectroquímicos de las plantas.

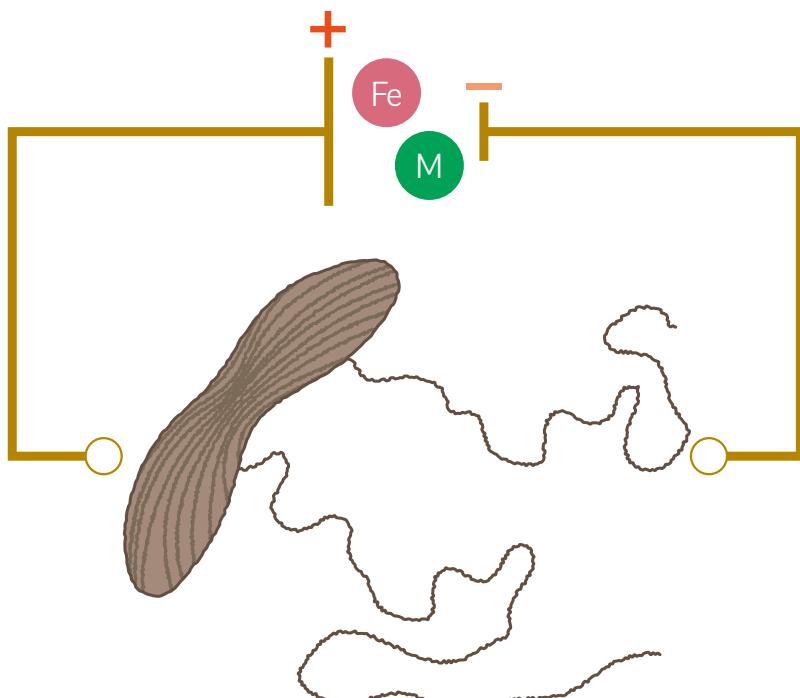
El pionero en la investigación sobre la electricidad fue Alessandro Volta (1745-1827), físico e inventor de la pila eléctrica, aunque fue otro italiano —amigo de Volta—, Luigi Galvani (1737-1798),

médico, fisiólogo y físico, quien en 1780 descubrió lo que él denominó «electricidad animal». Con este término se refería a la fuerza que animaba los músculos de la rana disectada con la que él experimentaba.

Ahora sabemos que el fenómeno eléctrico se presenta en la totalidad de los seres vivos (vertebrados, invertebrados, plantas fotosintéticas y no fotosintéticas y microorganismos) y que todas las células emiten electrones para producir energía.

Es un hecho conocido que, en bioreactores, los microorganismos (levaduras, bacterias metanogénicas, entre otros) son capaces de producir energía —en forma

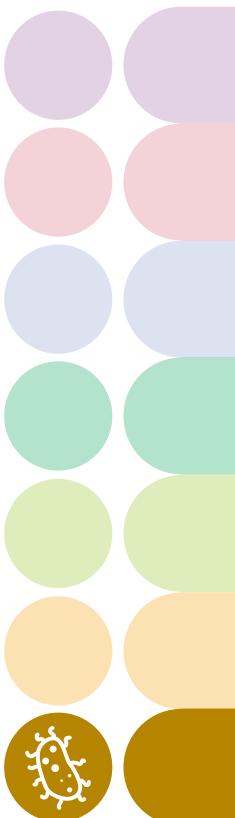
de combustibles como el etanol, el biogás (metano) y el hidrógeno— mediante la biotecnología industrial a partir de la materia orgánica, sin embargo, es menos conocida su capacidad de transformar, tanto esta materia orgánica, como los sustratos inorgánicos, en electricidad.



Geobacter con sus cables de electricidad.

### Esquema conceptual de una celda de combustible microbiana

Todas las bacterias y microorganismos en general tienen la capacidad de transformar la materia en energía. Este fenómeno se descubrió en 1910 al observarse que la bacteria *Escherichia coli* producía un flujo de electrones cuando



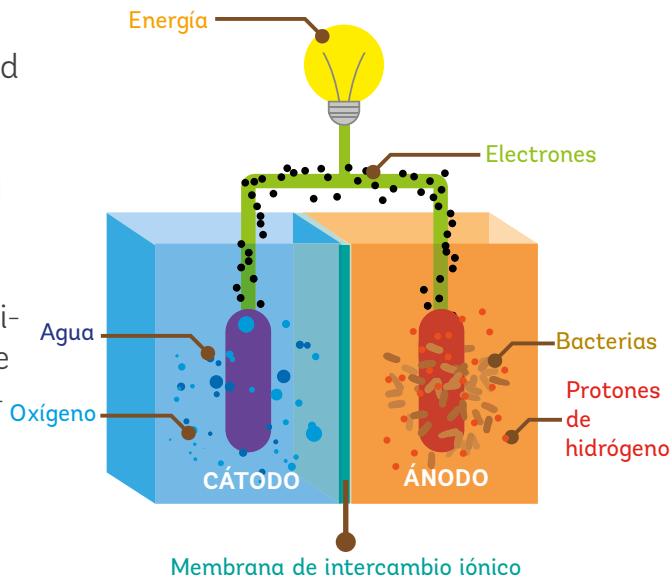
descomponía materia orgánica, es decir, transformaba la energía química en energía eléctrica.

Existen bacterias que, si se cultivan en sustratos (fuentes de nutrientes) adecuados, tienen una significativa capacidad de generar electricidad. Las más relevantes son, entre otras, las del género *Geobacter*, *Shewanella* y *Rhodoferrax* y la especie *Brevibacillus agri*.

Desde un punto de vista tecnológico, para aprovechar la propiedad eléctrica de los microorganismos, se diseña y construye una celda de combustible microbiana (CCM o, en inglés, *Microbial Fuel Cell*, MFC) y, dado que la CCM es un reactor bioelectroquímico, los equipos para realizar la producción de electricidad se denominan biorreactores electrogénicos.

Un modelo simple para describir una CCM se presenta en la siguiente figura, donde la glucosa (sustrato, ubicado en la cámara izquierda) representa la materia

orgánica de la cual se nutren las bacterias en la cámara del ánodo desde donde fluyen los electrones (corriente eléctrica), generados por la degradación del sustrato, hacia el cátodo. Para permitir el paso de la corriente, las cámaras están conectadas por un cable externo. La ampolleta encendida representa la potencia eléctrica generada por la CCM.



Celda de combustible microbiana (CCM).

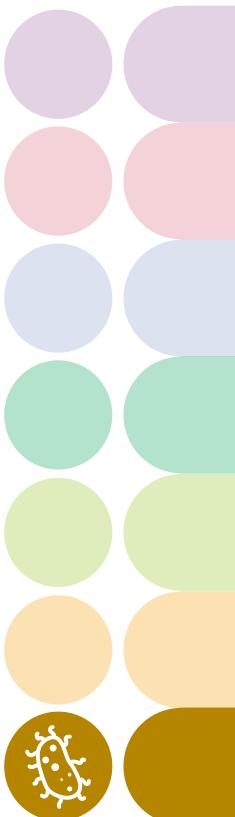
Durante el siglo XX la investigación en CCM avanzó considerablemente, pero ha sido en los últimos 15 años que, en varios países de la comunidad europea, en Estados Unidos y en Israel, se están produciendo importantes avances científicos y tecnológicos, con trabajos de investigación, desarrollo e innovación a nivel semipiloto y piloto para el escalamiento comercial y masivo de esta tecnología.

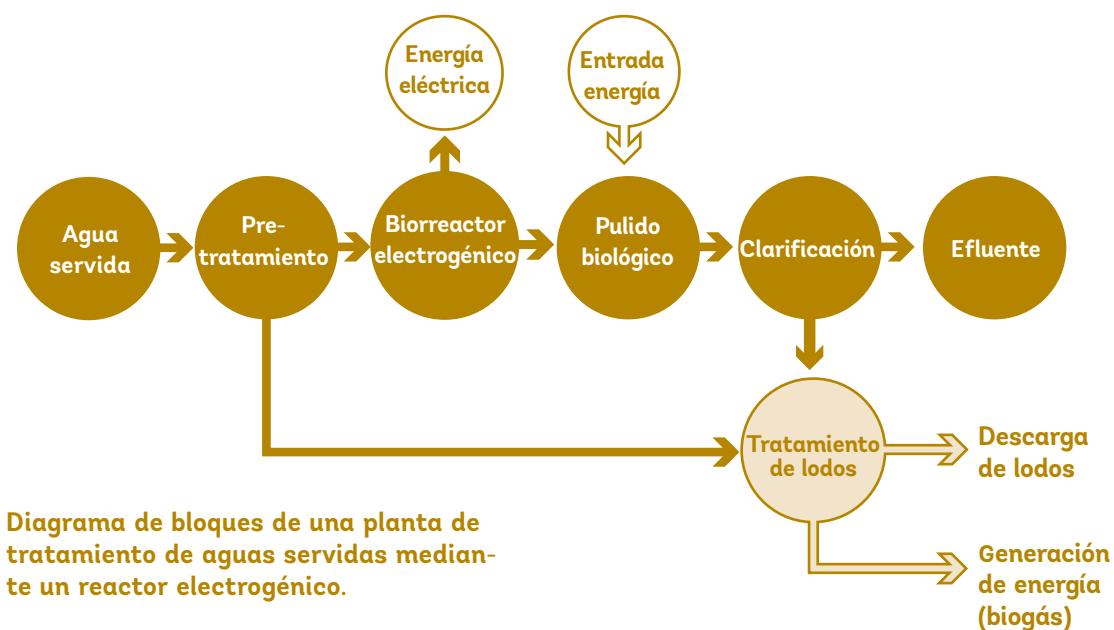
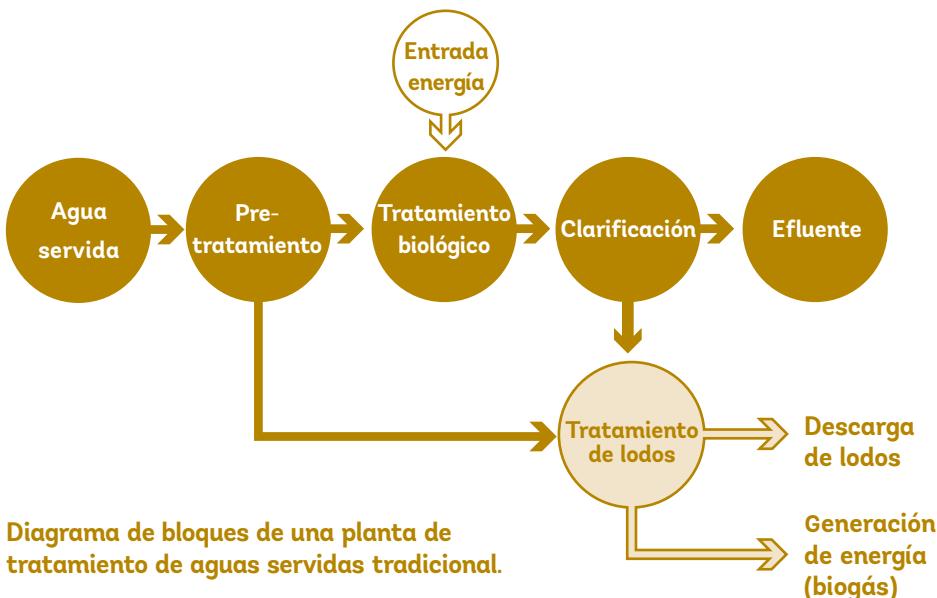
En Chile, la mayoría de las ciudades tienen plantas convencionales de tratamiento de aguas servidas y la Región Metropolitana, además de tratar el 100% de sus aguas servidas, cuenta con una biorefinería de clase mundial que opera según los principios de la economía circular.

## Los microbios convierten aguas residuales en energía eléctrica útil

En las aguas servidas, que provienen de nuestras actividades domésticas, hay millones de microorganismos que degradan la materia orgánica presente en los detritos de estas aguas residuales. En este proceso, las poblaciones microbianas descomponen el sustrato orgánico y generan un flujo de electrones que, canalizados por la CCM, producen energía eléctrica utilizable y, al mismo tiempo, realizan el tratamiento de las aguas residuales con lo que reducen la contaminación ambiental.

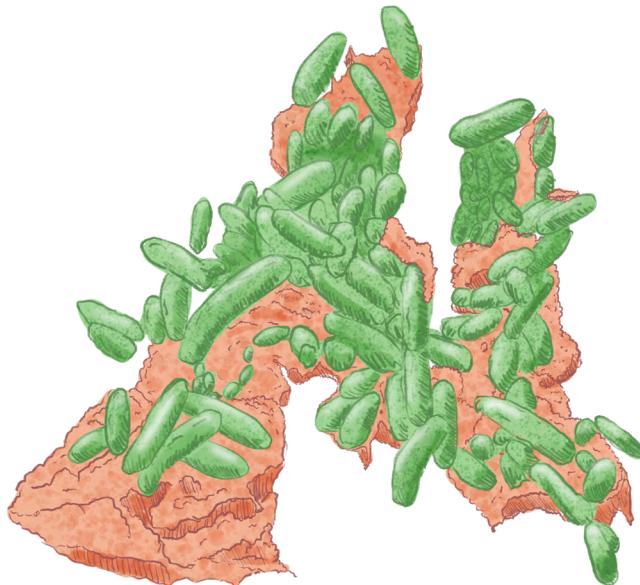
Para mejorar la tecnología se realiza investigación y desarrollo, tanto en residuos líquidos domésticos, como industriales. Estudios semipiloto han permitido generar 2 kW (kilowatt) —suficientes para encender una cocina eléctrica— con una



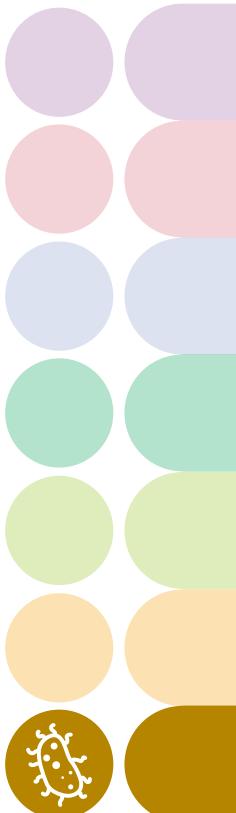


CCM tratando 2.400 litros de aguas servidas. Los experimentos pilotos permiten generar algo más de 100 kW.

Una de las ventajas del uso de biorreactores electrogénicos es que los costos de operación son significativamente menores que los tratamientos convencionales de aguas servidas y producen menos impactos ambientales negativos. Los sistemas de tratamientos biológicos convencionales de aguas residuales (lodos activados) son intensivos en el uso de energía y, a nivel mundial, gastan el 2% de toda la potencia eléctrica, con un costo de 40.000 millones de dólares anuales. En cambio, las plantas de tratamiento de aguas residuales que usan biorreactores electrogénicos requieren solo el 75% de la potencia utilizada por las plantas tradicionales y generan un 70% menos de lodos.



**La bacteria *Geobacter metallireducens* devora material tóxico radiactivo.**



## Tecnología con biorreactores electrogénicos para tratamiento de aguas residuales

Las plantas que usan tecnología de biorreactores electrogénicos generan energía en vez de consumirla, a la vez que descontaminan el agua. Lo anterior, sin duda, modificará sustancialmente la economía de los tratamientos de las aguas residuales.

Sin embargo, esta tecnología aún no ha alcanzado el grado de madurez para ser adoptada y comercializarla masivamente, por lo que se continúa investigando para mejorar los diversos componentes de las CCM y para aumentar los rendimientos de las bacterias generadoras de electricidad, con el fin de bajar los costos de inversión, operación y reducir aún más la potencia requerida para el funcionamiento de la planta.



Planta de tratamiento de agua. Keswick, Cumbria. Inglaterra. (2015).

Fuente: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)



## VENTAJAS



- Bajos costos de inversión y operación.
- Alta eficiencia de tratamiento.
- Producción neta de energía.
- Baja generación de lodos.

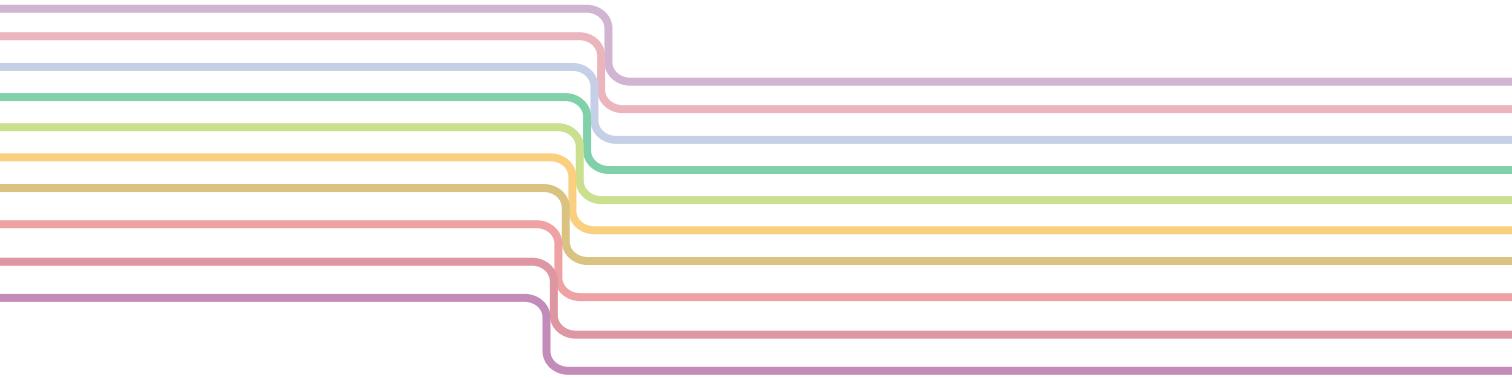


## DESVENTAJAS



- Lenta degradación de los residuos a bajas temperaturas.
- Amonio, fosfatos y azufre no son totalmente eliminados, por lo que es indispensable un tratamiento posterior para abatir estos compuestos.
- Baja generación de metano cuando se tratan aguas servidas con baja concentración de materia orgánica.





Nuevas alternativas

«Un instrumento barato, no más grande que un reloj, permitirá a su portador escuchar, en cualquier lado, música o canciones [...]. Del mismo modo, cualquier dibujo o impresión podrá ser transferida de un lugar a otro»

(Nikola Tesla)

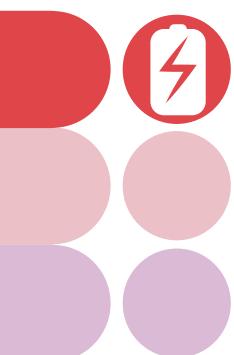
# Capítulo 1

# Baterías de litio

María Luisa Valenzuela



# UNA BATERÍA

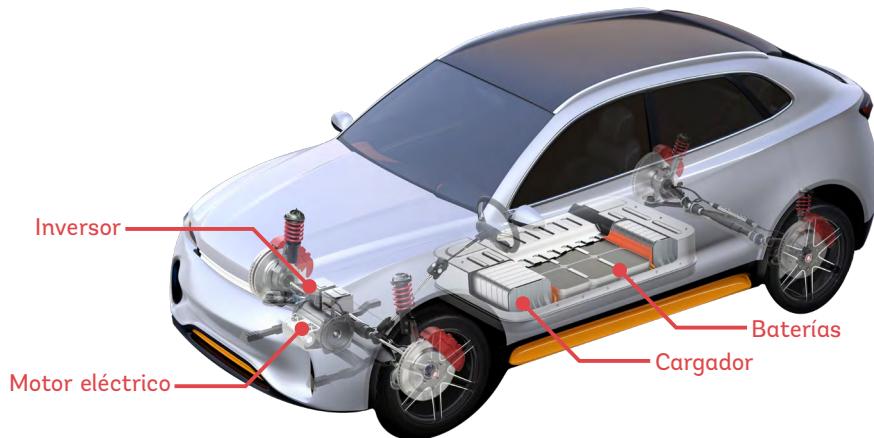


En los últimos años el desarrollo de la tecnología de vehículos eléctricos ha sido vertiginoso. Esta situación ha permitido disminuir el precio de estos y, como consecuencia, su venta ha aumentado. En Noruega y Alemania ya tienen fecha para la prohibición de comercialización de vehículos propulsados con motores diésel y gasolina (2025 y 2030 respectivamente) y se espera que Holanda se una pronto a este desafío. China aceleró sustantivamente su avance y ha definido metas a distintos plazos, entre ellas, por ejemplo, contar con un parque de cinco millones de vehículos eléctricos en 2020.

En Latinoamérica, en cambio, recién operan proyectos piloto de buses o taxis eléctricos en Uruguay, Brasil, Colombia, Ecuador, Argentina y Chile. Aunque, en la mayoría de los casos, son pruebas de presentación tecnológica con muy pocas unidades circulando.

## ¿Cómo es y cómo funciona un auto eléctrico?

Una reacción química permite la movilidad eléctrica. Dos electrodos, que se denominan ánodo y cátodo, junto con un electrolito, generan una reacción dentro del circuito cerrado de la batería. Posteriormente, el proceso entrega la energía requerida por el vehículo eléctrico para movilizarse y activar todos sus sistemas.



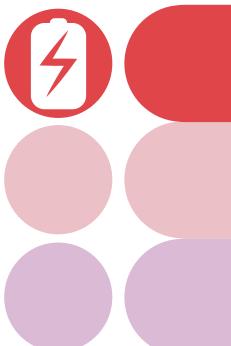
Vehículo eléctrico en base a baterías de litio.

Fuente: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com).

Un **electrodo** es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con la parte no metálica de un circuito.

Un **electrolito** es una sustancia que en su composición contiene iones libres que le permiten comportarse como un conductor eléctrico.

La autonomía que pueda alcanzar un vehículo depende de factores como el estilo de conducción del conductor, el peso del vehículo (cantidad de peso que transporta), la superficie por la cual circule y, principalmente, la densidad de energía que contengan las baterías, es decir, la cantidad de energía almacenada por una unidad de volumen, la que es limitada.



## ¿Cómo podemos optimizar el uso de la batería?

- No permitir que la batería se descargue completamente, ya que esto va limitando la capacidad de almacenamiento de energía que esta tiene.
- Mantener las baterías en un rango de carga que oscile entre el 30% y el 90%.
- No permitir que el vehículo se exponga prolongadamente a ambientes de alta temperatura ya que esto disminuirá la vida útil de las baterías.

## ¿De qué están compuestas y cómo funcionan algunas de las baterías que impulsan los vehículos eléctricos?

Se pueden encontrar diferentes tipos de baterías y cada una tiene sus propias características técnicas.



- **Batería de plomo-ácido.** Es el tipo de batería más utilizada y, al mismo tiempo, la más antigua de todas. Ha permanecido casi invariable desde su invención en el siglo XIX. Su bajo costo las hace ideales para cumplir funciones de arranque, iluminación o soporte eléctrico. En autos pequeños se usan como acumuladores, pero no son ideales para vehículos debido a su excesivo peso, la toxicidad del plomo y su lenta recarga.
- **Batería níquel-cadmio.** Aunque sus elementos son de alto costo, dado su gran rendimiento a bajas temperaturas, se usan más en aviones, helicópteros o vehículos militares, que en automóviles. Poseen «efecto memoria» por lo que su capacidad se ve reducida con cada recarga.
- **Batería ion litio ( $\text{LiCoO}_2$ ).** De creación reciente, esta batería está formada por un electrolito de sal de litio y electrodos de

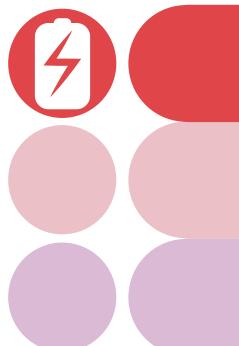
litio, cobalto y óxido. El uso de nuevos materiales —como el litio— ha permitido conseguir altas energías específicas, alta eficiencia, eliminación del efecto memoria, ausencia de mantenimiento y facilidad a la hora de reciclar los desechos. Además, disponen del doble de densidad energética que las baterías níquel-cadmio y son un tercio más pequeñas que estas. De igual modo, las baterías de litio tienen desventajas. Las principales son el alto costo de producción y su fragilidad (pueden explotar por el sobre-calentamiento y deben almacenarse con mucho cuidado ya que necesitan un ambiente frío y estar parcialmente cargadas). Aun así, en la actualidad, las baterías de ion litio representan la mejor elección para un vehículo eléctrico.

- **Batería ion litio ( $\text{LiFePO}_4$ ).** Este tipo de batería es parecida a la

anterior, pero no usa el cobalto, por lo que tiene una mayor estabilidad y seguridad de uso. Posee un ciclo de vida más largo y una mayor potencia. En la vereda opuesta, debe mencionarse su baja densidad y alto costo.

- **Batería polímero de litio.** Es otra variación de las baterías ion litio. Tienen una densidad energética mayor y una potencia más elevada. Son ligeras, eficientes y no tienen efecto memoria. En cambio, su alto costo y bajo ciclo de vida hacen de estas baterías una opción poco extendida en la actualidad.

Todavía no se conoce la fórmula óptima para una batería. El gran desafío es el desarrollo de estas mejorando la densidad de energía, el tiempo de carga, reducción de peso, durabilidad y eficiencia.



## ¿Qué es el litio?

El nombre litio proviene de la palabra griega *lithos*, que significa piedra. Como elemento fue descubierto en 1817 por el químico sueco Johan August Arfverdson.

El litio no se encuentra como un elemento puro sino dentro de minerales que se presentan en yacimientos, en salares, en aguas termales y en el agua de mar, aunque en cantidades muy diferentes, que oscilan entre los 20 y los 65 ppm (partes por millón).

El litio es un elemento alcalino ( $\text{Li}^0$ ), blando y de color blanco plateado. Es el metal más liviano que se conoce, (con una densidad de  $0,531 \text{ g/cm}^3$ ), su número atómico es el tres y su peso atómico es 6,941. Posee el mayor punto de fusión ( $186^\circ\text{C}$ ) y ebullición ( $1.336^\circ\text{C}$ ), así como el calor específico más alto ( $0,784 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  a  $0^\circ\text{C}$ ). Es usado en la fabricación de baterías y

por ello, en los últimos años ha crecido el requerimiento de  $\text{LiCO}_3$ , al que ya se le conoce como «oro blanco» por sus excelentes cualidades para almacenar energía.

## Composición y funcionamiento de las baterías de ion litio

El funcionamiento de la batería se produce en base a reacciones químicas reversibles, que generan un intercambio de iones y electrones entre sus polos, lo que posibilita que la batería pueda cargarse o descargarse.

**a) Material de ánodo.** El material activo típico es grafito, mezclado con un aglutinante, un solvente y carbón. Todo esto junto recubre láminas de cobre.

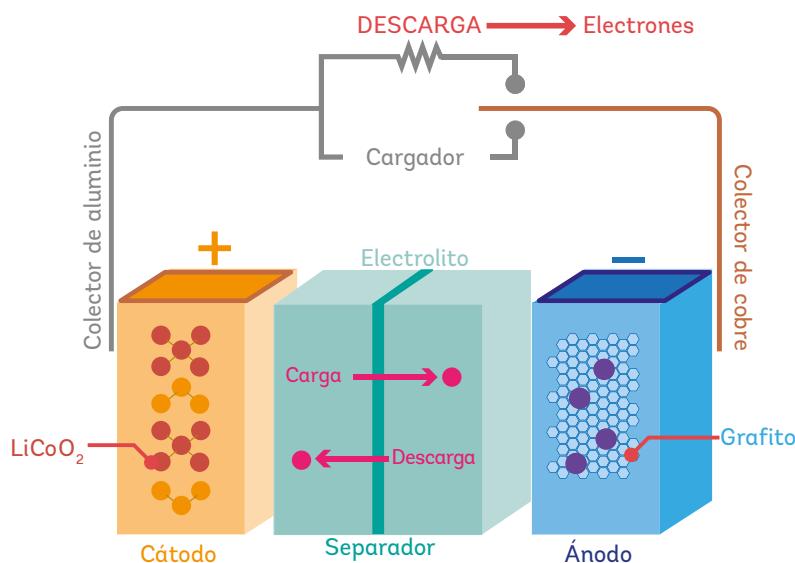
**(b) Separador.** Membrana microporosa, constituida de polietileno o polipropileno, que evita el contacto entre los electrodos. Si por accidente se eleva la temperatura de la celda, el



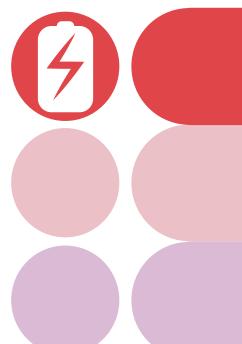
separador se funde, los poros se llenan y, de esta forma, se evita la conducción de corriente entre los electrodos.

(c) **Material de cátodo.** Se construye con una pasta de material activo —que incluye un

óxido de litio-metal, un aglutinante, un material de carbón y un solvente— que recubre una lámina de aluminio. Durante la fabricación, la pasta se seca y se presiona hasta alcanzar el grueso apropiado.



Esquema general de las baterías de litio donde cátodo varía según tipo. Figura adaptada de Agencia Delacalle S.A. para proyecto FIC Regional Valorización de desechos electrónicos (baterías de litio) para la competitividad industrial del reciclaje electrónico de la Región Metropolitana.

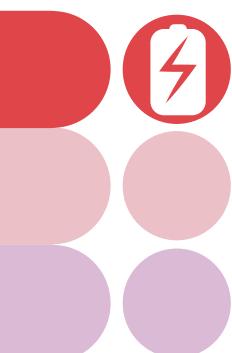


(d) **Electrolito**. Es una mezcla entre una sal de litio y un solvente orgánico. Es el que permite el transporte de los iones entre el ánodo y el cátodo de una batería. Es

conveniente que el solvente tenga la mayor solubilidad posible que la sal de litio y la menor viscosidad, para aumentar la movilidad de los iones de litio en el electrolito.

En Latinoamérica, hay yacimientos de litio en Bolivia, Argentina y Chile, lo que da vida al denominado «triángulo del litio». Según el servicio geológico de Estados Unidos, Chile es el segundo mayor productor de litio después de Australia.

Para 2037, se espera que el consumo de litio en baterías representará entre el 75% y 80% de la demanda mundial.



Al momento de la descarga, se produce una corriente eléctrica capaz de mover el motor eléctrico encargado de propulsar el vehículo, mientras que en la recarga, a partir de un aporte de energía externo —como podría ser la frenada del automóvil— los iones y electrones vuelven a su situación original.

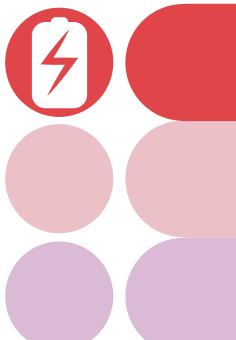
La duración, rendimiento y comportamiento de la batería depende de los elementos químicos escogidos para dar lugar a la reacción dentro de cada celda y a la electrónica que controla todo el proceso de descarga y recarga.

### Sustentabilidad de las baterías

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, resulta relevante desarrollar y estudiar metodologías que permitan dar una segunda vida a las baterías de ion

Las baterías de zinc-aire, aunque todavía están en fase experimental, tienen un alto potencial energético, fiabilidad y son capaces de almacenar el triple de energía que las de ion litio en el mismo volumen y con la mitad del costo. Tanto es así que algunos expertos posicionan al zinc como el combustible eléctrico del futuro.

litio utilizadas en automóviles. En el futuro, las flotas de vehículos eléctricos generarán baterías degradadas tras su uso y, en vez de desecharlas, es posible utilizarlas para aplicaciones de carácter doméstico o reconvertirlas en nuevas baterías de litio.



Según el servicio geológico de Estados Unidos, Chile es el segundo mayor productor de litio después de Australia. Volcán Licancabur reflejado en las aguas de la laguna Chaxa. Salar de Atacama, Chile. Fuente: [www.shutterstock.com](http://www.shutterstock.com)





## VENTAJAS



- Las baterías de litio concentran muchísima energía en un pequeño encapsulado.
- Baja autodescarga. Pueden estar sin uso durante largo tiempo y aún así tener energía cuando se las necesite.
- Son capaces de almacenar una corriente muy alta, lo que significa que pueden proporcionar la energía necesaria para la movilidad autónoma.



## DESVENTAJAS



- La fabricación de baterías de litio es costosa.
- La extracción de este elemento, en los yacimientos naturales, hace que estos sean altamente intervenidos lo que afecta sus funciones ecológicas.
- Se han producido algunos incidentes que las involucran en sobrecalentamientos y causa de incendios.

«Sí, mis amigos, creo que el agua se usará un día como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno que la constituyen, utilizados aislada o simultáneamente, producirán una fuente de calor y de luz inagotable [...].»

(Julio Verne)

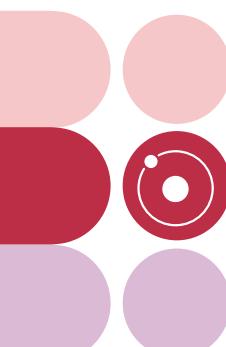
# Capítulo 2

# Hidrógeno y el futuro

Cristián Linares-Flores



# EL HIDRÓGENO



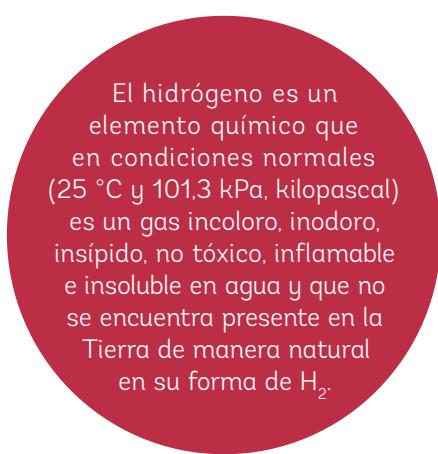
En la última década, la investigación internacional se ha centrado en el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en hidrógeno como una solución potencial a los problemas energéticos y medioambientales, dado que este elemento permite almacenar energía de manera limpia. Sin embargo, instalar una economía basada en hidrógeno también ha sido un reto debido a las inversiones necesarias para proveer infraestructura a gran escala.

## ¿Cómo se produce el hidrógeno?

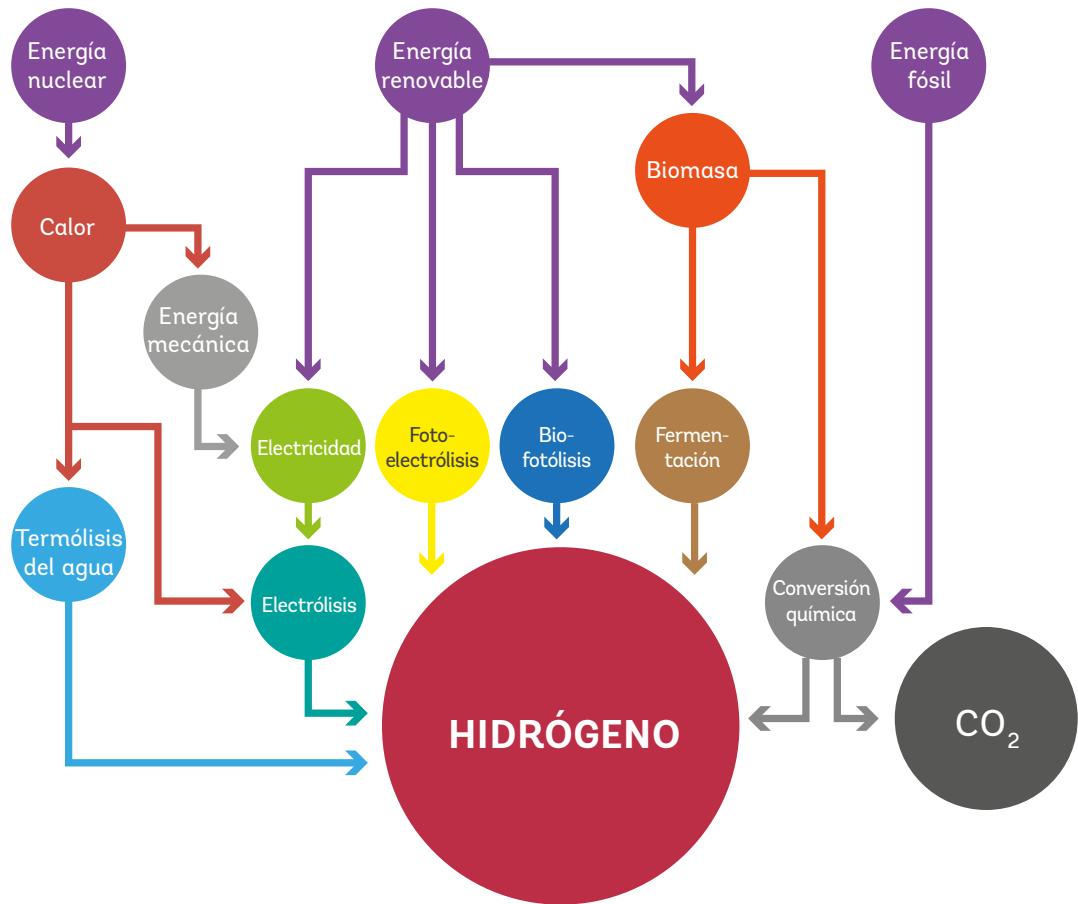
Los métodos de producción de hidrógeno incluyen diversas técnicas, ya que este elemento está disponible en la naturaleza en distintas moléculas, como el

metano ( $\text{CH}_4$ ), los derivados del petróleo, el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y, principalmente, el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Actualmente, casi todo el hidrógeno producido a escala global tiene como origen el reformado de gas natural y esto se da porque es un método que permite obtener este



El hidrógeno es un elemento químico que en condiciones normales (25 °C y 101,3 kPa, kilopascal) es un gas incoloro, inodoro, insípido, no tóxico, inflamable e insoluble en agua y que no se encuentra presente en la Tierra de manera natural en su forma de  $\text{H}_2$ .



elemento a bajo costo. Sin embargo, ya que a largo plazo las reservas de gas natural se agotarán, se está investigan-

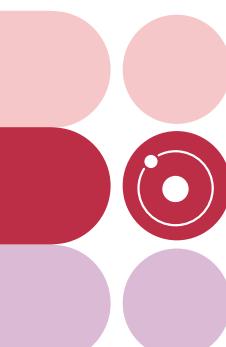
do para fortalecer métodos como la electrólisis del agua, la fotobiología, la fotoelectroquímica, entre otros, aunque,

hasta ahora, ninguno resulte competitivo.

Por ejemplo, la electrólisis del agua se conoce desde hace unos 200 años, pero solo contribuye con una pequeña fracción de la producción total de



Chile es un país privilegiado para la investigación de conversión de energía solar, ya que el norte del país tiene la incidencia solar más alta del mundo, además, tiene abundantes fuentes de agua como materia prima.



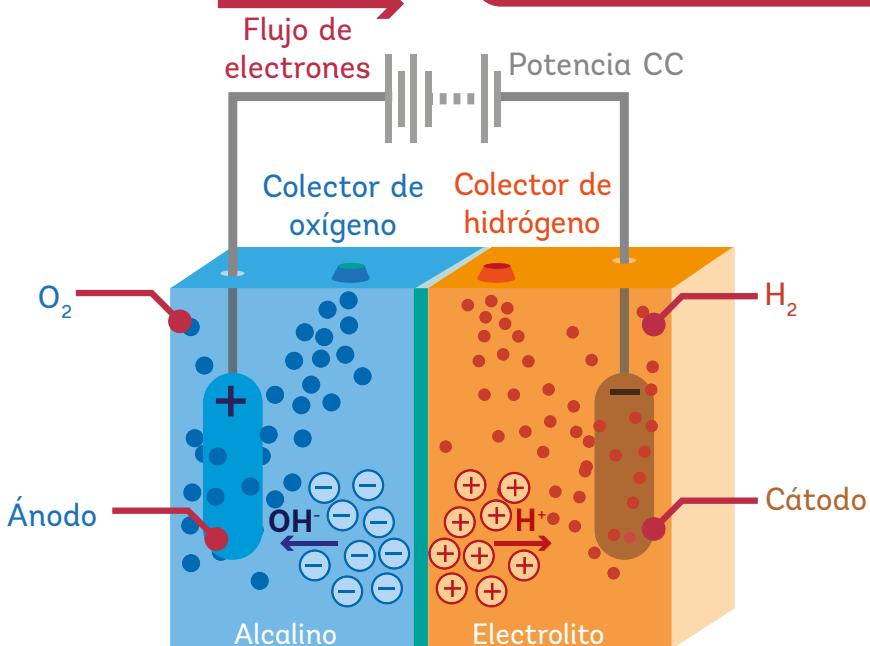
hidrógeno (4% de la producción mundial). No obstante, su gran ventaja es que produce hidrógeno extremadamente puro (> 99.9%) y eso la hace ideal para algunos procesos de alto valor agregado, como la fabricación de componentes electrónicos. El proceso es aún más soste-

nible si la electricidad utilizada deriva de fuentes renovables. Cuando se dispone de abundante energía renovable, como por ejemplo, la energía solar, se puede almacenar energía extra en forma de hidrógeno utilizando la electrólisis del agua.

### La electrólisis del agua

La electrólisis del agua es el proceso de descomposición del agua en los gases oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ). La imagen de la derecha presenta el esquema más simple de la unidad de electrólisis de agua, el que consiste en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, conectados a través de una fuente de alimentación externa y sumergidos en un electrolito conductor.

Al aplicar una corriente continua (cc) a la celda, los electrones fluyen, desde el terminal negativo de la fuente de alimentación de cc, al cátodo,



donde son consumidos por los iones de hidrógeno (protones) para formar átomos de este elemento. En el proceso general de la electrólisis del agua, los iones de hidrógeno se mueven hacia el cátodo, mientras que los iones de hidróxido se mueven hacia el ánodo. Para

separar los dos compartimentos, se utiliza un diafragma y los receptores de gas se usan para recoger los gases de hidrógeno y oxígeno que se forman en el cátodo y el ánodo, respectivamente.

## Usos del hidrógeno almacenado

El hidrógeno almacenado se puede usar como:

- Amortiguador y medio de almacenamiento de energía para la fluctuación de la alimentación en las instalaciones eólicas o solares.
- Fuente de energía transportable.
- Combustible para calefacción.
- Combustible para automóviles y vehículos comerciales.

## Conversión limpia

Con la ayuda de electricidad, el hidró-

geno se puede generar a partir del agua en cualquier lugar del planeta. A mayor escala, esto se hace en un electrolizador, que divide el agua en sus elementos componentes: hidrógeno y oxígeno. La ventaja es que, posteriormente, este proceso puede revertirse y, en una celda de combustible, el hidrógeno reacciona con el oxígeno para formar agua nuevamente. Este proceso, que no produce contaminantes, libera energía en forma de electricidad, la que podría usarse, por ejemplo, para alimentar un motor eléctrico.

En Hamburgo, Alemania, se encuentra una de las estaciones de hidrógeno más grandes y modernas de Europa, con capacidad suficiente para repostar una flota de veinte autobuses locales, además de muchos autos. En la actualidad, el hidrógeno se está probando como combustible de utilización diaria y el interés está puesto en la infraestructura de las estaciones de distribución.



Ciudad de Hamburgo, Alemania.  
Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com)



## VENTAJAS



- El hidrógeno no es tóxico y, por lo tanto, en caso de fugas o accidentes, sería menos peligroso.
- Si su funcionamiento es normal, la celda de combustible prácticamente no emite sonido.
- Para obtener el hidrógeno en el estado necesario, se puede complementar con otras energías renovables.



## DESVENTAJAS



- Requiere de sistemas de almacenamiento costosos y aún poco desarrollados.
- En la licuefacción del hidrógeno, el gasto de energía es muy alto.
- El hidrógeno puro es muy costoso.

«La única respuesta es que, si no cambiamos nuestro estilo de vida, si no dejamos de depender de la energía fósil, nuestra sociedad va a colapsar»

(Jane Goodall)

# Capítulo 3

# Biocombustibles

Tatiana Gómez



# BIOMASA COMO BIOCOMBUSTIBLE

Biocombustible es cualquier combustible derivado de la biomasa, es decir, que contiene componentes de organismos recientemente vivos, como plantas y algas, o desechos de animales.

Dado que la biomasa se puede reponer fácilmente, se considera que el biocombustible es una fuente de energía renovable que puede producirse año tras año a través de prácticas agrícolas sostenibles. Esto significa que podemos reemplazar el biocombustible usado en un período de tiempo muy corto, a diferencia de los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, que no se consideran renovables porque tardan millones de años en formarse.

En 2016, la biomasa representó, en promedio, el 30% de toda la generación de energías renovables no convencionales, lo que equivale al 24% de la oferta total de energía primaria en Chile e igualó al carbón.

Los combustibles fósiles se denominan fuentes de energía no renovables, ya que la Tierra tarda cientos de millones de años para producir nuevos depósitos de carbón, petróleo y gas natural. Según el *World Coal Institute*, hay suficiente carbón en el suelo para que nos dure 130 años más a las tasas actuales de producción, mientras que solo hay suficientes reservas de petróleo y gas natural para durar entre 50 y 52 años, respectivamente. Por el contrario, los biocombustibles se consideran fuentes de energía renovables, ya que el maíz, la soya y otras biomasas se pueden cultivar indefinidamente.



## Primera generación

Se producen a partir de fuentes alimentarias como azúcar, almidón o aceite vegetal. Generalmente, se presentan en el jugo de la caña de azúcar y remolacha, granos de maíz, aceite de semilla de girasol, de soya, de palma, de ricino, de coco, de maní o cacahuate, entre otros. También pueden ser grasas animales o grasas y aceites de desecho provenientes de la cocción y elaboración de alimentos.

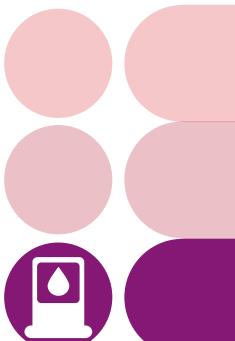
## Segunda generación

Se producen a partir de material celulósico, como madera, pastos y partes no comestibles de las plantas. También desde la basura reciclabl e y los desechos agrícolas, como frutas, verduras o tallos en mal estado.

## Tercera generación

Son producidos a partir de materia prima, como microorganismos o algas, modificada genéticamente.

## Tipos de biocombustibles



## Generación de biocombustibles

### Biocombustibles de primera generación

- **Bioalcoholes.** Alcoholes producidos a partir de materias y restos orgánicos (azúcares y almidones o restos celulósicos). Algunos de los más usados son biobutanol, etanol y metanol.
- **Biobutanol.** Alcohol muy similar

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está compuesta por metano y etano, y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados.

a la gasolina —conocido también como biogasolina— por lo que se puede utilizar en un vehículo estándar sin necesidad de hacer modificaciones en el

motor. Una de las dificultades que tiene es su producción a escala industrial, la que aún es ineficiente en las etapas de separación y purificación.

• **Etanol.** Como combustible es alcohol etílico, el mismo que se encuentra en las bebidas alcohólicas. A nivel mundial, el contenido promedio de etanol en la gasolina es de aproximadamente 5,4%, aunque algunos países suministran 25% o incluso 100% de etanol para combustible de vehículos. En las ventajas, destaca que se quema de forma más limpia que la mayoría de los combustibles de hidrocarburos y, si ha sido creado a partir de biomasa, contiene poco o ningún elemento que pueda dañar las partes del vehículo o provocar contaminación. Su principal desventaja es que se necesita aproximadamente 1,5 veces más etanol que gasolina para

Estados Unidos es el principal país productor de etanol con 15,80 billones de galones. Le sigue Brasil con 7,06, Europa con 1,42, China con 0,88 y Canadá con 0,45. Solo entre los dos primeros se produce el 85% del etanol mundial.

obtener la misma energía, por lo que es más costoso. Además, como absorbe el agua del ambiente, diluye su concentración y esto hace que sea casi imposible enviarlo a través de tuberías.

- **Metanol.** Actualmente, la producción de metanol se hace a partir de gas natural, un combustible fósil no renovable, aunque también puede producirse por la biomasa del bioetanol. La economía del metanol es una alternativa a la del hidrógeno.

## Otros biocombustibles de primera generación

- **Biodiésel.** Combustible líquido que se produce utilizando aceite vegetal y grasa en un procedimiento llamado transesterificación. Las principales fuentes incluyen semillas de soya, colza (canola), mahua, mostaza, lino, girasol, aceite de palma,

El biodiésel proveniente del aceite de cocina usado puede reducir hasta un 88% las emisiones de gas de efecto invernadero que genera el petrodiésel.

cáñamo, algas, entre otras. El biodiésel es uno de los mejores aditivos utilizados en las mezclas de combustible a la hora de reducir las emisiones de gases contaminantes. Es un

combustible oxigenado, lo que mejora la combustión y reduce las partículas de emisión del carbono no quemado. Es seguro de manejar y fácil de transportar.

- **Biogás.** Es un gas combustible que se genera por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, a través de

**Jatropha** es un género de aproximadamente 175 especies de suculentas, arbustos y árboles. Las plantas de este género crecen de forma nativa en África, Norteamérica y el Caribe.

la acción de microorganismos y otros factores en ausencia de oxígeno, proceso conocido como «digestión anaeróbica». El compuesto que le da su

valor energético es el metano ( $\text{CH}_4$ ), que representa entre un 50% y un 75% del gas, lo demás corresponde a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), además de otros compuestos. Algunas fuentes de biomasa que dan origen al biogás son el barro de plantas de tratamiento de aguas servidas, los residuos urbanos sólidos de rellenos sanitarios y vertederos, los estiércoles y los restos de la actividad agrícola o industrial.

- **Gas de síntesis o Sintegas (Syngas).** Combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono (hulla, carbón, nafta, coque, biomasa) sometidas a un proceso químico a alta temperatura. Es una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y otros hidrocarburos, producida por la combustión parcial de la biomasa. El gas resultante —syngas— es más eficiente que la combus-

tión directa de biocombustible original y puede ser quemado directamente en un motor de combustión interna, turbinas o en celdas de combustible de altas temperaturas.

### Biocombustibles de segunda generación

Se obtienen a partir de biomasa que procede de residuos de cultivos, de subproductos de las industrias alimentaria y forestal o de cultivos específicamente destinados a su obtención, tales como las algas o la Jatropha. Entre los biocombustibles de segunda generación se encuentran el etanol de celulosa, el combustible de algas, biohidrógeno, biometanol, BioDME, diésel del proceso Fischer-Tropsch, diésel de biohidrógeno, mezclas de alcohol, diésel de madera, hongos, bacterias del estómago de animales, entre otros. Estos biocombustibles y sus tecnologías de producción aún están en desarrollo.

### Biocombustibles de tercera generación

Se pueden producir a partir de vegetales no destinados a la alimentación (modificados genéticamente), con una gran capacidad de crecimiento rápido y potencial energético. Entre los más prometedores se encuentran las microalgas, ya que producen un aceite que se puede refinar fácilmente en diésel o incluso en ciertos componentes de la gasolina, además son más fáciles de producir que los biocombustibles tradicionales. Las microalgas se pueden cultivar

Los **fotobiorreactores** son dispositivos destinados al cultivo masivo de microalgas. Para ello, tienen que mantener un medio estable (temperatura, pH, baja concentración de  $O_2$ ) y proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento, incluyendo la luz.

en estanques abiertos, sistemas de circuito cerrado, fotobiorreactores, incluso en aguas residuales. La gran desventaja es que requieren de grandes cantidades de agua, nitrógeno y fósforo para crecer, de

tal manera que la producción de fertilizantes para satisfacer esta demanda produciría más emisiones de gases de efecto invernadero que las que se ahorrarían por usar este tipo de biocombustible.

**El biocombustible es una fuente de energía renovable que puede producirse año tras año a través de prácticas agrícolas sostenibles.**  
Fuente: [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com)



**BIOCOMBUSTIBLE****COMBUSTIBLE FÓSIL****DEFINICIÓN**

El biocombustible es un combustible producido desde materia viva.

El combustible fósil se forma naturalmente desde procesos geológicos.

**FUENTES**

Obtenido desde fuentes renovables.

Obtenido, principalmente, a través de fuentes no renovables

**PRODUCCIÓN DE ENERGÍA**

Proporciona baja cantidad de energía por unidad de biomasa.

Proporciona alta cantidad de energía por unidad de masa.

**POLUCIÓN AMBIENTAL**

Causa menos polución que los combustibles fósiles.

Juega un papel protagónico en la polución ambiental.

**EMISIONES**

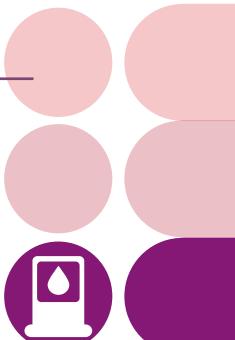
Cuando es quemado, emite menor cantidad de gases poco favorables ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ , entre otros).

Cuando es quemado, emite alta cantidad de gases poco favorables.

**SEGURIDAD**

Puede producirse por métodos más seguros como los mecánicos, los termoquímicos, los biotecnológicos y los extractivos.

Se obtiene por métodos poco seguros como perforación y fresado.







## VENTAJAS



- Son fáciles de obtener. Se pueden fabricar a partir de una amplia gama de materias primas, incluidos desechos de cultivos, estiércol y otros subproductos.
- Gran parte de las materias primas son renovables y no es probable que se agoten pronto.
- Al quemarse, producen menos carbono, lo que los convierte en una alternativa más segura para preservar la calidad atmosférica.
- Si un país tiene los recursos de la tierra para generar materia prima de biocombustible, entonces puede producir su propia energía. Esto termina cualquier dependencia a los recursos de combustibles fósiles que están solo en algunos lugares del mundo.

## DESVENTAJAS

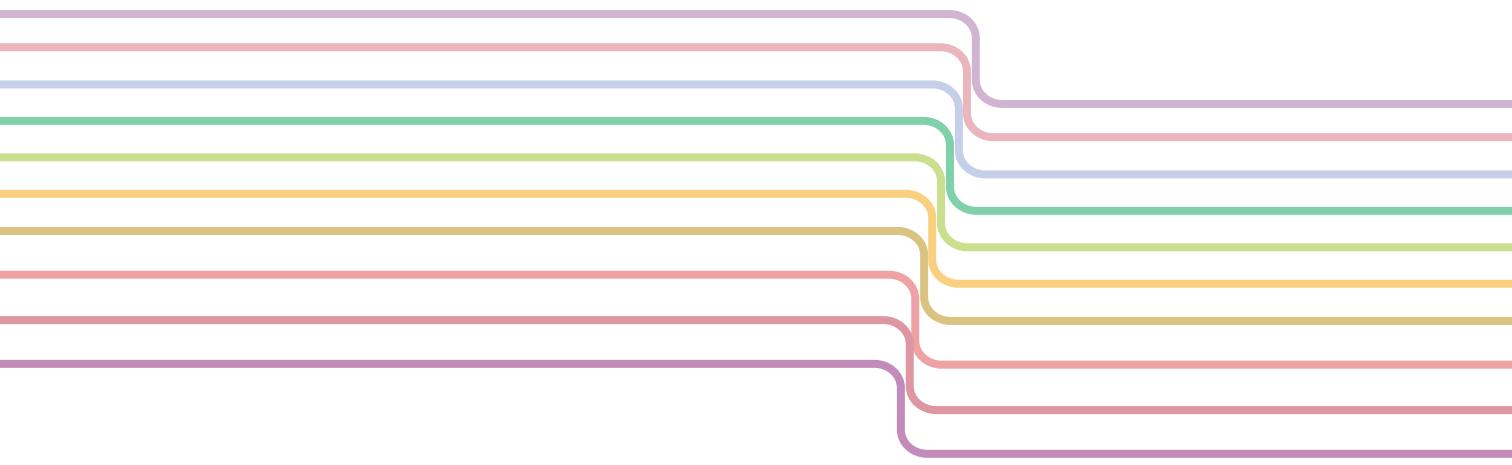


- Tienen un rendimiento energético más bajo que los combustibles tradicionales y, por lo tanto, se requieren mayores cantidades para producir el mismo nivel de energía.
- Aunque son más limpios que los combustibles fósiles, sus procesos de producción, derivan en altas emisiones de carbono.
- Se requieren cantidades masivas de agua para el riego adecuado de los cultivos de biocombustibles, así como para sus procesos de producción, lo que podría agotar los recursos hídricos locales y regionales.
- Para refinar biocombustibles y para construir las plantas de fabricación se requiere una alta inversión inicial.
- Los cultivos para obtener biocombustibles, generalmente, usan tierras que podrían ocuparse para producir alimentos.

# REFERENCIAS

-  <http://generadoras.cl>
-  <http://www.ren21.net/gsr-2018/>
-  <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>
-  Villarrubia, M. (2012). Ingeniería De La Energía Eólica. Barcelona: Marcombo.
-  Leslie Hills, R. (1996). Power from Wind: A History of Windmill Technology. Cambridge: Cambridge University Press.
-  Luceño-Sánchez, J., Díez-Pascual, A., Peña Capilla, R. (2019). «Materials for Photovoltaics: State of Art and Recent Developments». International Journal of Molecular Science, 20, 976; 1-42. doi:10.3390/ijms20040976.
-  O'Regan, B. y Grätzel, M. (1991). «A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO<sub>2</sub> Films». Nature, 353, 737-740. <http://dx.doi.org/10.1038/353737a0>.
-  <https://tubosolar.net/energia-solar-ventanas-inconvenientes/>
-  González, J. (2012). Energías Renovables. Editorial Reverté. Pp. 522-568.
-  Noorollahi, Y., Salman, M., Siddiqi, A., Ilyashenko, L., Ahmadi, E. (2019). «Review of two decade geothermal energy development in Iran, benefits, challenges, and future policy». Geothermics 77, 257-266. <https://bit.ly/2YAVWfP>
-  Moya, D., Aldás, C., Kaparaju, P. (2018). «Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications». Renewable and Sustainable Energy Reviews 94, 889-901. Disponible en: <https://bit.ly/2KgPem3>
-  <http://www.piensageotermia.com/>
-  Fraenkel, P. L. (2007). «Marine current turbines: Pioneering the development of marine kinetic energy converters. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers» Part A: Journal of Power and Energy, 221(2), 159-169. <https://doi.org/10.1243/09576509J-PE307>
-  Hagerman G. & Polagye B. (2006) Methodology for Estimating Tidal Current Energy Resources and Power Production by Tidal In-Stream Energy Conversion (TISEC) Devices. Electric Power Research Institute (EPRI). Disponible en: <https://bit.ly/2Og0pw4>
-  <http://www.energiasrenovablesinfo.com/oceanica/energia-mareomotriz-ventajas-inconvenientes/>
-  IRENA (2019). Global energy transformation: A roadmap to 2050 (2019 edition). International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Disponible en: <https://bit.ly/2FZXGUL>
-  World Bioenergy Association (2018). WBA Global Bioenergy Statistics 2018. Disponible en: <https://bit.ly/2Kgrcb0>
-  Hayelom Dargo Beyene, Adhena Ayaliew Werkneh, Tekilt Gebregergs Ambaye. (2018) «Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review». Renewable Ener-

- gy Focus, 24: 1-11. Disponible en: <https://bit.ly/2YD8sHU>
-  Nogués F.S., García-Galindo D., Rezeau A. (2010). Energía de la biomasa (vol. I). Editorial Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, España.
-  Irving, R. y Levy, E. (2016). Emefcy Group – Vision and Key Goals for 2016. Disponible en: <https://bit.ly/2GIXWJ7>
-  Romero, A., Vásquez, J. y Lugo, A. (2012). Bacterias, fuente de energía para el futuro. SciELO-Tecnura, Vol. 16, N.º 32, pp. 118-143.
-  Schaffeld, G. (2010) «Avances, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de Agua, Energía y Medio Ambiente en Israel». Bioplanet, Vol 11, N.º 55, pp. 20-22.
-  Yadov, A., Srivastava, P., Kumar, N., Abbassi, R. y Kanta, B. «Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell: An Engineering Integrated Technology for Potential Industrial Wastewater Treatment and Bio-Electricity Generation». En Stefanakis, A. (2018). Constructed Wetlands for Industrial Wastewater Treatment, (Editor), Wiley, pp. 493-500 (Hoboken, NJ).
-  Garcés Millas, Ingrid. La industria del litio en Chile. Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Antofagasta. Disponible en: <https://bit.ly/2OtZnB9>
-  <https://bit.ly/2OZNjqm>
-  <https://bit.ly/2OAkvWB>
-  Santos, M.F., Sequeira, C. y Figueiredo, J.L. (2013). «Hydrogen production by alkaline water electrolysis». Quim. Nova, Vol. 36, N.º 8, 1176 – 1193.
-  [www.vattenfall.de/wasserstoffstation](http://www.vattenfall.de/wasserstoffstation)
-  [www.cleanenergypartnership.de](http://www.cleanenergypartnership.de)
-  <https://ethanolrfa.org/statistics/>
-  <https://afdc.energy.gov/data/10331>
-  Naik, S. N., Goud, V. V., Rout, P. K., & Dalai, A. K. (2010). Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. Renewable and sustainable energy reviews, 14(2), 578-597. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.003>
-  Pandey, A. (Ed.) (2011). Biofuels: alternative feedstocks and conversion processes. Academic Press.





# Centro de Comunicación de las Ciencias

Universidad Autónoma de Chile

Este libro forma parte de la colección Aprende Conciencia que agrupa la elaboración de distintos materiales, editoriales y audiovisuales, cuyo foco está puesto en poner a disposición de la comunidad, a través de un lenguaje sencillo y un formato atractivo, temáticas vinculadas con las ciencias y la tecnología.

## OTROS TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

### **Bacterias** **¿Por qué me enferman?**

Dr. Gino Corsini

### **Luciano y su mochila de estrellas luminosas**

Dra. Alejandra Santana y Claudia González

### **Astronomía ilustrada Sol • Tierra • Luna • eclipses**

Dr. Juan Carlos Beamin

En un escenario donde la demanda energética es cada vez mayor y la situación medioambiental cada día es más delicada, la obtención de energía por medios no contaminantes se hace altamente necesaria.

Las energías renovables no convencionales se han transformado en un foco de investigación e innovación en todo el mundo. Dentro de estas se incluyen la hidráulica, la eólica, la solar, la de los océanos, la geotérmica y la que proviene de la biomasa. Este libro aborda cada una de ellas, de manera amena y sencilla, utilizando distintos recursos gráficos. Además, explica el rol del hidrógeno como vector energético, la energía eléctrica producida por microorganismos, la obtención de biogás y biodiésel a través de procesos amigables con el medioambiente e incluye un capítulo sobre las baterías de litio y su importancia en temas de electromovilidad.

*Energías que mueven al mundo* es un producto del Instituto de Ciencias Químicas Aplicadas y el Centro de Comunicación de las Ciencias, ambos de la Universidad Autónoma de Chile, y se puede descargar de forma gratuita desde el sitio [ciencias.uautonomia.cl](http://ciencias.uautonomia.cl)

