



# Evaluación del potencial de generación termoeléctrica por concentración solar en Uruguay

Agustín Ghazarian <sup>a</sup>, Pedro Galione <sup>b</sup>, Daiana De León <sup>c</sup>, Pedro Curto <sup>d</sup>

<sup>a</sup> *Facultad de Ingeniería, Uruguay, aghazarian@fing.edu.uy.*

<sup>b</sup> *Facultad de Ingeniería, Uruguay, pgalione@fing.edu.uy.*

<sup>c</sup> *Facultad de Ingeniería, Uruguay, ddeleon@fing.edu.uy.*

<sup>d</sup> *Facultad de Ingeniería, Uruguay, pcurto@fing.edu.uy.*

**RESUMEN:** Este trabajo se centra en el estudio de la viabilidad de incorporar tecnologías de concentración solar en Uruguay. Como sabemos la matriz de generación eléctrica de este país ha sufrido grandes cambios en la última década logrando que en la actualidad casi su totalidad este representada por fuentes renovables. De cualquier forma siguen existiendo picos de demanda donde se debe recurrir a energía de origen térmico. La incorporación de este tipo de centrales permitiría no solo sustituir en mayor medida las fuentes no renovables sino que también mejorar la adaptación entre oferta y demanda debido al almacenamiento térmico. Se realizaron distintos procesos de optimización considerando tamaños distintos de campo solar y almacenamiento térmico para centrales del tipo Torre Central y Cilindro parabólico de 100 Mwe y 50 Mwe respectivamente. Para la realización de dicha optimización es necesario conocer el recurso solar disponible, en Uruguay existen años meteorológicos típicos para un total de 5 Departamentos (Salto, Montevideo, Colonia, Rivera y Rocha) los cuales son realizados por el Laboratorio de Energía Solar. Para las configuraciones seleccionadas en Salto se presenta resultados tanto energéticos (Energía Solar Bruta, Energía Solar Óptica, Eficiencia total y Energía neta generada) como económicos.

**PALABRAS CLAVE:** Concentración Solar, Energía Renovable.

## 1 INTRODUCCIÓN

Uruguay viene experimentando un fuerte cambio en la matriz energética desde 2007 a la fecha. Sin embargo, dicho cambio ha sido predominantemente enfocado a el aumento en la explotación del recurso eólico y de biomasa ascendiendo a una participación del 33% y 9% de la potencia instalada respectivamente. En tercer medida y con un 5% aparece la energía solar (principalmente fotovoltaica). Entendiendo que la complementariedad entre distintas fuentes es importante para disminuir la dependencia hacia ciertas tecnologías y así poder garantizar mayor estabilidad en el suministro de energía renovable se decidió investigar la factibilidad de instalar centrales de concentración (CSP). Existe un antecedente de análisis de esta tecnología en el país realizado por la compañía SOLIDA Energías Renovables [SOL,2015] en el marco de una consultoría contratada por el Ministerio de Industria, Energía y Minería de Uruguay (MIEM), en colaboración con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

## 2 COSTO DE ENERGÍA EN URUGUAY (2019)

Según [ADME,2019], en la actualidad el costo más elevado de generación de energía es el asociado a la quema de Gas Oil, situándose entre 214 USD/MWh y 253 USD/MWh para abril del corriente año. Por otra parte para las centrales vinculadas a la quema de Biomasa y Gas natural suelen obtenerse valores inferiores a los 110 USD/MWh mientras que a la energía hidráulica y eólica se le asocia un valor nulo. De cualquier forma en el correr del presente año solo se necesitó la quema de algún combustible distinto a la biomasa para generar el 2.7% de la energía total. Otra buena referencia para saber el costo de la energía en Uruguay es el precio SPOT. En el corriente año el mismo es nulo en casi todo momento aunque en el mes de Enero llega a alcanzar picos de hasta 157.1 (USD/MWh).

## 3 RECURSO SOLAR

El Laboratorio de Energía Solar (LES) generó años meteorológicos típicos a partir de medidas satelitales para 5 distintas localidades. Realizando un primer análisis se concluye que la zona más apropiada para este tipo de emprendimientos es Salto debido a que la Radiación Normal Directa (DNI por sus siglas en inglés) asciende hasta 1897.5 (KWh/año) comparable con el sur de España donde tecnologías de concentración han sido implementadas.

## 4 TECNOLOGÍA

El fundamento de la energía solar de concentración es la utilización de superficies reflectivas para concentrar los rayos solares sobre un foco lineal (tecnologías Cilindroparabólica (CP) y Fresnel) o puntual (tecnologías de Torre Central (TC) y de Disco Stirling). En estos receptores se calienta un fluido térmico (HTF) que posteriormente intercambia calor con un circuito de agua para generar vapor, el cual puede ser utilizado como fluido de trabajo de un ciclo para generar energía eléctrica a partir de su expansión en una turbina. En este trabajo nos enfocamos en las tecnologías TC y CP.

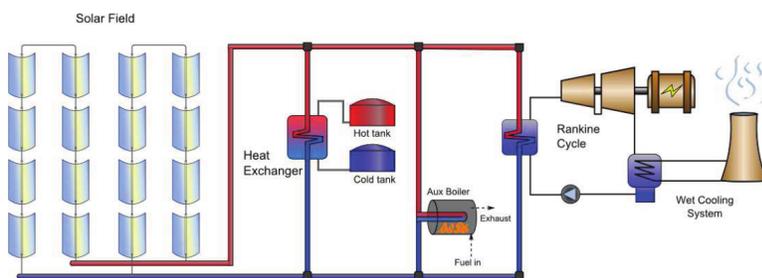


Figura 1: Diagrama simplificado de planta cilindroparabólico. Fuente: Wag,2011.

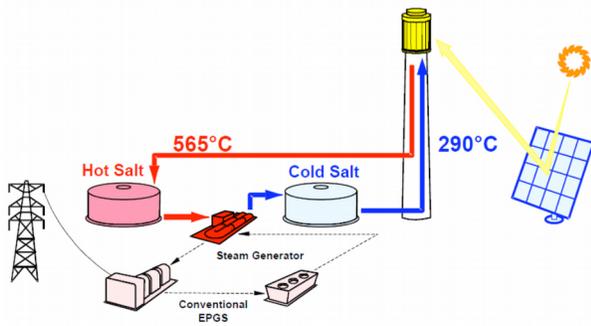


Figura 2: Diagrama simplificado de planta Torre central. Fuente: Wag,2008.

## 5 RESULTADOS

Para este tipo de emprendimientos suele utilizarse un parámetro denominado LCOE (Levelized Cost of Energy). Este consiste en una forma de evaluar en dinero actual todos los costos en los que el proyecto recaerá en el transcurso de su vida útil. Un concepto importante para lograr esto es la tasa de descuento ( $i$ ), es un coste que se aplica para determinar el valor actual de un pago o coste futuro.

También se debe definir el período de estudio, se opta por considerar 20 años al igual que para el período de amortización para las obras físicas, ciclos de potencia, campo solar, HTF e isla de potencia. Por su parte, la inversión se considera efectuada en el año 0, año en el que se realiza la construcción de la planta y no se perciben ganancias ni consideran costos de operación. Debido a larga vida útil de la tecnología no se consideran reinversiones en el periodo de estudio.

Por otra parte a este tipo de emprendimientos en Uruguay se le aplica el IRAE (Impuesto a la Renta de las Actividades Económicas) que representa un 25% de la utilidad neta antes de impuestos. De cualquier forma por tratarse de una fuente de energía renovable y altamente tecnificada se goza de una exoneración que asciende hasta el 80% de dicho importe durante todo el período de estudio. El efecto de este beneficio se presenta la sección 5.3.

### 5.1 Optimización Campo Solar y almacenamiento

Una vez determinado la potencia a instalar en la planta (100 MWe en TC y 50 MWe para CP) falta determinar el tamaño del campo solar y almacenamiento. Para llegar a una combinación óptima se realizan distintas simulaciones variando ambos parámetros y se selecciona aquella que resulte en el menor LCOE. El valor obtenido resulta de un equilibrio entre el aumento de inversión inicial (por mayores campos solares y horas de almacenamiento) y la mayor energía generada en consecuencia. En la Fig. 3 se observa el resultado de la optimización para el departamento de Salto considerando la tecnología TC.

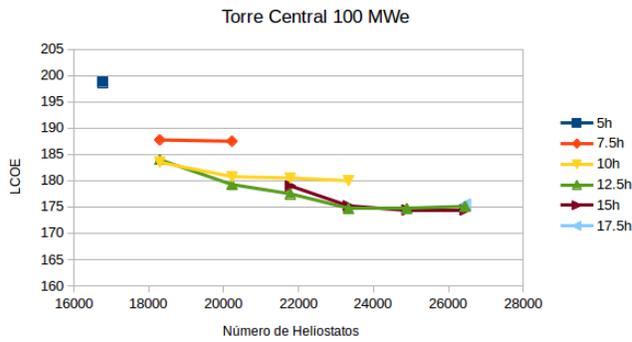


Figura 3: Optimización Campo solar y horas de almacenamiento para la tecnología TC en Salto.  
Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar a partir de cierto punto variaciones tanto de número de heliostatos como de horas almacenamiento no generan casi ningún efecto. Dentro de este rango se utilizó como criterio de diseño minimizar la inversión inicial. Para la tecnología cilindroparabólica se realiza un procedimiento análogo (ver Fig.4). Las configuraciones seleccionadas son 23335 heliostatos y 254 lazos con 12.5 horas de almacenamiento para centrales TC y CP ubicadas en Salto.

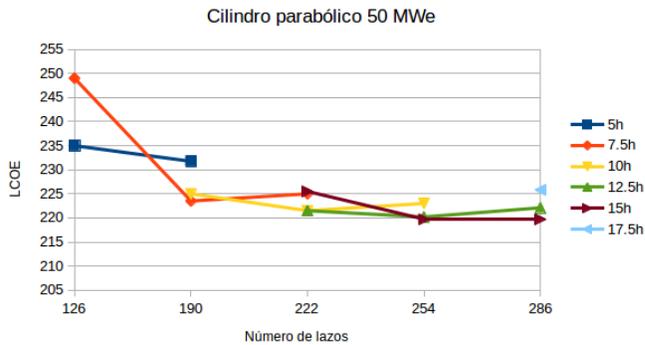


Figura 4: Optimización Campo solar y horas de almacenamiento para la tecnología CP en Salto.  
Fuente: Elaboración Propia.

## 5.2 Resultados Físicos

Entre los resultados de interés se destacan la energía neta producida anual (una vez descontados los consumos parásitos), energía solar (total de energía solar incidente en el campo), energía vertida (asociado al desenfoque de superficie reflectora debido a que el almacenamiento térmico alcanza su máximo) y la energía óptica (la energía que efectivamente alcanza al receptor).

En la Tabla 1 se presentan estos resultados para las configuraciones óptimas en Salto considerando ambas tecnologías.



Tabla 1. Resultados físicos para caso óptimo en Salto

	Torre Central	Cilindro Parabólico
Energía solar (GWh)	2926.8	1668.6
Energía óptica (GWh)	1358.9	1033.8
Energía neta (GWhe)	442.5	229.0
Energía vertida (GWht)	117.4	93.6
Rendimiento óptico	46.4%	62.0%
Eficiencia global	15.1%	13.7%

Se observa que si bien el rendimiento óptico de la tecnología CP es superior al de TC esta última es la que resulta en una eficiencia global mayor. Este fenómeno se puede explicar por la mayor temperatura de operación que alcanza el fluido térmico en este último caso logrando rendimientos de conversión mayores [Fun,2012].

### 5.3 Resultados económicos.

Como se mencionó la inicio de esta sección el parámetro seleccionado para el estudio de la viabilidad de este tipo de emprendimiento es el LCOE. El mismo depende fuertemente tanto de la inversión inicial como de la energía producida anual. El primer concepto es difícil de estimar dado que está condicionado por las condiciones de radiación (cuanto más recurso solar disponible menor es el costo asociado a una planta de una potencia bruta determinada) y de la región en la que se efectúe el estudio. En el presenta trabajo se consideran dos escenarios, el primero utiliza costos mencionados en [Kur,2015] mientras que el segundo toma valores representativos de China donde está tecnología tiene un costo sensiblemente menor. La importancia en estudiar este segundo escenario radica en la posibilidad que la tendencia mundial consista en acompañar estos nuevos precios.

En la Tabla 2 se presenta los distintos casos estudiados así como los resultados obtenidos y la variación respecto al caso base.

Tabla 2. Resultados económicos para caso óptimo en Salto

	Torre Central	Cilindro Parabólico
C.I. SAM (MUSD/MW)	6.0	7.9
LCOE(USD/MWh)	174.7	220
C.I. China (MUSD/MW)	5.0	6.0
LCOE(USD/MWh)	148.4	168.8
Variación C.I. (%)	16.7	24.0
Variación LCOE (%)	15.0	23.3

Se observa que en caso que los costos siguieran la nueva tendencia esta tecnología se volvería mas competitiva. También queda de manifiesto la proporcionalidad existente entre la inversión inicial y el valor de LCOE obtenido.

Por último se recalcula este valor sin beneficios fiscales para cuantificar la relevancia de los mismos. Se observa que este efecto genera un cambio importante en el valor del LCOE incrementandolo en un 13,5% para ambas tecnologías lo que significa un resultado final de 192,8 (USD/MWh) y 250 (USD/MWh) para TC y CP respectivamente .

## 6 CONCLUSIONES

En este trabajo se analizó la viabilidad para tecnologías de Torre Central 100 Mwe y Cilindro parabólico 50 MWe. Se realizó una optimización de forma de obtener las configuraciones que resulten mas redituables. Tras dicho proceso se optó por 23335 heliostatos y 254 lazos para Torre Central y Cilindro parabólico respectivamente, ambas con 12.5 horas de almacenamiento.

Para el análisis económico se consideró dos escenarios ya que los precios para la tecnología presentaban una gran variación, sobre todo en los emprendimientos chinos comparados con el resto del mundo. Se observó que los costos iniciales variaban de 6.0 (USD/MWh) a 5.0 (USD/MWh) y 7.9 (MUSD/MWh) a 6.0 (USD/MWh) para la tecnología de Torre central y Cilindro Parabólico respectivamente.

Los resultados obtenidos son de 174.7 (USD/MWh) y 220 (USD/MWh) para TC y CP aunque estos descienden hasta 148.4 (USD/MWh) y 168.8(USD/MWh) considerando la realidad China como nueva tendencia de precios. De cualquier forma dado el avance de las otras tecnologías renovables se observa que sería necesario un escenario aún mas favorable para lograr competir en precio por unidad de energía generada.

Por último se considera que las políticas existentes en Uruguay favorecen considerablemente las inversiones en este tipo de emprendimientos ya que sin los beneficios fiscales el LCOE aumenta aproximadamente un 13.5% para ambas tecnologías.

## 7 REFERENCIAS

[SOL,2015] Sólida (2015). Análisis de pre-factibilidad para el desarrollo de la energía Termosolar en Uruguay. Versión de 18 de julio de 2014. Recuperado de <http://www.energiasolar.gub.uy/index.php/investigacion-e-innovacion/investigacion-concentradores>.

[ADME,2019] Administración del Mercado Eléctrico del Uruguay (ADME) (último ingreso 04/2019). . Recuperado de <http://adme.com.uy/>.

[Wag,2011] M. J. Wagner and P. Gilman, "Technical Manual for the SAM Physical Trough Model", National Renewable Energy Laboratory, EEUU, 2011.

[Wag,2008] M. J. Wagner, "Simulation and Predictive Performance Modeling of Utility-Scale Central Receiver System Power Plants", National Renewable Energy Laboratory, EEUU, 2008.

[Fun,2012] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2012). Guía técnica de la energía Solar Termoeléctrica. Versión 2012. Recuperado de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-tecnica-de-la-energia-solar-termoelectrica-fenercom-2012.pdf>.

[Kur,2015] Kurup P., Turchi C.S. (2015). Parabolic Trough Collector Cost Update for the System Advisor Model (SAM). Versión de Noviembre de 2015. Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65228.pdf>.

## 8 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la ANII, por su financiación del proyecto en el marco del Fondo Sectorial de Energía (FSE\_1\_2015\_1\_110011).