

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

Eilyn González, Ashley Jerez, Yoab López, Mario Monney, Priscila Najarro <sup>1</sup>

## RESUMEN

En esta investigación bibliográfica se evaluó la viabilidad técnica y económica de una caldera solar, donde se busca sustituir el búnker como fuente de energía térmica por radiación solar concentrada en una caldera acuotubular de 20 MWe, adaptada a las condiciones climáticas de Guatemala. El análisis se basó en una radiación solar directa de diseño de 800 W/m<sup>2</sup> y una operación equivalente a 6 horas efectivas por día. Las variables del sistema se calcularon a partir del modelo conceptual de Muñoz Antón (2008), realizando una tropicalización de los parámetros al contexto guatemalteco.

Para la generación de los resultados se utilizaron ecuaciones de balance energético y el modelo financiero del Costo Nivelado de Energía (LCOE), considerando un CAPEX de \$144 millones USD, un WACC de 10.13% y una vida útil de 30 años. Los resultados indican una potencia neta de 21,595 kW, una generación anual de 47,293 MWh/año y un LCOE de 401.75 USD/MWh, valor significativamente superior al indicado en el Mercado Mayorista correspondiente a enero de 2026, donde en Guatemala la venta de energía eléctrica es de alrededor de 67.56 USD/MWh.

Con base en el conjunto de parámetros analizados, la implementación de una caldera solar de campo de heliostatos no resulta económicamente competitiva frente a otras tecnologías de generación de energía en el mercado. No obstante, su

viabilidad podría mejorar mediante estudios de localización más detallados que optimicen la captación de energía solar, así como mediante análisis financieros que reduzcan la inversión inicial requerida por la infraestructura.

**Palabras claves:** Caldera solar, heliostatos, LCOE, generación de vapor, viabilidad económica.

## ABSTRACT

In this research, the technical and economic feasibility of a solar boiler was evaluated, aiming to replace bunker fuel as the primary source of thermal energy with concentrated solar radiation in a 20 MWe water-tube boiler adapted to the climatic conditions of Guatemala. The analysis was based on a design direct normal irradiance (DNI) of 800 W/m<sup>2</sup> and an equivalent operation of 6 effective hours per day. System variables were calculated using the conceptual model proposed by Muñoz Antón (2008), incorporating a tropicalization of parameters to fit the Guatemalan context.

To generate the results, energy balance equations and the Levelized Cost of Energy (LCOE) financial model were used, considering a CAPEX of \$144 million USD, a Weighted Average Cost of Capital (WACC) of 10.13%, and a project lifetime of 30 years. The results indicate a net power output of 21,595 kW, an annual generation of 47,293 MWh/year, and an

---

*Estudiantes de Ingeniería Química de último año con especialización en Sostenibilidad Ambiental en Universidad Galileo.*

<sup>1</sup> [eilyn.gonzalez@galileo.edu](mailto:eilyn.gonzalez@galileo.edu) , [ashley.jerez@galileo.edu](mailto:ashley.jerez@galileo.edu) , [22002235@galileo.edu](mailto:22002235@galileo.edu) , [mario.monney@galileo.edu](mailto:mario.monney@galileo.edu) , [priscila.najarro@galileo.edu](mailto:priscila.najarro@galileo.edu)

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

LCOE of 401.75 USD/MWh, a value significantly higher than that reported in the Wholesale Electricity Market for January 2026, where electricity in Guatemala is sold at approximately 67.56 USD/MWh.

Based on the set of analyzed parameters, the implementation of a heliostat field solar boiler is not economically competitive compared to other power generation technologies currently available in the market. However, its feasibility could be improved through more detailed site-selection studies to optimize solar energy capture, as well as through financial analyses aimed at reducing the initial capital investment required for infrastructure.

**Keywords:** Solar boiler, heliostats, LCOE, steam generation, economic feasibility.

## INTRODUCCIÓN

Las calderas acuotubulares representan uno de los equipos más utilizados en la generación de potencia eléctrica, debido a su capacidad de operación a altas presiones y temperaturas, lo que permite una producción eficiente de vapor para su expansión en turbinas dentro del ciclo Rankine. Tradicionalmente, la alimentación térmica en estas calderas se realiza mediante combustibles fósiles como el búnker, caracterizado por su alto poder calorífico (150,000 BTU/lb) y alta disponibilidad en el mercado internacional. Sin embargo, este combustible presenta desventajas; es un recurso no renovable, su combustión genera altas emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes como Sox y NOx. Además, como cualquier otro combustible fósil, su costo es voluble, al

estar sujeto a factores geopolíticos, como conflictos internacionales, variaciones en la oferta global de petróleo y políticas energéticas.

En este contexto y en un marco actual, es necesario dar realce a las energías renovables. El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad técnica y económica de reemplazar el búnker como fuente primaria de energía térmica por radiación solar concentrada, considerando a esta última como un combustible renovable, limpio y altamente disponible. Este enfoque no solo busca mitigar las emisiones nocivas de una caldera alimentada por búnker, sino también reducir la dependencia energética de mercados internacionales y estabilizar los costos de generación a largo plazo.

Dentro del espectro de las energías renovables, las plantas termosolares de torre central destacan por su capacidad de gestionar la radiación solar directa (DNI) mediante campos de heliostatos. Estos sistemas concentran la energía en un receptor central para generar vapor, integrando componentes clave como el bloque de potencia y sistemas de almacenamiento térmico que garantizan la estabilidad operativa frente a la intermitencia del recurso solar. En dicho receptor, el agua absorbe la energía térmica, permitiendo la generación de vapor a condiciones comparables con las de sistemas convencionales.

Guatemala posee un potencial estratégico para la implementación de estas tecnologías, con niveles de radiación solar directa que oscilan entre los 2000 y 2200 kWh/m<sup>2</sup>·año, según el Global Solar Atlas. Esta magnitud de recurso energético, junto con condiciones climatológicas favorables como baja

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

nubosidad estacional y alta disponibilidad de horas solares pico, posiciona al país como un candidato viable para la generación termosolar.

La implementación de tecnología termosolar desarrollada en otros contextos, como se muestra en la tesis de Muñoz Antón (2008) que se desarrolla en España, requiere un proceso de tropicalización. Este proceso implica la adaptación de algunos parámetros de diseño, como la configuración del área del campo solar, selección de materiales, irradiancia del entorno, variabilidad climática, entre otros. Es por eso por lo que la viabilidad de este tipo de proyectos se determina mediante un análisis económico detallado, en el cual el indicador clave es el Costo Nivelado de Energía (LCOE). El LCOE representa el costo promedio por unidad de energía generada, integrando tanto los costos iniciales de inversión (CAPEX) como los costos operativos (OPEX). Matemáticamente, el LCOE se calcula como la razón entre el valor presente de todos los costos del sistema y el valor presente de la energía total generada.

En conjunto, estos parámetros permiten construir un marco integral de evaluación que no solo considera la factibilidad técnica de sustituir el búnker por energía solar, sino también su competitividad económica frente a tecnologías convencionales, particularmente en un entorno donde los costos de combustibles fósiles son inciertos y ambientalmente insostenibles.

## METODOLOGÍA DE CÁLCULO

El presente estudio se desarrolló mediante un análisis teórico de viabilidad técnica y económica orientado a evaluar la implementación de una caldera solar de

20 MWe bajo condiciones climáticas de Guatemala. Como base de referencia se utilizaron los parámetros termodinámicos y operativos reportados en la tesis *Sistemas de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada*, a partir de los cuales se tomó como fundamento el modelo conceptual de caldera solar.

La investigación se centró en la tropicalización del equipo a las condiciones locales del recurso solar en Guatemala. Adicionalmente, se adoptó un valor de radiación solar directa de diseño de 800 W/m<sup>2</sup>, conforme el valor de referencia establecido en la tabla 4-27 de la tesis de Muñoz Antón (2008, pág., 179). Esta adaptación permitió evaluar el desempeño del sistema bajo condiciones reales del contexto guatemalteco.

Se planteó una capacidad de generación de 20 MWe considerando una operación equivalente a 6 horas efectivas por día. A partir de estas condiciones, se desarrolló un modelo energético que describe el comportamiento del sistema desde la captación hasta su conversión en energía útil.

**Tabla 1** *Parámetros de diseño y resultados de operación para la configuración de 20 MW*

Categoría	Aspecto	Valor	Unidad
<b>Campo de heliostatos</b>	Número de unidades	1,401	-
	Superficie por espejo	39.3	m <sup>2</sup>
	Reflectividad	0.92	-
<b>Condiciones de diseño</b>	Radiación Solar Directa (DNI)	800	W/m <sup>2</sup>

## Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

<b>Resultados del ciclo</b>	Rendimiento de la turbina	0.90	-
	Potencia mecánica de la turbina	22	MW <sub>m</sub>
	Temperatura de vapor (entrada)	800	K
	Presión de vapor (entrada)	99	bar
<b>Consumos auxiliares</b>	Bomba de presurización	339	kW <sub>c</sub>
	Bomba de recirculación	66	kW <sub>c</sub>

*Nota. Adaptado de Sistemas de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada (p. 215), por J. Muñoz Antón, 2008, Universidad Politécnica de Madrid.*

El modelo considera la generación de vapor sobrecalentado, a una temperatura de 527 °C y una presión de 99 bar, el cual se expande en la turbina de vapor. Durante este proceso, y considerando un rendimiento isoentrópico de 0.90, la energía térmica del vapor se transforma en trabajo mecánico en el eje de la turbina. Este trabajo es posteriormente convertido en energía eléctrica mediante un alternador, alcanzando una potencia bruta de 22MWe. (Muñoz Antón, 2008, Tabla 4-19, p182).

Una fracción de esta potencia es consumida por los equipos auxiliares del sistema. En particular, la bomba de presurización eleva el condensado desde condiciones de baja presión hasta los 99

bar del ciclo, con un consumo de 339 kW, y la bomba de recirculación que mantiene activo el circuito DSG, requiriendo 66 kW adicionales (Muñoz Antón, 2008, Tabla 4-19, p. 182). Debido a lo planteado anteriormente, es fundamental determinar la potencia neta disponible en los bornes del alternador.

Asimismo, el modelo incluye el dimensionamiento del campo de heliostatos, la estimación de la radiación solar captada, la consideración de las pérdidas ópticas del sistema y determinación de la energía térmica transferida al receptor.

Finalmente, se incorporó un análisis económico basado en el cálculo del Costo Nivelado de Energía (LCOE), el cual permite evaluar la viabilidad del sistema en términos de costo de generación. Este análisis se realizó a partir de la estimación del costo total anual del sistema, considerando tanto la inversión inicial como los costos de operación, en relación con la energía generada anualmente.

**Tabla 2** *Parámetros Financieros y de Ciclo de Vida para el Análisis de Rentabilidad LCOE*

Parámetro	Valor	Fuente de Referencia
<b>Vida útil del proyecto</b>	30 años	Elaboración propia
<b>Inversión inicial (CAPEX)</b>	144,000,000 USD	IASS (2022)
<b>Tasa de retorno (WACC)</b>	10.13%	CRIE (2025)

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

<b>Costos de O&amp;M</b>	2.5% del CAPEX	IRENA (2024)
<b>Horizonte de evaluación</b>	2025 - 2026	CRIE (2025)

$$\begin{aligned} \text{área}_{total} &= \#_{\text{heliostatos}} * \text{área}_{\text{heliostatos}} \\ \text{área}_{total} &= 1,401 * 32.3\text{m}^2 \\ \text{área}_{total} &= 55,059.3\text{m}^2 \end{aligned}$$

*Nota. Los valores representan las premisas económicas para el cálculo del costo nivelado de energía (LCOE). El CAPEX se basa en el costo histórico de la planta PS20 en Sevilla, España. O&M = Operación y Mantenimiento; WACC = Costo Promedio Ponderado de Capital.*

Este enfoque metodológico permite integrar el análisis energético y económico del sistema, proporcionando una base para evaluar la factibilidad de la implementación de las calderas solares en el contexto energético de Guatemala.

## RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1. Área total necesaria para proyecto en función del modelo 20 MWe

$$\text{área}_{total} = \#_{\text{heliostatos}} * \text{área}_{\text{heliostatos}}$$

#### Ecuación #1 "Área Total"

**Donde:**

- **área<sub>total</sub>**: Área total necesaria para colocar todos los heliostatos.
- **#<sub>heliostatos</sub>**: Número total de heliostatos a colocar.
- **área<sub>heliostatos</sub>**: Área que ocupa cada heliostato.

Por lo que, al necesitar 1,401 heliostatos, y tomando en cuenta que cada uno ocupa un área de 39.2 m<sup>2</sup>, empleando la ecuación #1 se obtiene lo siguiente:

### 2. Radiación Solar Captada por los Heliostatos:

$$Q_{\text{solar bruta}} = \text{DNI} * \text{área}_{total}$$

#### Ecuación #2 "Radiación Solar Bruta Absorbida por los Heliostatos"

**Donde:**

- **Q<sub>solar bruta</sub>**: Radiación bruta transferida por los heliostatos a la parrilla receptora.
- **DNI**: Radiación solar directa de referencia.
- **área<sub>total</sub>**: Área total de los heliostatos.

Al aplicar la ecuación #2 obtenemos:

$$\begin{aligned} Q_{\text{solar bruta}} &= \text{DNI} * \text{área}_{total} \\ Q_{\text{solar bruta}} &= (800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2})(55,059.3 \text{ m}^2) \\ Q_{\text{solar bruta}} &= 44,047,400 \text{ W} \end{aligned}$$

### 3. Radiación que los Heliostatos transfieren a la Parrilla/Receptor.

Debido a las pérdidas ópticas inherentes al campo de heliostatos, incluyendo efectos de ángulo de incidencia, sombreado, bloqueo y desviaciones en la reflectividad, únicamente una fracción de la radiación reflejada alcanza efectivamente la superficie de la parrilla receptora. En consecuencia, se introduce un factor de corrección que integra

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

estas pérdidas y representa la eficiencia óptica global del sistema.

$$Q_{reflejada} = reflectividad * Q_{solar\ bruta}$$

### Ecuación #3 "Radiación Reflejada Real"

Donde:

- **$Q_{reflejada}$ :** Radiación transferida por los heliostatos a la parrilla receptora tomando en cuenta el factor de corrección.
- **$reflectividad$ :** Factor de corrección de reflectividad de los heliostatos.
- **$Q_{solar\ bruta}$ :** Radiación bruta transferida por los heliostatos a la parrilla receptora.

$$Q_{reflejada} = reflectividad * Q_{solar\ bruta}$$

$$Q_{reflejada} = 0.92 * 44,047,400\ W$$

$$Q_{reflejada} = 40,523,644\ W$$

## 4. Conversión a Potencia Eléctrica.

$$P_{neta} = P_{tubrina} - P_{bomba1} - P_{bomba2}$$

### Ecuación #4 "Potencia neta en alternador"

Donde:

**$P_{neta}$ :** Potencia neta producida en los bornes del alternador.

**$P_{tubrina}$ :** Potencia generada por la turbina.

**$P_{bomba1}$ :** Potencia requerida por la bomba 1.

**$P_{bomba2}$ :** Potencia requerida por la bomba 2.

Al aplicar la ecuación #5 obtenemos:

$$P_{neta} = P_{tubrina} - P_{bomba1} - P_{bomba2}$$

$$P_{neta} = 22,000\ kW - 339\ kW - 66\ kW$$

$$P_{neta} = 21,595\ kW$$

## 5. Energía Producida al Año.

$$E_{anual} = P_{nominal} * h_{año}$$

### Ecuación #5 "Energía producida en un año"

Donde:

- **$E_{anual}$ :** Energía producida en un año.
- **$P_{nominal}$ :** Potencia nominal caldera solar.
- **$h_{año}$ :** Cantidad de horas de luz solar aprovechable que tiene un año.

Para el cálculo se estiman 6 horas de luz solar aprovechables.

$$E_{anual} = P_{nominal} * h_{año}$$

$$E_{anual} = 21.595\ MW * 2,190 \frac{hora}{año}$$

$$E_{anual} = 47,293 \frac{MWh}{año}$$

## 6. LCOE y Análisis de Rentabilidad

$$LCOE = \frac{C_{anual}}{E_{anual}}$$

### Ecuación #6 "LCOE"

Donde:

- **$LCOE$ :** Costo promedio de producir energía a lo largo de toda la vida útil de una planta.

## Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

- $C_{anual}$ : Costo total anual.
- $E_{anual}$ : Energía producida en un año.

$$C_{capital\ anual} = \$15.44\ M/año$$

$$C_{OM} = CAPEX * 0.025$$

Para determinar el Costo total anual se usarán la ecuación #7, la ecuación #8 y la ecuación #9.

$$CRF = \frac{(WACC)(1 + WACC)^n}{(1 + WACC)^n - 1}$$

### Ecuación #7 "Factor De Recuperación Anual"

**Donde:**

- $CRF$ : Factor de recuperación anual.
- $WACC$ : Tasa mínima de retorno.
- $n$ : Número de años.

$$CRF = \frac{(WACC)(1 + WACC)^n}{(1 + WACC)^n - 1}$$

$$CRF = \frac{(0.1013)(1 + 0.1013)^{30}}{(1 + 0.1013)^{30} - 1}$$

$$CRF = 0.107$$

$$C_{capital\ anual} = CAPEX * CRF$$

### Ecuación #8 "Costo del capital anual"

**Donde:**

- $C_{capital\ anual}$ : Costo anual de inversión.
- $CAPEX$ : Inversión inicial del proyecto.
- $CRF$ : Factor de recuperación anual.

$$C_{capital\ anual} = CAPEX * CRF$$

$$C_{capital\ anual} = \$144\ M * 0.107$$

### Ecuación #9 "Costo Anual De Operación"

**Donde:**

- $C_{OM}$ : Costo anual de operación
- $CAPEX$ : Inversión inicial del proyecto.

$$C_{OM} = CAPEX * 0.025$$

$$C_{OM} = \$15.44\ M/año * 0.025$$

$$C_{OM} = \$3.6\ M/año$$

$$C_{anual} = C_{capital\ anual} + C_{OM}$$

### Ecuación #10 "Costo Total Anual"

**Donde:**

- $C_{anual}$ : Costo total anual de inversión.
- $C_{capital\ anual}$ : Costo anual de inversión.
- $C_{OM}$ : Costo anual de operación.

$$C_{anual} = C_{capital\ anual} + C_{OM}$$

$$C_{anual} = \$15.44\ M/año + \$3.6\ M/año$$

$$C_{total\ anual} = \$19\ M/año$$

Ahora se usará la ecuación #6 para determinar el LCOE del proyecto.

$$LCOE = \frac{C_{anual}}{E_{anual}}$$

$$LCOE = \frac{\$19\ M/año}{47,293\ MWh/año}$$

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

$$LCOE = 401.75 \frac{USD}{MWh}$$

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Mediante un análisis de los resultados obtenidos por la evaluación del comportamiento energético y económico de una caldera solar de 20 MWe bajo condiciones climáticas de Guatemala, se tiene que la estimación del área total requerida para el campo de heliostatos muestra una alta demanda de superficie, debido a la necesidad de instalar 1,401 heliostatos con un área individual de 39.2 m<sup>2</sup>, requiriendo un total de 55,059.3 m<sup>2</sup>. Este resultado demuestra una desventaja al intentar implementar este tipo de sistema, debido a la limitada disponibilidad de áreas adecuadas para la captación eficiente de radiación solar que ofrece Guatemala.

También el cálculo de la radiación solar evidencia pérdidas, al pasar de una radiación bruta de 44,047,400 W a 40,523,644 W, reflejando que no toda la energía incidente es aprovechada y captada efectivamente. Estas pérdidas se traducen en una reducción de la cantidad de energía térmica disponible para la generación de vapor, afectando el rendimiento del sistema.

Por otra parte, la energía producida anualmente se encuentra limitada por la disponibilidad de la radiación solar, considerando únicamente 6 horas efectivas de operación diaria, cabe resaltar que es un promedio de horas efectivas pudiendo variar en base a la ubicación geográfica de la planta. Por lo que esta condición restringe la generación de energía de la planta, disminuyendo la

producción energética total a lo largo del año.

Por último, al evaluar el costo promedio de producción de energía, el cual se estimó en 401.75 USD/MWh, se evidencia una diferencia elevada en comparación con los precios observados en el mercado de energía nacional. Según el análisis del Mercado Mayorista correspondiente a enero de 2026, en Guatemala la venta de energía eléctrica es de alrededor de 67.56 USD/MWh.

Por lo tanto, la implementación de una caldera de vapor energizada por radiación solar concentrada no es viable económicamente frente a la competencia de otras tecnologías de generación de energía. Si bien el país cuenta con un potencial solar en áreas como Jutiapa o Santa Rosa, la viabilidad de este tipo de sistema dependerá de estudios más detallados de la localización en donde se encuentre la planta y de esquemas financieros teniendo en cuenta la elevada inversión inicial asociada a la infraestructura, la cual está sujeta al incremento financiero luego de 18 años, ya que el estudio se basó al costo de 2,008.

## CONCLUSIONES

1. El dimensionamiento del campo de heliostatos requiere un área total aproximada de 55,059 m<sup>2</sup> para albergar 1,401 unidades, lo que representa una limitación significativa para su implementación en Guatemala debido a la disponibilidad restringida de terrenos con alto potencial de radiación solar directa y condiciones topográficas adecuadas.

# Viabilidad técnica y económica de Proyecto Generación de Potencia Eléctrica en Base a una Solar Caldera Solar de Generación Directa de Vapor de 20 MWe en Guatemala

Fecha de recepción: 19 marzo 2026

Fecha de corrección: 19 marzo 2026

2. El costo nivelado de energía (LCOE) calculado es de 401.75 USD/MWh, significativamente superior al precio promedio de la electricidad en el mercado mayorista guatemalteco. Esta diferencia hace que el proyecto no sea competitivo desde el punto de vista financiero, a pesar del potencial solar en regiones como Jutiapa o Santa Rosa, a menos que se implementen esquemas de financiamiento favorables y se optimice la localización del sistema.
3. El análisis integral del sistema evidencia que, aunque técnicamente viable, la implementación de calderas solares en Guatemala enfrenta limitaciones; principalmente económicas. Esto resalta la necesidad de optimizar el diseño y evaluar condiciones específicas de ubicación para mejorar su competitividad.

Muñoz Antón, J. (2008). *Sistemas de generación eléctrica mediante calderas de vapor energizadas por radiación solar concentrada* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de: [https://oa.upm.es/1654/1/JAVIER\\_MUNOZ\\_ANTON.pdf](https://oa.upm.es/1654/1/JAVIER_MUNOZ_ANTON.pdf)

## Bibliografía

SolarPACES. (2022, octubre 21). *Planta Solar 20 - PS20 CSP project*.

Recuperado de:

<https://solarpaces.nlr.gov/project/planta-solar-20-ps20>

Administrador del Mercado Mayorista (AMM). (2026). *Análisis del mercado mayorista – enero 2026*.

Recuperado de:

<https://rd.amm.org.gt/2026/03/03/analisis-del-mm-enero-2026/>