

# COSTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN 2020

## RESUMEN EJECUTIVO

### COSTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN 2020

El año 2020 estuvo marcado por la pandemia mundial y el consiguiente costo económico y humano que tuvo la propagación del virus COVID-19. Sin embargo, un punto positivo fue la resiliencia de las cadenas de suministro de generación de energía renovable y el crecimiento récord en nuevas implementaciones.

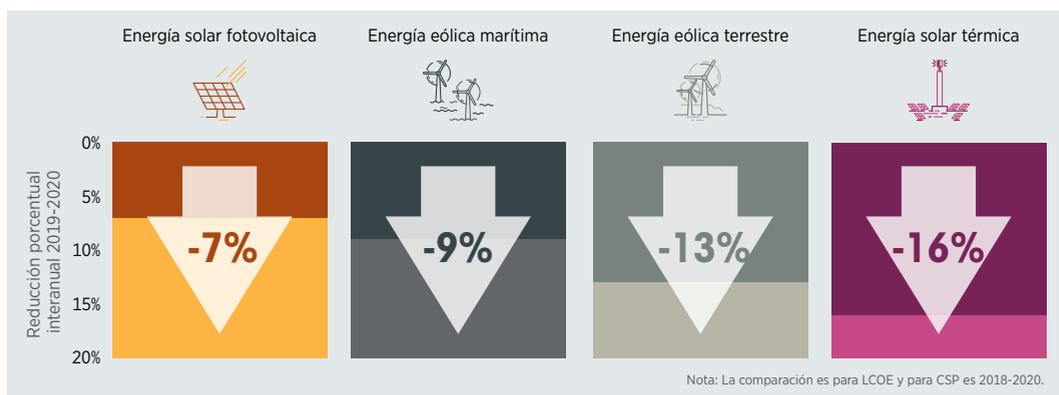
Tampoco se alteró la tendencia en la continua disminución de los costos de la energía solar y eólica. En 2020, el costo nivelado promedio ponderado global de la electricidad (LCOE) de las nuevas adiciones de capacidad de energía eólica terrestre disminuyó en un 13 %, en comparación con 2019. Durante el mismo periodo, el LCOE de la energía eólica marina se redujo en un 9 % y el de la energía solar fotovoltaica (FV) a escala de servicios públicos en un 7 % (Figura S.1).

Esa caída interanual del 13 % en el LCOE promedio ponderado global de la energía eólica terrestre, de 0.045 USD/kilovatio hora (kWh) a 0.039 USD/kWh,<sup>1</sup> fue ligeramente superior a la tasa de disminución en 2019. La disminución fue impulsada por una caída del 9 % en el costo total de instalación promedio ponderado global, ya que China, que tiene costos de instalación más bajos que el promedio, conectó un estimado de 69 GW a la red en 2020, dos terceras partes de la nueva capacidad desplegada ese año.

En 2020, la disminución interanual del 7 % en el LCOE de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos, de 0.061 USD/kWh a 0.057 USD/kWh, fue menor que la disminución del 13 % experimentada en 2019. En 2020, también, el costo instalado total promedio ponderado global de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos se redujo en un 12 %, a solo 883 USD/kW.

La disminución en términos del LCOE para la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos fue menor de lo que podría haber sido, ya que la disminución en los costos totales de instalación experimentada fue parcialmente compensada por una reducción en el factor de capacidad promedio ponderado global de nuevos proyectos en ese año.<sup>2</sup> Esto fue impulsado por la implementación en 2020 que, en conjunto, fue ponderada hacia áreas con recursos solares más pobres que las que verían implementación en 2019.<sup>3</sup> De manera similar a la situación de la energía eólica terrestre, China fue el mercado más grande de nueva capacidad y representó aproximadamente el 45 % de la nueva capacidad a escala de servicios públicos agregada en 2020.

**Figura S.1** LCOE promedio ponderado global de tecnologías de energía solar y eólica a escala de servicios públicos recién puestas en servicio, 2019-2020



Fuente: Base de datos de costos de energías renovables de IRENA

- 1 Todos los valores financieros presentados en este informe son valores reales de 2020, es decir, están ajustados por el impacto de la inflación en un año base 2020. Los cálculos del LCOE se basan en la metodología detallada en el Anexo I y excluyen el impacto de cualquier apoyo financiero disponible.
- 2 Todos los factores de capacidad solar fotovoltaica citados en este informe son factores de capacidad de corriente alterna (CA)/corriente continua (CC), dado que todos los datos de costos instalados para la energía solar fotovoltaica se cotizan por vatio de corriente continua, que es una excepción, ya que todas las demás tecnologías se informan en términos de CA.
- 3 Este resultado debe tratarse con precaución, dada la creciente importancia de los módulos bifaciales y los seguidores de un solo eje, donde la disponibilidad de datos está por detrás del costo total instalado y tiene un impacto material en los factores de capacidad. Es posible realizar revisiones del factor de capacidad de 2020.

La disminución interanual del 9 % en el LCOE promedio ponderado global de la energía eólica marina en 2020 hizo que el costo promedio ponderado global de la electricidad de los nuevos proyectos cayera de 0.093 USD/kWh a 0.084 USD/kWh. Esta fue una disminución más pronunciada que la experimentada en 2019, ya que China, que tiene costos de instalación más bajos que el promedio, aumentó su participación en nuevas adiciones de capacidad, de alrededor de una tercera parte en 2019 a alrededor de la mitad en 2020.

El LCOE promedio ponderado global de los nuevos proyectos de energía solar de concentración (CSP) puestos en servicio en 2020 se redujo un 49 % interanual. Sin embargo, este resultado es algo atípico, ya que el LCOE promedio ponderado global en 2019 fue impulsado por dos proyectos israelíes muy retrasados, mientras que 2020 se caracterizó por la puesta en servicio de solo dos plantas, ambas en China. Al observar las cifras entre 2018 y 2020, se revela una tasa de disminución anual compuesta del 16 % anual, que es más representativa de las tasas recientes de reducción de costos.

## **TENDENCIAS DE COSTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE, 2010-2020: UNA DÉCADA DE COSTOS A LA BAJA**

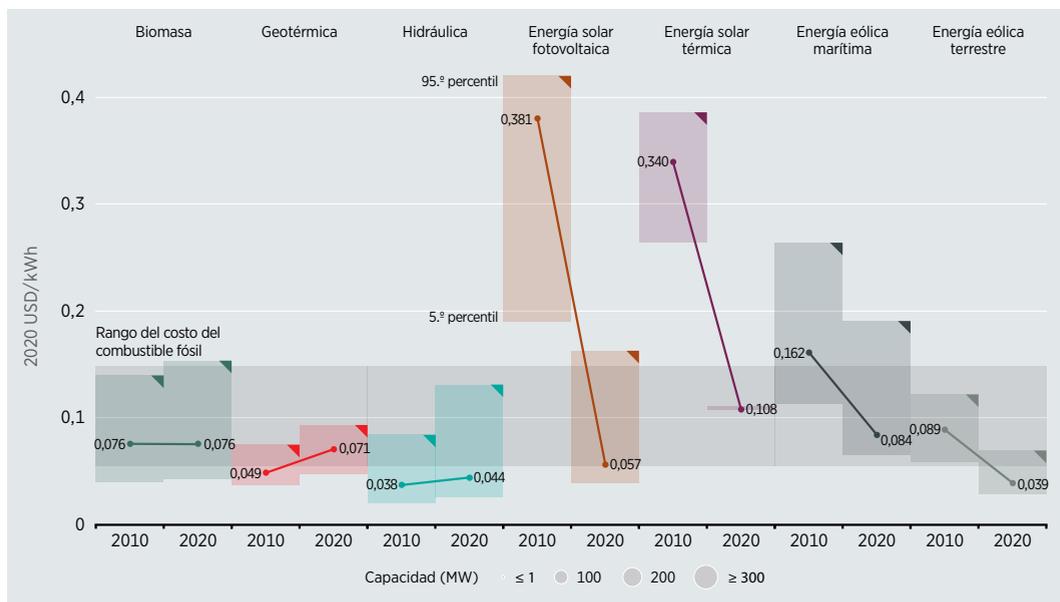
La década de 2010 a 2020 representa un periodo notable de reducción de costos para las tecnologías de energía solar y eólica. La combinación de apoyo político específico e impulso de la industria ha hecho que la electricidad renovable de la energía solar y eólica pase de un nicho costoso a una competencia cara a cara con los combustibles fósiles para obtener nueva capacidad. En el proceso, ha quedado claro que las energías renovables se convertirán en la columna vertebral del sistema eléctrico y ayudarán a descarbonizar la generación de electricidad, con costos más bajos que en un futuro normal.

El LCOE promedio ponderado global de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos para proyectos recientemente puestos en servicio se redujo en un 85 % entre 2010 y 2020, de 0.381 USD/kWh a 0.057 USD/kWh (Figura S.2), ya que los costos totales de instalación disminuyeron de 4 731 USD/kW a 883 USD/kW. Esto ocurrió cuando la capacidad instalada acumulada global de toda la energía solar fotovoltaica (a escala de servicios públicos y en el tejado) aumentó de 42 GW en 2010 a 714 GW en 2020. Esto representó una caída abrupta, de ser más del doble de costosa que la opción más cara de generación de energía alimentada con combustibles fósiles a estar en la parte inferior del rango para la nueva capacidad alimentada con combustibles fósiles.<sup>4</sup>

El LCOE de los sistemas fotovoltaicos residenciales también se redujo drásticamente durante el periodo. El LCOE de los sistemas fotovoltaicos residenciales en Australia, Alemania, Italia, Japón y los Estados Unidos disminuyó de entre 0.304 USD/kWh y 0.460 USD/kWh en 2010 a entre 0.055 USD/kWh y 0.236 USD/kWh en 2020, una disminución de entre 49 % y 82 %.

Para los proyectos eólicos terrestres, el costo promedio ponderado global de la electricidad entre 2010 y 2020 cayó un 56 %, de 0.089 USD/kWh a 0.039 USD/kWh, ya que los factores de capacidad promedio aumentaron del 27 % al 36 % y los costos totales instalados disminuyeron de 1971 USD/kW a 1355 USD/kW. La capacidad instalada acumulada creció de 178 GW a 699 GW durante este periodo. En comparación con la energía solar fotovoltaica, donde las disminuciones de los costos de la electricidad se deben principalmente a la caída de los costos totales de instalación, las reducciones de los costos de la energía eólica terrestre se vieron impulsadas de manera más uniforme por las caídas en los precios de las turbinas y el equilibrio de los costos de la planta, y por factores de capacidad más altos de las turbinas de última generación de hoy en día.

**Figura S.2** LCOE globales de tecnologías de generación de energía renovable a escala de servicios públicos recién puestas en servicio, 2010-2020



Fuente: Base de datos de costos de energías renovables de IRENA

Nota: Estos datos corresponden al año de puesta en servicio. Las líneas gruesas son el valor LCOE promedio ponderado global derivado de las plantas individuales puestas en servicio cada año. El LCOE a nivel de proyecto se calcula con un costo de capital promedio ponderado real (WACC) del 7,5 % para los países de la OCDE y China en 2010, disminuyendo al 5 % en 2020; y 10 % en 2010 para el resto del mundo, disminuyendo al 7,5 % en 2020. La banda única representa el rango de costos de generación de energía a partir de combustibles fósiles, mientras que las bandas para cada tecnología y año representan las bandas de percentiles 5.º y 95.º para proyectos renovables.

4 El rango de costos de generación de energía a partir de combustibles fósiles para el grupo G20 por país y tipo de combustible se estima entre 0,055 USD/kWh y 0,148 USD/kWh. El límite inferior representa nuevas plantas de carbón en China y se basa en IEA, 2020.

En el caso de la energía eólica marina, el LCOE promedio ponderado global de los proyectos recién puestos en servicio disminuyó de 0.162 USD/kWh en 2010 a 0.084 USD/kWh en 2020, una reducción del 48 % en 10 años. Esto ha transformado las perspectivas de la energía eólica marina, con una capacidad instalada acumulada de energía eólica marina de solo 34 GW a finales de 2020, que es alrededor de una vigésima parte de la de la energía eólica terrestre.

Durante el periodo de 2010 a 2020, el costo promedio ponderado global de la electricidad de la CSP cayó un 68 % de 0.340 USD/kWh a 0.108 USD/kWh. Sin embargo, con solo dos proyectos puestos en servicio en 2020, ambos en China, estos resultados reflejan las circunstancias nacionales de ese país. Habiendo dicho eso, la disminución del 68 % en el costo de la electricidad de la CSP, en el medio del rango del costo de la nueva capacidad de los combustibles fósiles, sigue siendo un logro notable. A modo de comparación, la capacidad instalada acumulada global de CSP de 6.5 GW a finales de 2020 era un poco menos de una centésima parte de la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica.

Entre 2010 y 2020, se agregaron 60 GW de capacidad de nueva bioenergía. El LCOE promedio ponderado global de bioenergía para proyectos de energía experimentó un cierto grado de volatilidad durante este periodo, pero terminó la década en aproximadamente el mismo nivel en que comenzó, a 0.076 USD/kWh, una cifra en el extremo inferior del costo de la electricidad de nuevos proyectos alimentados con combustibles fósiles. Para el mismo periodo, la energía hidroeléctrica agregó 715 GW, mientras que el LCOE promedio ponderado global aumentó en un 18 %, de 0.038 USD/kWh a 0.044 USD/kWh. Esto fue aún más bajo que la nueva opción de electricidad alimentada con combustibles fósiles más barata, a pesar de que los costos aumentaron un 16 % en 2020, año tras año.

El LCOE promedio ponderado global de la energía geotérmica ha oscilado entre 0.071 USD/kWh y 0.075 USD/kWh desde 2016. El LCOE promedio ponderado global de las plantas recién puestas en servicio en 2020 se ubicó en el extremo inferior de este rango, a 0.071 USD/kWh, habiendo disminuido un 4 % interanual.

---

*El costo promedio ponderado global de la electricidad proveniente de la energía eólica terrestre se redujo en un 56 % entre 2010 y 2020, de 0.089 USD/kWh a 0.039 USD/kWh*

---

## **LA GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE SE ESTÁ CONVIRTIENDO EN LA OPCIÓN ECONÓMICA PREDETERMINADA PARA LA NUEVA CAPACIDAD**

La década de 2010 a 2020 vio una mejora dramática en la competitividad de las tecnologías de energía solar y eólica. En ese periodo, la CSP, la energía eólica marina y la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos se unieron a la energía eólica terrestre en el rango de costos de la nueva capacidad alimentada por combustibles fósiles, cuando se calcula sin el beneficio de apoyo financiero. De hecho, la tendencia no es solo que las energías renovables compitan con los combustibles fósiles, sino que los socaven significativamente cuando se requiere nueva capacidad de generación de electricidad.

En 2020, un total de 162 GW de la capacidad de generación de energía renovable agregada tuvo costos de electricidad más bajos que la fuente más barata de nueva capacidad alimentada con combustibles fósiles. Esto fue alrededor del 62 % del total de adiciones de capacidad neta ese año. En las economías emergentes, donde la demanda de electricidad está creciendo y se necesita nueva capacidad, estos proyectos de generación de energía renovable reducirán los costos en el sector eléctrico en al menos 6 mil millones de dólares estadounidenses por año, en relación con el costo de agregar la misma cantidad de generación de combustibles fósiles.

Desde 2010, a nivel mundial, se ha agregado un total acumulado de 644 GW de capacidad de generación de energía renovable con costos estimados que han sido más bajos que la opción más barata de combustibles fósiles en su año respectivo.<sup>5</sup> Antes de 2016, casi todo esto lo contribuía la energía hidroeléctrica, pero desde entonces ha incluido cada vez más la energía eólica terrestre y la energía solar fotovoltaica.



Foto: Shutterstock

Del total, durante la década, 534 GW se agregaron en las economías emergentes y podrían reducir los costos del sistema eléctrico en estas hasta en 32 mil millones de dólares estadounidenses en 2021 (920 mil millones de dólares estadounidenses, sin descuento, durante su vida económica).

Los resultados de la adquisición competitiva de renovables a través de subastas o contratos de compra de energía (PPA) confirman la competitividad de las renovables. Los datos de la Base de datos de subasta de energías renovables y PPA de IRENA indican que los proyectos de energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos que han ganado procesos de adquisición competitivos recientes, y que se pondrán en servicio en 2022, podrían tener un precio promedio de 0.04 USD/kWh (Figura S.3). Esta es una reducción del 30 % en comparación con el LCOE promedio ponderado global de la energía solar fotovoltaica en 2020 y es alrededor de un 27 % menos (0.015 USD/kWh) que el competidor de combustibles fósiles más barato, a saber, las plantas de carbón.

Los datos de la subasta y de PPA sugieren que los costos de la energía eólica marina estarán dentro del rango de 0.05 USD/kWh a 0.10 USD/kWh en Europa en el periodo hasta 2023, y es probable que los nuevos mercados o los proyectos retrasados tengan costos más altos. El extremo inferior de este rango para la energía eólica marina sugiere que los proyectos serán competitivos frente a los precios mayoristas de la electricidad en varios mercados europeos. Mientras tanto, el mercado de la CSP es escaso, pero los datos disponibles sugieren un descenso continuo en 2021, ya que este año se pondrá en marcha el gran proyecto de CSP de agua y electricidad de Dubái.

Por lo tanto, los datos de la Base de datos de costos de energías renovables de IRENA y la Base de datos de subastas y PPA destacan el hecho de que los proyectos de energía solar fotovoltaica y eólica terrestre a escala de servicios públicos son, en promedio, capaces de producir electricidad por menos que el nuevo proyecto de costo de combustibles fósiles más barato. Para la energía eólica marina y la CSP, los costos caerán en el rango más bajo para las nuevas centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles.

---

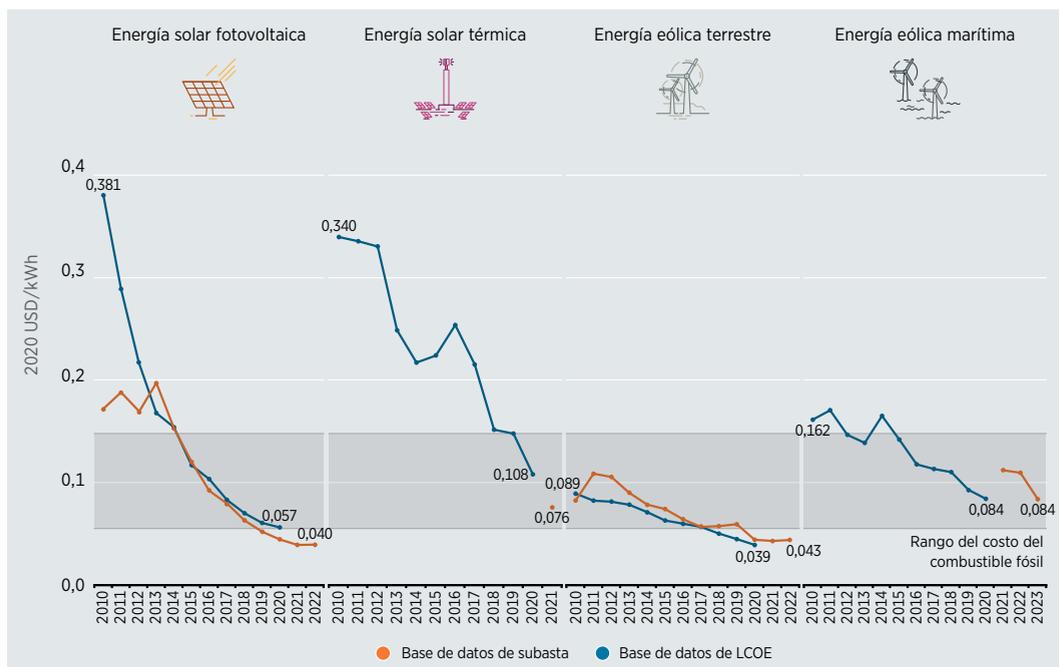
*A nivel mundial, desde 2010, se ha agregado un total acumulado de 644 GW de capacidad de generación de energía renovable con costos estimados que han sido más bajos que la opción más barata de combustibles fósiles.*

---

Los datos también sugieren que hay un número creciente de proyectos con costos de electricidad muy bajos, por debajo de 0.03 USD/kWh. De hecho, en los últimos 18 meses se han registrado tres ofertas históricas bajas para la energía solar fotovoltaica, comenzando con 0.0157 USD/kWh en Qatar, 0.135 USD/kWh en los Emiratos Árabes Unidos y 0.0104 USD/kWh en Arabia Saudita. Sorprendentemente, valores por debajo de 0.02 USD/kWh no son imposibles, aunque fueran impensables, incluso hace unos años. Sin embargo, requieren que casi todos los factores que afectan al LCOE estén en sus "mejores" valores.

Estos niveles muy bajos de precios de la energía solar fotovoltaica implican que el hidrógeno renovable de bajo costo ya puede estar al alcance. El costo potencial nivelado del hidrógeno, asumiendo los bajos precios de la energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre de las subastas recientes en Arabia Saudita, podría ser tan bajo como 1.62 USD/kilogramo de hidrógeno (kg H<sub>2</sub>). Esto se compara favorablemente con el costo hipotético del reformado de metano con vapor de gas natural, con los costos actuales de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS) de entre 1.45 USD/kg H<sub>2</sub> y 2.4 USD/kg H<sub>2</sub>.

**Figura S.3** El promedio ponderado global de LCOE y precios de subasta/PPA para la energía solar fotovoltaica, eólica terrestre, eólica marina y CSP, 2010-2023



Fuente: Base de datos de costos de energías renovables de IRENA

Nota: Las líneas gruesas son el LCOE promedio ponderado global, o valores de subasta, por año. Para los datos de LCOE, consulte la nota de la Figura S.2. La banda que cruza todo el gráfico representa el rango de costos de generación de energía alimentada con combustibles fósiles.

## LA ENERGÍA RENOVABLE DE BAJO COSTO ESTÁ DEJANDO VARADAS LAS CENTRALES ELÉCTRICAS DE CARBÓN EXISTENTES

Dado que los costos de la energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre han caído, la nueva capacidad renovable no solo es cada vez más barata que la nueva capacidad alimentada con combustibles fósiles, sino que también reduce cada vez más los costos operativos de las centrales eléctricas de carbón existentes.

De hecho, en Europa en 2021, los costos operativos de las centrales eléctricas de carbón están muy por encima de los costos de la nueva energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre (incluido el costo de los precios del CO<sub>2</sub>). El análisis para Alemania y Bulgaria muestra que todas las plantas de carbón estudiadas tienen costos operativos más altos en la actualidad que la nueva energía solar fotovoltaica y la energía eólica terrestre. En los Estados Unidos y la India, los costos operativos de las plantas de carbón son más bajos, sin embargo, debido en gran parte, pero no completamente, a la ausencia de un precio significativo para el CO<sub>2</sub>. No obstante, la mayoría de las plantas de carbón existentes en India y Estados Unidos tienen costos más altos que la energía solar fotovoltaica y la eólica terrestre, debido a los costos muy competitivos de esas dos tecnologías renovables en esos dos países.

En los Estados Unidos, en 2021, entre el 77 % y el 91 % de la capacidad de carbón existente tiene costos operativos que se estiman ser más altos que el costo de la nueva capacidad de energía solar o eólica, mientras que en India, la cifra está entre 87 % y 91 %. Ajustado a una base de costo nivelado, el precio promedio ponderado de los acuerdos de subasta y compra de energía para la energía solar fotovoltaica en India para 2021 es de 0.033 USD/kWh, mientras que para la energía eólica terrestre es de 0.032 USD/kWh. En Estados Unidos, las cifras respectivas son 0.031 USD/kWh y 0.037 USD/kWh.

Está más allá del alcance de este análisis determinar si el valor de la generación a carbón es mayor que sus costos. Sin embargo, dado que, entre 2015 y 2018, el costo del almacenamiento de baterías a escala de servicios públicos en los Estados Unidos se redujo en un 71 % de 2 152 USD/kWh a 635 USD/kWh, incluso se están erosionando las propuestas de valor de proporcionar una generación de electricidad firme y flexible. La creciente brecha entre los nuevos costos de energía solar y eólica y los costos operativos existentes de un número creciente de centrales eléctricas de carbón proporciona una idea del tamaño de la oportunidad económica que presenta el retiro anticipado del carbón.

**Tabla S.1** Capacidad de las centrales eléctricas de carbón existentes no rentables y ahorro anual en generación de carbón, costos de electricidad y emisiones de CO<sub>2</sub>, 2021

	Capacidad de carbón con costos operativos más altos que la energía solar y eólica nueva		Ahorro anual al reemplazar el carbón con energía solar y eólica nueva	Reducciones anuales de emisiones de CO <sub>2</sub>
	(GW)	+ 5 USD/MWh costos de integración renovable (GW)	(Miles de millones de USD/año)	(Mt CO <sub>2</sub> /año)
Bulgaria	3.7	3.7	0.7	18
Alemania	28	28	3.3	99
India	193	141	6.4	643
Estados Unidos	188	149	5.6	332
Resto del mundo	724	488	16.3	1 881
<b>Mundo</b>	<b>1 137</b>	<b>810</b>	<b>32</b>	<b>2 973</b>

Fuente: Análisis de IRENA basado en Carbon Tracker, 2018; Szabó et al., 2020; IEA, 2021; Öko-Institut, 2017; Booz&Co, 2014; Energy-charts.de; DIW Berlin, Wuppertal Institut y EcoLogic, 2019; Gimon et al., 2019; EIA de EE.UU., 2021; y Base de datos de costos de energías renovables de IRENA



## LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA TIENEN TASAS DE APRENDIZAJE NOTABLES

Las disminuciones de costos experimentadas de 2010 a 2020 representan una tasa de descenso notable. Esto no solo tiene enormes implicaciones para la competitividad de las tecnologías de generación de energía renovable a mediano plazo. También tiene implicaciones para otras tecnologías que tienen características similares y son necesarias en la transición energética.

Durante el periodo de 2010 a 2020, que incluyó el 94 % de las adiciones de capacidad renovable instalada acumulada, la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos tuvo la tasa de aprendizaje estimada<sup>6</sup> más alta para el costo total de instalación promedio ponderado global, con un 34 %. Esta tecnología también tuvo el LCOE más alto, con un 39 %. Este es un valor que supera prácticamente todos los análisis de tasas de aprendizaje anteriores para la energía solar fotovoltaica con base en datos del periodo anterior de implementación, cuando se esperaba que las tasas de aprendizaje fueran más altas que en periodos posteriores.

Para la energía eólica terrestre, la tasa de aprendizaje del LCOE para el periodo de 2010 a 2019 fue del 32 %, un poco menos del doble que para los costos totales de instalación. La importancia de las reducciones de los costos totales de instalación para la disminución de los costos de electricidad de la energía solar fotovoltaica a escala de servicios públicos es claramente evidente en la Tabla S.2, dada la proximidad de las tasas de aprendizaje para los costos totales de instalación y el LCOE. Para las otras tecnologías, las mejoras de rendimiento que han aumentado los factores de capacidad han jugado un papel más importante en la caída de los costos de la electricidad. Como resultado, las tasas de aprendizaje de LCOE para CSP, energía eólica terrestre y marina son significativamente más altas que las de los costos totales de instalación.

**Tabla S.2** Tasas de aprendizaje para energía solar fotovoltaica, CSP, eólica terrestre y marina, 2010 a 2021/3

	Tasas de aprendizaje	
	Costo total instalado 2010-2020	LCOE 2010-2021/23
	(%)	(%)
Energía solar FV a escala de servicios públicos	34	39
CSP	22	36
Energía eólica terrestre	17	32
Marítima	9	15

<sup>6</sup> La tasa de aprendizaje es la reducción porcentual en el precio/costo por cada duplicación de la capacidad instalada acumulada.

© IRENA 2021

Este Resumen ejecutivo es una traducción de "*Renewable Power Generation Costs in 2020*" ISBN: 978-92-9260-348-9" (2021). En caso de discrepancia entre esta traducción y el original en inglés, prevalecerá el texto en inglés.

## EXENCIÓN DE RESPONSABILIDAD

Esta publicación y el material que figura en ella se presentan en el estado en que se encuentran. IRENA ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la fiabilidad del material presentado en esta publicación. Sin embargo, ni IRENA ni ninguno de sus funcionarios, agentes, proveedores de datos u otros contenidos de terceros ofrecen ninguna garantía, ya sea explícita o implícita, ni aceptan responsabilidad u obligación alguna por consecuencias derivadas del uso de la publicación o el material que contiene.

La información aquí contenida no representa necesariamente los puntos de vista de todos los miembros de IRENA. La mención de empresas específicas o ciertos proyectos o productos no significa que IRENA los respalde o recomiende con preferencia sobre otros de naturaleza similar que no estén mencionados. Las denominaciones empleadas y la presentación de material en la presente publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre la condición jurídica de ninguna región, país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.