

Nick Jelley

# Energías renovables

## Una brevísima introducción



**Alianza** editorial  
El libro de bolsillo

Título original: *Renewable Energy: A Very Short Introduction. First Edition*

Traducción: Dulcinea Otero-Piñeiro

Revisión científica: David Galadí-Enríquez, doctor en física

*Renewable Energy. A Very Short Introduction* ha sido publicada originalmente en inglés en 2020. Esta traducción se publica por acuerdo con Oxford University Press. Alianza Editorial es la única responsable de la traducción de la obra original y Oxford University Press no será responsable de ningún error, omisión, imprecisión o ambigüedad en dicha traducción ni de cualquier problema derivado de la confianza depositada en Alianza Editorial.

Diseño de colección: Estudio de Manuel Estrada con la colaboración de Roberto Turégano y Lynda Bozarth

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Fotografía de Javier Ayuso

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.



© Nick Jelley, 2020  
© de la traducción: Dulcinea Otero-Piñeiro, 2022  
© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2022  
Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15  
28027 Madrid  
[www.alianzaeditorial.es](http://www.alianzaeditorial.es)

ISBN: 978-84-1362-812-7

Depósito legal: M. 5.615-2022

Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: [alianzaeditorial@anaya.es](mailto:alianzaeditorial@anaya.es)

# Índice

9	Agradecimientos
11	Relación de abreviaturas
13	1. ¿Qué son las energías renovables?
34	2. ¿Por qué necesitamos las energías renovables?
55	3. Biomasa, solar térmica e hidroeléctrica
80	4. Energía eólica
100	5. Energía solar fotovoltaica
123	6. Otras tecnologías bajas en carbono
146	7. Electricidad de fuentes renovables y almacenamiento de la energía
168	8. Descarbonización del calor y del transporte
185	9. La transición a las energías renovables
205	Lecturas adicionales
209	Relación de ilustraciones
215	Índice analítico



# Agradecimientos

Quisiera manifestar todo mi agradecimiento por las conversaciones sobre energías renovables que me brindaron John Andrews, Conyers Davis y los compañeros del Instituto Schwarzenegger de Los Ángeles, Nick Eyre, Chris Goodall, Mike Mason, Moritz Riede, Gerard van Bussel y Simon Watson. Asimismo, quisiera agradecer sus consejos a Latha Menon, y dar las gracias a todo el personal de Oxford University Press que colaboró en la preparación del manuscrito de esta obra para su publicación.

Mi agradecimiento más especial es para mi esposa, Jane, cuyo apoyo y comentarios fueron inestimables, y para John, Tessa y Piernicola por su estímulo.



# Relación de abreviaturas

CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
eV	electronvoltio, unidad de energía
PIB	producto interior bruto
GtCO <sub>2</sub>	gigatonelada (mil millones de toneladas) de CO <sub>2</sub>
GW	gigavatio (mil millones de vatios)
GW <sub>p</sub>	gigavatio pico (mil millones de vatios pico)
kW	kilovatio (mil vatios), unidad de potencia
kWh	kilovatio hora, unidad de energía
kW <sub>p</sub>	kilovatio pico (mil vatios pico)
LED	diodo emisor de luz (del inglés <i>light emitting diode</i> )
MW	megavatio (mil kilovatios)
MWh	megavatio hora (mil kWh)
TW	teravatio (mil gigavatios)
TWh	teravatio hora (mil millones de kWh)
W <sub>p</sub>	vatio pico, unidad de potencia de un módulo solar



# 1. ¿Qué son las energías renovables?

En la vida cotidiana usamos energía a todas horas: al hacer una llamada con el móvil, al hervir agua o al conducir el coche. La energía es vital para disfrutar de un nivel de vida adecuado: para la calefacción, producir alimentos y propulsar la tecnología, y en los últimos doscientos años hemos dependido cada vez más de los combustibles fósiles. Sin embargo, la quema de carbón, petróleo y gas natural para la obtención de energía bombea a la atmósfera cantidades inmensas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), y también produce contaminantes perniciosos que dañan nuestra salud y el medio ambiente. Sería fácil continuar tal como estamos, y habría suficientes depósitos de combustibles fósiles para varios cientos de años. Sin embargo, los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, que ya han desatado una alteración drástica del clima planetario, depararían un cambio climático peligroso antes del fin de este siglo debido al calentamiento global, y

amenazarían muchos millones de vidas. Además, en el momento actual, la contaminación del aire ya causa siete millones de muertes prematuras al año.

## Energías renovables

Por suerte, algunas de las energías que usamos no tienen unas consecuencias tan dañinas, sobre todo las derivadas del sol, el viento y el agua. Y en muchas zonas del mundo los generadores solares y eólicos se están convirtiendo en el recurso energético más económico y en una alternativa viable a los combustibles fósiles. Es más, se trata de fuentes de energía renovables, o sea, que se reponen de manera natural en cuestión de días o décadas. Cuando la energía producida es asequible y su obtención no daña el medio ni la salud de las personas (como sí sucede, por ejemplo, cuando se talan árboles para plantaciones de bioenergía), entonces el suministro de esa energía renovable es sostenible. La energía sostenible conllevaría numerosos beneficios inmediatos. Reduciría la contaminación del aire que inunda muchas de las ciudades actuales, brindaría energía más barata y muchos puestos de trabajo nuevos y garantizaría esa energía a millones de personas con un coste asumible.

Hace tan solo unos años habría sido muy difícil dejar de depender de los combustibles fósiles para resolver el calentamiento global, porque están muy imbricados en la sociedad y las alternativas eran muy caras. Además, como el cambio climático se percibía como una amenaza gradual y lejana que no desataba una respuesta emocio-

## 1. ¿Qué son las energías renovables?

nal ni una actuación inmediatas, muchos individuos y gobiernos se mostraron reacios a reaccionar. Pero ahora la amenaza está mucho más cerca y se revela esencial completar la transición de los combustibles fósiles a las energías renovables.

El sol es la fuente principal de energía renovable. Su radiación aporta luz para alumbrarnos, calor para calentarnos y cocinar, y también se puede transformar en electricidad con células fotovoltaicas. La diversa absorción de la radiación solar en distintas partes del planeta genera diferentes temperaturas en superficie que producen vientos, y estos pueden usarse para mover aerogeneradores. Los ríos son el origen de la energía hidroeléctrica y forman parte del ciclo natural que hace que caiga agua de las nubes, la cual fluye por los ríos hasta llegar al mar, donde se evapora por el calor del sol y migra a la atmósfera para volver a formar nubes. Las plantas obtienen energía a través de la fotosíntesis, un proceso que, gracias a la luz del sol, convierte el dióxido de carbono y el agua en carbohidratos que pueden emplearse para obtener alimentos o como combustible para calefacción y para propulsar motores. Toda la energía que necesita el mundo podría extraerse de fuentes eólicas o solares, si bien el potencial de la luz solar supera, con mucho, al del viento.

### Primeras fuentes energéticas

Hasta el siglo XVIII casi todas las fuentes de energía utilizadas eran renovables. Las plantas y los animales aporta-

ban alimento y materiales como lana, estiércol, aceite y grasas para cocinar y para obtener calor, luz y abrigo, y ahora se denominan biomasa tradicional. En la Edad del Bronce, el carbón vegetal, que se obtenía quemando madera con poco aire y que arde a una temperatura más elevada, permitía extraer metales de los yacimientos minerales. Los animales facilitaron muchas tareas, y los caballos y bueyes proporcionaron fuerza y transporte durante muchos siglos.

El uso principal de la energía solar, aparte de servir para el crecimiento de las cosechas, era el de calentar e iluminar las viviendas. Las antiguas culturas de Grecia y China construían sus casas con las estancias principales mirando al sur para que les diera el sol, y los romanos les añadieron ventanas de cristal, lo que contribuía a retener el calor en su interior. En los climas muy tórridos, las viviendas solían construirse con muros muy gruesos para evitar el calor durante el día y para proporcionar calidez durante la noche. El sol también se usaba para secar materiales, como el barro de los ladrillos, y para conservar alimentos.

Se empleaba algo de carbón, turba y aceite para proporcionar calor y luz, aunque su uso era reducido y solía estar restringido a zonas donde estos combustibles eran fáciles de obtener. Unos pocos lugares disponían de energía geotérmica en forma de manantiales hidrotermales. Esta fuente de energía es renovable porque procede del calor que mana del interior de la Tierra. Los romanos utilizaron estos manantiales en los baños de algunas viviendas, tal como se observa en Pompeya.

## Energía eólica

Hay constancia de barcos de vela en el Nilo que datan de 5.000 años atrás. Los primeros barcos de vela tenían un solo mástil con una vela triangular y se propulsaban con ella cuando el viento era favorable. Pero estos barcos también podían navegar oblicuos al viento si orientaban la vela con el ángulo adecuado para aprovechar su fuerza. La vela se curvaba y el viento creaba una diferencia de presión que empujaba el barco en una dirección perpendicular al viento, del mismo modo que el aire que fluye por encima del ala de un avión le aporta sustentación. Los primeros buques de guerra del Mediterráneo, como los trirremes romanos, combinaban remos y velas, al igual que los barcos vikingos, pero la mayoría de los bajeles mercantes era de vela. Las velas triangulares, llamadas velas latinas y que evolucionaron como alternativa más simple y más barata a las velas cuadradas, se volvieron muy comunes en el siglo V y permitieron que los barcos también navegaran contra el viento (figura 1).

Los barcos de vela expandieron el comercio marítimo por todo el planeta, y evolucionaron hasta dar lugar a buques con varios mástiles y velas tanto cuadradas como latinas, capaces de viajar a larga distancia con relativa velocidad. Los clíperes de mediados del siglo XIX superaban los 15 nudos (28 kilómetros por hora), y su velocidad media rondaba la mitad de esa cifra, como las embarcaciones regatistas modernas. Allí donde era posible, el transporte de mercancías por mar a menudo resultaba mucho más barato y fácil que por tierra, ya que los caminos solían ser muy rudimentarios.



Figura 1. Velas latinas.

El primer registro que tenemos del empleo de la energía del viento en tierra data del siglo X y proviene de Persia, donde se usaban molinos de viento de eje vertical para bombear agua y moler grano. Molinos similares se utilizaron también en China, y puede que fueran los primeros en aparecer. Estas máquinas eran menos eficientes que los molinos de eje horizontal que aparecieron por primera vez en Europa en Inglaterra, Francia y Holanda hacia el siglo XII. Estos molinos se difundieron con rapidez por el este de Europa en el siglo XIII, en un principio sobre todo en lugares sin posibilidad de usar molinos de agua. Se recurría a ellos especialmente para moler grano, bombear agua y serrar madera. Los primeros molinos se montaban sobre postes y podían girarse a mano para orientarlos hacia el viento. Los molinos posteriores y más grandes, introducidos hacia el siglo XIV, solo tenían orientables la parte superior de las velas y el eje de las aspas. El empleo de los grandes molinos de viento alcanzó su auge en el siglo XIX, cuando las máquinas de vapor propulsadas por carbón empezaron a reemplazarlos porque eran más compactas y accesibles a demanda.

## La energía hidráulica

Las norias o molinos de agua se inventaron en Egipto, China y Grecia hace más de 2.000 años, en los dos siglos previos a la llegada del primer milenio. Se usaron por primera vez para regar y para proporcionar agua de consumo, y a comienzos del primer milenio se habían modificado para accionar máquinas, como molinos y sierras. En el siglo II hubo una fábrica romana en la Galia que funcionaba con dieciséis norias para moler grano, y el uso de molinos de agua se generalizó en los imperios chino y romano en el siglo V. Su empleo para procesos industriales se extendió hasta los países islámicos en el siglo X y a Europa en el siglo XII, donde, por ejemplo, los monjes cistercienses los usaban para forjar metales y fabricar aceite de oliva.

En las norias usadas para elevar agua, esta fluía por la parte inferior de una rueda montada en vertical. Las vasijas instaladas en el borde de la rueda se llenaban de agua al pasar por el punto más bajo y se vaciaban a medida que la rueda giraba, y se cree que algunas norias árabes podían elevar agua hasta 30 metros de altura. Se conseguía más energía si se hacía fluir el agua por la parte superior de una rueda, llenando los compartimentos ubicados en su borde. El movimiento y el peso del agua hacían girar la rueda. Los molinos de agua horizontales, que tenían un eje vertical y en los que el agua fluía por un lado de la rueda, eran más simples de construir y resultaban idóneos para corrientes fuertes. El movimiento de las mareas también se usó a pequeña escala en la época medieval para propulsar molinos instalados en la costa. La energía de las mareas también es renovable, porque las pérdidas derivadas del movimiento de la marea

y de extraer energía de ellas tienen un efecto despreciable en el movimiento relativo de la Luna, la Tierra y el Sol.

La revolución industrial se propulsó en un primer momento con agua. Richard Arkwright empleó molinos de agua en 1771 para mover bastidores para hilar algodón en la primera fábrica textil hidráulica, en Derbyshire, Inglaterra. El ingeniero francés Benoît Fourneyron mejoró mucho aquella tecnología en 1827. Encauzó el flujo del agua por un tubo cilíndrico ancho para que pasara por aspas curvadas fijas. Estas dirigían el agua en horizontal hacia todas las aspas móviles, las cuales accionaban un eje vertical (véase la figura 2). La turbina era compacta y permitía un flujo y una presión del agua (y, por tanto, una potencia) muy superiores. También ofrecía gran eficiencia (superior al 80 por ciento). La máquina que instaló Benoît Fourneyron en Fraisans, Francia, en 1832 tenía un desnivel de agua pequeño, de 1,4 m, y un diámetro de turbina de 2,9 m y generaba unos 37 kilovatios de potencia. Supuso un gran avance y fue el antecedente de las turbinas hidráulicas modernas.

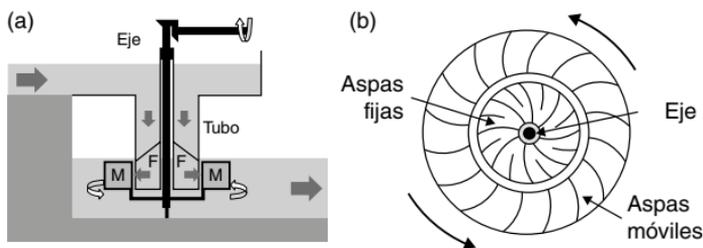


Figura 2. (a) Diagrama de una turbina de Fourneyron: las aspas fijas (F) envían el flujo de agua a través de los huecos del tubo hacia todas las aspas (álabes) móviles (M), unidas a un eje vertical; (b) Sección horizontal del alojamiento de la rueda de la turbina (o rodete).

## 1. ¿Qué son las energías renovables?

Aunque las máquinas de vapor propulsadas con carbón reemplazaron a las propulsadas con agua para el hilado del algodón en Inglaterra, las turbinas hidráulicas mantuvieron su relevancia en Francia y en Estados Unidos durante el siglo XIX. A finales de ese siglo se desarrolló la producción de electricidad usando turbinas hidráulicas inmensas. La primera planta hidroeléctrica de gran tamaño de Estados Unidos, construida por Nikola Tesla y George Westinghouse en 1895 en las cataratas del Niágara, utilizaba tres turbinas de Fourneyron, cada una de ellas capaz de producir 3.700 kilovatios.

## El auge de los combustibles fósiles

En Gran Bretaña el empleo del carbón mineral experimentó un aumento gradual a partir del siglo XII debido a la escasez de combustible en forma de madera y de carbón vegetal. La contaminación derivada de la quema de carbón mineral, un problema que nos es muy familiar en la actualidad, condujo a varios intentos fallidos para prohibir su uso en Londres a partir del siglo XIII. El empleo del carbón despegó con fuerza durante la revolución industrial del siglo XVIII, cuando el de origen mineral desplazó al vegetal para la fundición de hierro, y la demanda se vio acrecentada aún más por el desarrollo de las potentes máquinas de vapor de Watt y Bolton durante la segunda mitad de ese siglo. La revolución industrial se propagó por Europa, América del Norte y más tarde por todo el mundo, y el comercio experimentó una expansión masiva con la introducción de los barcos de vapor

propulsados con carbón y los trenes con locomotora de vapor, todo lo cual incrementó enormemente la demanda mundial de carbón mineral.

El petróleo crudo se había usado en pequeñas cantidades durante milenios en China, Arabia, Asia Central y otros lugares. La búsqueda de crudo para lámparas y para usarlo como lubricante ya estaba ocurriendo en América del Norte y Europa a mediados del siglo XIX, pero los inicios de la industria petrolera moderna se suelen atribuir a Edwin Drake, quien desarrolló un método para proteger las paredes de un pozo perforado en grava y evitar que se desmoronara instalando un tubo que llegaba hasta el lecho de roca situado en las profundidades. En 1859 encontró petróleo en Pensilvania, Estados Unidos, a una profundidad de 21 metros y obtuvo un rendimiento de entre 20 y 40 barriles al día. Por desgracia no patentó su invento y no logró hacerse rico. La demanda aumentó con el desarrollo de los automóviles propulsados con motor de combustión interna a finales del siglo XIX, y en la actualidad son los coches y camiones los principales consumidores de petróleo, refinado en gasolina y gasóleo.

El gas se produjo por primera vez con fines comerciales mediante la gasificación del carbón a comienzos del siglo XIX, y en un principio se usaba para ofrecer iluminación vial. La introducción de la luz eléctrica a finales del siglo XIX desvió el uso del gas de hulla (o gas de coque) para cocinar y para calefacción. El gas natural procedente de yacimientos petrolíferos también se empleaba y, a finales del siglo XX, había desplazado por completo el gas de hulla. El gas natural se usa ahora cada vez más en centrales eléctricas en sustitución del carbón, que es más contaminante.

## El resurgir de las energías renovables

Aparte de la energía hidroeléctrica, que fue en aumento a lo largo del siglo XX y ahora cubre casi una sexta parte de la demanda de electricidad de todo el mundo, las energías renovables se despreciaron para producir electricidad durante la mayor parte de ese periodo, por ser poco competitivas económicamente. Pero las crisis del precio del petróleo de la década de 1970 animaron a los gobiernos occidentales a financiar programas de investigación para el desarrollo de diversas tecnologías de energías renovables con el objetivo de reducir la dependencia del petróleo. La energía eólica fue la primera con viabilidad comercial, ya que se benefició de los bajos costes y las exenciones fiscales, y aprovechaba los conocimientos en diseño de aspas de la industria aeronáutica. Sin embargo, el desarrollo de la energía eólica fue muy variable entre las décadas de 1970 y 1980 debido al precio del petróleo. A pesar de ello, algunos países con zonas de vientos intensos e interesados en disponer de una energía asequible (seguridad energética) continuaron apoyándola. Asimismo, fue en aumento la toma de conciencia sobre los peligros del calentamiento global. Ahora la energía eólica es competitiva en muchas regiones frente a la producción de electricidad mediante combustibles fósiles.

La energía de las olas (undimotriz) también despertó gran interés en la década de 1970, pero pronto se admitió que los costes de esta tecnología eran elevados y que la mayoría del instrumental no resistía tormentas fuertes en el mar. Aun así, todavía hay varios diseños en desarro-

llo, sobre todo los que se instalan sumergidos y anclados al fondo marino. La energía que aprovecha la fuerza de las mareas (llamada mareomotriz) solo tiene viabilidad económica en aquellas regiones donde hay mucha amplitud de marea o donde el promedio de la subida de la marea es lo bastante veloz. Esto limita la aportación de esta energía, pero hay algunas zonas muy propicias para ella: algunas de las mejores se encuentran frente a las costas de América del Norte y en el entorno de Reino Unido.

Las células fotovoltaicas tardaron mucho más en establecerse dentro del mercado energético. El efecto fotovoltaico consiste en generar un voltaje cuando ciertos materiales reciben luz, y la primera persona que observó este fenómeno fue Edmond Becquerel en 1839. Sin embargo, hubo que esperar hasta la década 1950 para que los Laboratorios Bell empezaran a desarrollar las células fotovoltaicas de silicio, con una eficiencia aproximada del 6 por ciento. Aun así, su elevado coste implicó que quedaran restringidas a aplicaciones muy específicas en el ámbito de satélites y programas espaciales. Las crisis del petróleo de la década de 1970 impulsaron el interés por las células fotovoltaicas, y a lo largo de las últimas décadas los métodos de producción en masa han reducido enormemente el precio de las células solares. Ahora nos encontramos en un punto en que la electricidad de los parques de energía solar ofrece competitividad comercial en muchas partes del mundo.

En un frente distinto, el crecimiento de la industria de los biocombustibles a finales del siglo XX ha experimentado un estancamiento en la última década por la inquietud que despiertan las emisiones de dióxido de carbono

## 1. ¿Qué son las energías renovables?

derivadas de la quema de terrenos para prepararlos para esos cultivos y los conflictos con la producción de alimentos. Sin embargo, la biomasa es una fuente de energía importante en el mundo en vías de desarrollo. Y, como las emisiones por plantación y cosecha son despreciables, es una fuente neutra en carbono, en tanto que el dióxido de carbono que se genera por la quema del material se reabsorbe con los nuevos cultivos.

## Políticas que apoyan las energías renovables

Los generadores de energías renovables, si se dejan aparte los que producen energía hidroeléctrica, eran más caros en sus inicios que las centrales eléctricas de combustibles fósiles, y precisaban subsidios para competir con ellos. Uno de los mecanismos más exitosos lo ofrecieron las tarifas de balance neto. Estas consisten en ofrecer un precio garantizado a un productor de electricidad obtenida a partir de fuentes renovables; el precio se fija de tal modo que se pueda obtener un beneficio razonable y, como la tarifa se estipula por un periodo de tiempo a largo plazo, reduce el riesgo para los inversores. El coste adicional de producción frente a la generación de combustibles fósiles suele repartirse entre todos los consumidores de electricidad de la región o del país. Alemania, Dinamarca, España y Estados Unidos fueron países pioneros en la creación de mercados de energías renovables que conllevaron avances en cuanto a tecnología y a economías de escala. Pero la producción e instalación de sistemas de energías renovables están dominadas ahora por China.