

**Asóciate y colabora  
con nosotros!**

**Contacta:**  
red@sostenibilidadyprogreso.org

ASYPS no se hace necesariamente responsable, ni se inclina sobre las posiciones, de las opiniones relacionadas con los artículos de los autores.

**Dr. Javier López Prol**

# ¿Es socialmente rentable la inversión en energía fotovoltaica?



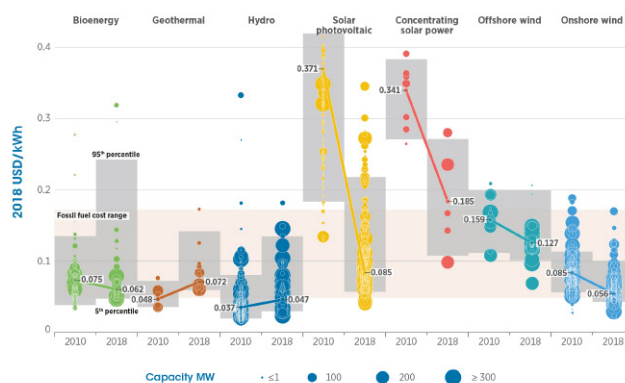
Imagen: Andreas Gücklhorn (Unsplash)

Aunque el efecto fotovoltaico (transformación de luz en corriente eléctrica a través de materiales semiconductores) fue descubierto ya en el siglo XIX, no fue hasta mediados del siglo XX cuando las células fotovoltaicas empezaron a tener sus primeras aplicaciones. En principio, debido a su alto coste y baja eficiencia estaban reservadas para nichos donde otras tecnologías no eran posibles, como la exploración espacial. La tecnología fotovoltaica no resultó demasiado interesante a nivel comercial hasta las crisis del petróleo de los '70, cuando los altos precios energéticos fomentaron la investigación y el desarrollo de alternativas. Sin embargo, no fue hasta la primera década del presente siglo que la tecnología fotovoltaica empezó a despegar comercialmente cuando la necesidad de descarbonizar la matriz energética llevó a muchos gobiernos a fomentar la difusión de energías renovables.

## **EVOLUCIÓN DEL COSTE DE LA FOTOVOLTAICA**

El incremento de I+D+i hizo que el coste de la energía fotovoltaica empezara a disminuir a un ritmo exponencial. En las últimas tres décadas se estima que el coste de la energía fotovoltaica cayó a un ritmo del 21-24% por cada vez que se dobla la capacidad instalada (IEA, 2014; Fraunhofer, 2020). Esta evolución favorable de los costes hizo que la tecnología fotovoltaica se convirtiera en la energía renovable más barata, junto con la eólica, en las regiones con alta insolación, y ya en el rango de costes de las energías fósiles (IRENA, 2019). La Figura 1 muestra, en primer lugar, que la energía fotovoltaica es la que ha experimentado una mayor tendencia decreciente en su coste unitario (\$/kWh) en los últimos años y, en segundo lugar, que todas las tecnologías renovables, excepto la solar térmica, están ya en el rango de costes de los combustibles fósiles. Estos datos han sido confirmados por multitud de institutos de investigación como Fraunhofer o empresas consultoras como Lazard.

## ¿Es socialmente rentable la inversión en energía fotovoltaica?



**Figura 1.** Coste medio unitario (levelized cost) de la electricidad mayorista de diferentes tecnologías de generación renovable (biomasa, geotérmica, hidráulica, solar fotovoltaica, solar térmica, eólica marina y eólica terrestre) entre 2000-2017 en dólares por kWh. El coste indicado es el medio ponderado mundial y cada burbuja es un proyecto cuya área representa la capacidad instalada.

Fuente: IRENA, 2019.

El coste medio unitario, sin embargo, no es un indicador perfecto para juzgar la idoneidad de las diferentes tecnologías de generación, pues omite multitud de factores, como la capacidad de las diferentes tecnologías para adaptarse a la demanda, es decir, su capacidad de ajustar la producción para que el sistema eléctrico se mantenga siempre en equilibrio, o los costes externos que generan, como la contaminación o los costes derivados del cambio climático.

### El debate sobre las renovables

El debate en torno a la idoneidad de las energías renovables ha sido vehemente en los últimos años, y se puede resumir en los siguientes puntos:

- Por una parte, los proponentes de las energías renovables argumentan que son necesarias para mitigar los efectos del cambio climático y otros impactos medioambientales.
- Por otra parte, los opositores a las energías renovables argumentan que, en primer lugar, son extremadamente caras, lo cual es evidente a tenor de los millones de euros invertidos en incentivos aun todavía suponiendo un porcentaje relativamente modesto del mix energético. Por otra parte, las renovables variables como la solar y la eólica solo producen bajo condiciones climáticas favorables, a diferencia de las tecnologías de generación convencionales, como el carbón o el gas, que pueden producir cuando es necesario para cubrir la demanda en todo momento. Por este motivo, las renovables no son capaces de cubrir la demanda debido a su variabilidad y estresan el sistema eléctrico al aumentar su volatilidad.

Ambos argumentos son extremadamente relevantes, y por ese motivo es necesario tenerlos en cuenta al realizar un análisis comprensivo sobre la rentabilidad social de las energías renovables en general y de la fotovoltaica en particular.

En primer lugar, es necesario aclarar que los costes de las políticas de apoyo a las renovables no reflejan los costes actuales de estas tecnologías, como evidencia la **Figura 1**. Los incentivos a las renovables de las últimas dos décadas no deben ser considerados como una política de mitigación o industrial, sino como una política de innovación y desarrollo.

Es decir, muchas de las críticas a los subsidios a las renovables se basan en que el coste por unidad de CO2 mitigada es demasiado alto, o de que los beneficios de la expansión de las renovables no han recaído en la creación de una industria local, sino que han beneficiado a China, el principal productor de paneles solares. Ambas apreciaciones son correctas, pero ignoran el hecho de que el principal objetivo de las políticas de apoyo a las renovables no era industrial (crear una industria de producción local) ni siquiera de mitigación (reducir las emisiones al mínimo coste), sino avanzar en la curva

“...el principal objetivo de las políticas de apoyo a las renovables no era industrial...”

de aprendizaje de las renovables presionando a la baja su coste, de forma que en un futuro pudieran ser competitivas por sí mismas. Bajo esta perspectiva, esas políticas de apoyo han sido un éxito al lograr una considerable disminución de los costes tecnológicos superior al 70% en una década (SEIA).

## ¿Es socialmente rentable la inversión en energía fotovoltaica?

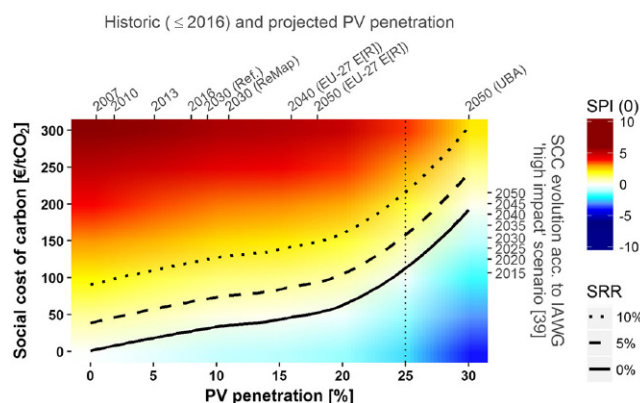
Aunque hubo diferencias significativas en la implementación de esas políticas de apoyo a las renovables que determinaron su mayor éxito o fracaso (ver, por ejemplo, [López Prol, 2018](#) para una comparación entre Alemania y España), lo cierto es que los bajos costes actuales son consecuencia de esas políticas de apoyo cuando la tecnología era todavía cara (ver [Kavlak et al. 2018](#) o el excelente resumen [Roberts, 2018](#)). Esta disminución de costes ha provocado que la tecnología fotovoltaica sea ya competitiva, aportando cuantiosos beneficios no solo a los países que las llevaron a cabo, sino a todos los que ahora pueden beneficiarse de esos menores costes de inversión para descarbonizar sus economías.

### ¿Porqué invertir en renovables?

Independientemente de la idoneidad de los incentivos a las renovables, la pregunta inicial continúa en el aire: teniendo en cuenta los argumentos anteriormente mencionados sobre el coste de las renovables (sus costes directos y de integración, así como la mitigación de los costes externos de las tecnologías convencionales) ¿es socialmente rentable invertir en energía fotovoltaica? Para responder esa pregunta es necesario evaluar los tres aspectos de forma conjunta: (i) la rentabilidad económica de la inversión (el coste de la inversión y los beneficios derivados de la electricidad generada), (ii) los costes de integración que las energías renovables variables causan al sistema eléctrico, y (iii) los costes externos de las tecnologías convencionales que son mitigados con su sustitución por las energías renovables variables.

Aunque tanto los costes externos como de integración son inciertos, existen estimaciones de ambos ([Ecofys, 2014](#) y [Ueckerdt et al. 2013](#) respectivamente) que nos permiten realizar este análisis de forma rigurosa. Así, cuando calculamos la rentabilidad social de la energía renovable para Alemania ([Lopez Prol y Steininger, 2018](#)), asumiendo un coste social del CO<sub>2</sub> de en torno a 150€/tCO<sub>2</sub> ([van den Bergh y Botzen, 2014](#)), encontramos la inversión fotovoltaica tiene una rentabilidad social superior al 5% al menos hasta una penetración del 25% en la peor de las circunstancias (es decir, más del triple de la penetración actual). Incluso si el coste social del CO<sub>2</sub> fuera de tan solo 50€/tCO<sub>2</sub>, la energía fotovoltaica sería socialmente rentable hasta al menos un 20% de penetración. Ello conlleva que las subvenciones a la fotovoltaica están económicamente justificadas en tanto en cuanto la rentabilidad privada es inferior a la rentabilidad social, como ocurre en la actualidad debido a la externalización de los costes medioambientales de las tecnologías de generación fósiles y los bajos costes tecnológicos y de integración a niveles de penetración moderados.

“... las subvenciones a la fotovoltaica están económicamente justificadas en tanto en cuanto la rentabilidad privada es inferior a la rentabilidad social...”



**Figura 2.** Rentabilidad social (SRR) de la tecnología fotovoltaica en Alemania en función de su penetración y del coste social del CO<sub>2</sub>. El eje superior muestra información sobre los niveles de penetración fotovoltaica reales hasta 2016 en Alemania, y futuros de acuerdo a diferentes escenarios. El eje derecho muestra el coste social del carbono en cada año según la evolución estimada por el grupo de trabajo gubernamental de EE.UU. (más info [aquí](#)) en el escenario de alto impacto.

Fuente: [Lopez Prol y Steininger, 2018](#).

La **Figura 2** muestra la rentabilidad social de la energía fotovoltaica en Alemania (SRR) dependiendo de la penetración de la tecnología en el mix eléctrico (eje horizontal) y del coste social del CO<sub>2</sub> (eje vertical). La rentabilidad social de la fotovoltaica disminuye a medida que aumenta su penetración por dos motivos: a mayor penetración mayores costes

## ¿Es socialmente rentable la inversión en energía fotovoltaica?

de integración y menores beneficios derivados de la mitigación de las externalidades negativas de las energías convencionales. Los colores cálidos indican una alta rentabilidad social, mientras que los colores fríos muestran rentabilidades negativas, siendo la línea negra el umbral de cero rentabilidad. Ya que el coste social de CO<sub>2</sub> es también incierto y aumenta con la concentración CO<sub>2</sub> en la atmósfera, los resultados se muestran en función de esta variable en el eje vertical izquierdo, con una indicación de en qué año se alcanzará cada nivel de acuerdo con la estimación de alto impacto del grupo intergubernamental de Estados Unidos para el estudio del coste social del carbono.

La figura 2 muestra el peor escenario en el cual no hay medidas de integración adicionales (como almacenamiento, interconexiones o ajuste de la demanda). Por ello la rentabilidad social se vuelve negativa rápidamente a partir de un 20% de penetración. Sin embargo, el avance en estas tres áreas que otorgan flexibilidad al sistema así como la continua evolución decreciente de los costes tecnológicos sugieren que estos resultados representan solo el peor escenario, y es probable que la rentabilidad social sea mayor en el futuro, incluso a altos niveles de penetración, gracias a las tendencias favorables de los costes de las tecnologías que facilitan la flexibilidad del sistema y la integración de tecnologías de generación variable como la fotovoltaica y la eólica.

### CONCLUSIÓN

Ya que tanto los costes unitarios de la fotovoltaica como los costes de integración son específicos a cada sistema eléctrico, no se pueden extrapolar directamente los resultados concretos a otros contextos, aunque sí las conclusiones generales. Por ejemplo, en España el coste unitario de la fotovoltaica es menor que en Alemania por la mayor insolación, pero los beneficios derivados de la mitigación de externalidades son también menores por las menores emisiones CO<sub>2</sub> del mix eléctrico. Dado que los costes de integración son relativamente bajos hasta el nivel de penetración en el cual el pico de generación fotovoltaica alcanza a la demanda (Ueckerdt et al. 2013), es probable que la energía fotovoltaica sea también socialmente rentable en España al menos hasta ese nivel de penetración, todavía muy por encima del actual. A partir de ese momento habrá que combinar la fotovoltaica con otras tecnologías de generación con patrones de generación complementarios como la eólica, tecnologías regulables como la hidráulica o la biomasa, y medidas de flexibilidad del sistema eléctrico como el almacenamiento, la gestión de la demanda y las interconexiones eléctricas. Todo ello sin olvidarse, por supuesto, de la eficiencia (consumir menos energía obteniendo el mismo servicio) y la conservación (prescindir de consumos superfluos) energética para lograr la descarbonización de la economía al menor coste posible.

**DR. JAVIER LÓPEZ PROL**

Schrödinger fellow en el Instituto Alemán de Investigación Económica (DIW-Berlin) y el Wegener Center for Climate and Global Change, Universidad de Graz, Austria. Miembro de ASYPS.

- 
- Ecofys (2014). Subsidies and costs of EU energy. Final report.  
[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ECOFYS%202014%20Subsidies%20and%20costs%20of%20EU%20energy\\_11\\_Nov.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ECOFYS%202014%20Subsidies%20and%20costs%20of%20EU%20energy_11_Nov.pdf)
  - Fraunhofer ISE (2020). Recent Facts about Photovoltaics in Germany.  
<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html>
  - IEA – International Energy Agency (2014). Technology Roadmap - Solar Photovoltaic Energy 2014.  
<https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014>
  - IRENA (2019). Renewable Power Generation Costs in 2018, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.  
<https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-power-generation-costs-in-2018>
  - Kavlak, Goksin; McNerney, James; Trancikab, Jessika E. (2018). Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. Energy Policy Volume 123, December 2018, Pages 700-710.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421518305196?via%3Dihub>
  - López Prol (2018). Regulation, profitability and diffusion of photovoltaic grid-connected systems: A comparative analysis of Germany and Spain. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 91, August 2018, Pages 1170-1181.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118302594>
  - López Prol and Steininger (2018). The social profitability of photovoltaics in Germany. Progress in Photovoltaics: Research and Applications. Volume 26, Issue 8 Special Issue: Key Papers from EU PVSEC 2017.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/pip.2988>
  - Roberts, David (2018). What made solar panels so cheap? Thank government policy.  
<https://www.vox.com/energy-and-environment/2018/11/20/18104206/solar-panels-cost-cheap-mit-clean-energy-policy>
  - Ueckerdt F, Hirth L, Luderer G, Edenhofer O (2013). System LCOE: what are the costs of variable renewables? Energy. 2013;63:61-75.
  - van den Bergh JCM, Botzen WJW (2014). A lower bound to the social cost of CO<sub>2</sub> emissions. Nature Climate Change, 4(4): 253-258.  
<https://www.nature.com/articles/nclimate2135?proof=true&ln%252525EF%252525BB%252525BF>