

# PROYECTO SCARABEUS, REDUCCIÓN DEL LCOE DE PLANTAS TERMOSOLARES A TRAVÉS DE LA TECNOLOGÍA sCO<sub>2</sub>

LAS PLANTAS TERMOSOLARES DESEMPEÑARÁN UN PAPEL IMPORTANTE EN EL *mix* DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO DEL SIGLO XXI. DESAFORTUNADAMENTE, EL LCOE DE LA TERMOSOLAR (ACTUALMENTE ALREDEDOR DE 150 €/MWH) NO HA ALCANZADO EL NIVEL OBJETIVO (100 €/MWH), EXCEPTO EN POCAS INSTALACIONES EN UBICACIONES EXCEPCIONALMENTE BUENAS. MUCHOS DE LOS PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN ACTUALMENTE EN CURSO, QUE PERSIGUEN MEJORAR LA EFICIENCIA DEL BLOQUE DE POTENCIA Y REDUCIR LOS COSTES ASOCIADOS, SE BASAN EN LA TECNOLOGÍA DE CO<sub>2</sub> SUPERCRÍTICO (TECNOLOGÍA sCO<sub>2</sub>). ENTRE ELLOS, EL PROYECTO SCARABEUS TIENE COMO OBJETIVO DEMOSTRAR QUE LA APLICACIÓN DE MEZCLAS DE sCO<sub>2</sub> EN PLANTAS TERMOSOLARES TIENE EL POTENCIAL DE REDUCIR EN UN 30% EL CAPEX Y EN UN 35% EL OPEX CON RESPECTO A LOS CICLOS DE VAPOR DE ÚLTIMA GENERACIÓN, SUPERANDO ASÍ LA REDUCCIÓN ALCANZABLE CON LA TECNOLOGÍA sCO<sub>2</sub> ESTÁNDAR.

Casi todas las plantas termosolares en operación en todo el mundo adoptan un ciclo de vapor convencional para la conversión de energía térmica en electricidad, con solo algunas excepciones que se basan en la tecnología del ciclo orgánico de Rankine (ORC); sin embargo, estas excepciones tienen una participación menor en la potencia total instalada, ya que tienen salidas típicas del orden de un megavatio.

Más recientemente, se ha identificado la tecnología sCO<sub>2</sub> como un gran avance potencial en las aplicaciones termosolares, que permite un salto hacia menores costes de la electricidad termosolar. La implementación de este concepto aumentaría el rendimiento de las plantas termosolares pero, al mismo tiempo, plantea desafíos técnicos importantes, el más relevante es lograr la temperatura muy baja requerida al comienzo de la fase de compresión (para llevar el fluido de trabajo a estado líquido o similar a líquido).

Las temperaturas ambiente relativamente altas, típicas en regiones caracterizadas por una alta irradiación solar, siguen siendo el talón de Aquiles de los ciclos de sCO<sub>2</sub>, ya que la eficiencia de estos sistemas cae drásticamente en entornos cálidos, donde la temperatura ambiente es cercana o superior a la temperatura crítica del CO<sub>2</sub> (31 °C), por tanto, no permite adoptar ciclos de condensación (Rankine) con eficiencias esperablemente más altas. Este problema surge como un obstáculo crítico intrínseco para la futura comercialización de plantas termosolares, que puede ser difícil de superar mediante la tecnología actualmente en uso o con la tecnología sCO<sub>2</sub> estándar.

Para superar este obstáculo, algunos grupos de investigación propusieron la adición de pequeñas cantidades de compuestos seleccionados al fluido de trabajo estándar (CO<sub>2</sub> puro), produciendo el llamado CO<sub>2</sub> mezclado, con el objetivo de elevar la temperatura crítica correspondiente y permitir la condensación a temperaturas de 50 °C a 60 °C. La investigación de las mezclas de CO<sub>2</sub> se ha llevado a cabo principalmente para aplicaciones geotérmicas y de biomasa hasta la fecha, con temperaturas máximas de alrededor de 350-400 °C. Para estos casos, los resultados mostraron el potencial de las mezclas de CO<sub>2</sub> para aumentar la eficiencia de conversión en un 30%.



## SCARABEUS: REDUCING THE LCOE OF CSP PLANTS THROUGH sCO<sub>2</sub> TECHNOLOGY

CSP PLANTS ARE SET TO PLAY AN IMPORTANT ROLE IN THE ENERGY SUPPLY MIX IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY. UNFORTUNATELY, THE LCOE OF CSP (CURRENTLY ABOUT 150 €/MWH) HAS NOT ACHIEVED THE LEVEL TARGETED (100 €/MWH), EXCEPT FOR FEW INSTALLATIONS IN EXCEPTIONALLY GOOD LOCATIONS. AS OF TODAY, MANY ONGOING RESEARCH PROJECTS AIMING AT ENHANCING THE EFFICIENCY OF THE POWER BLOCK AND REDUCING THE ASSOCIATED COSTS ARE BASED ON SUPERCRITICAL CO<sub>2</sub> TECHNOLOGY. AMONG THEM, THE SCARABEUS PROJECT AIMS TO DEMONSTRATE THAT THE APPLICATION OF SUPERCRITICAL CO<sub>2</sub> (sCO<sub>2</sub>) BLENDS TO CSP PLANTS HAS THE POTENTIAL TO REDUCE CAPEX BY 30% AND OPEX BY 35% COMPARED TO STATE-OF-THE-ART STEAM CYCLES, THUS EXCEEDING THE REDUCTION ACHIEVABLE WITH STANDARD sCO<sub>2</sub> TECHNOLOGY.

Almost all CSP plants in operation worldwide adopt a conventional steam cycle to convert thermal power into electricity. A few exceptions are based on Organic Rankine Cycle (ORC) technology however these exceptions have a minor share of the total installed capacity, given that their typical output is in the order of 1 MW.

More recently, sCO<sub>2</sub> technology has been identified as a potential major breakthrough in CSP applications, enabling a leap towards lower costs of solar thermal electricity. The implementation of this concept would boost the performance of CSP plants but, at the same time, it poses significant technical challenges, the most relevant of which is achieving the very low temperature required at the start of the compression phase (to take the working fluid to liquid or liquid-like state).

Relatively high ambient temperatures, typical in regions characterised by high solar irradiation, remain the Achilles heel of sCO<sub>2</sub> cycles. The efficiency of these systems drops dramatically in warm environments, where the ambient temperature is close to or higher than the critical temperature of CO<sub>2</sub> (31°C), preventing condensation from forming in ORCs with expectedly higher efficiencies. This issue becomes an intrinsic critical hurdle for the future commercialisation of CSP plants, which may be difficult to overcome with the technology currently in use or with standard sCO<sub>2</sub> technology.

To overcome this problem, some research groups have proposed the addition of small quantities of selected compounds to the standard working fluid (pure CO<sub>2</sub>), resulting in the so-called blended CO<sub>2</sub>, which aims to raise the corresponding critical temperature and enable condensation at temperatures of 50°C to 60°C. To date, research into CO<sub>2</sub> blends has mostly

been carried out for geothermal and biomass applications, with maximum temperatures of around 350-400°C. For these cases, results showed the potential of CO<sub>2</sub> blends to increase the conversion efficiency by 30%.

The SCARABEUS project proposes a modified working fluid whereby CO<sub>2</sub> is blended with certain additives to enable condensation at temperatures as high as 60°C, while still withstanding the required peak cycle temperatures. This represents a major breakthrough in CSP technologies,

El proyecto SCARABEUS propone un fluido de trabajo modificado, mediante el cual el CO<sub>2</sub> se mezcla con ciertos aditivos para permitir la condensación a temperaturas tan altas como 60 °C mientras que, al mismo tiempo, sigue soportando las temperaturas máximas requeridas del ciclo.

Esto presenta un gran avance para la tecnología termosolar, ya que aumenta la eficiencia de conversión termomecánica del 42% actual a por encima del 50%, lo que produce grandes reducciones del LCOE. Esto se traduce en un LCOE inferior a 96 €/MWh, que es un 30% más bajo de lo que es posible actualmente. El proyecto demostrará innovadores intercambiadores de calor y fluidos recientemente desarrollados a una escala relevante (300 kWth) durante 300 h en un entorno operativo similar a una planta termosolar.

Hay dos áreas principales de investigación en este proyecto: la primera es la identificación del aditivo óptimo que reduciría el tamaño y aumentaría la eficiencia del bloque de potencia. El segundo es el desarrollo de diseños de intercambiadores de calor a medida, particularmente para el condensador enfriado por aire, para operar con el fluido innovador, ya que estos son componentes clave para la tecnología propuesta. Ambas acciones conducirán a una reducción significativa del CAPEX y del OPEX respecto a tecnologías termosolares convencionales.

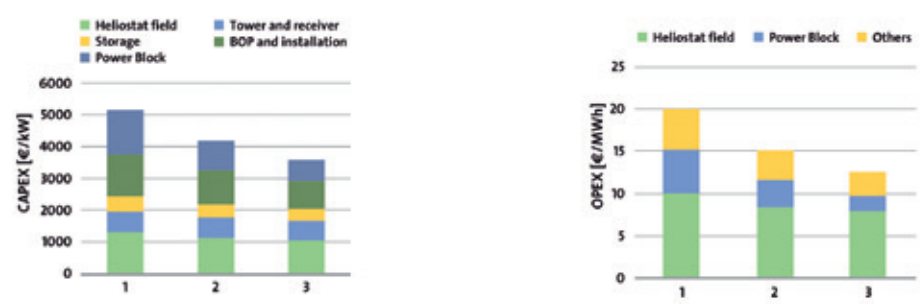
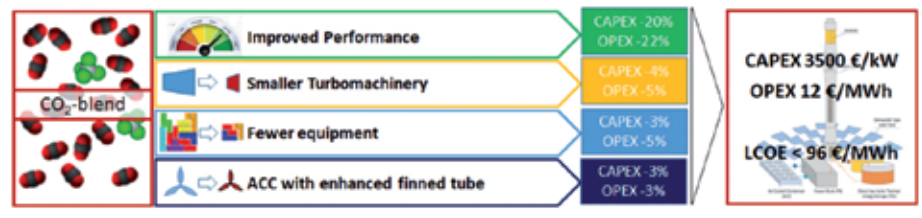
### Las ventajas

Una vez que se selecciona la combinación de CO<sub>2</sub> más apropiada, la temperatura pseudo-supercrítica del fluido de trabajo resultante se puede aumentar notablemente (por encima de 60 °C), lo que brinda las siguientes ventajas clave sobre el vapor o los ciclos estándar de sCO<sub>2</sub> en plantas termosolares de colectores cilindro-parabólicos y de torre:

- Hace posible usar ciclos de condensación (Rankine) de sCO<sub>2</sub> en ubicaciones termosolares típicas, lo que aumenta la eficiencia neta de conversión del calor en electricidad por encima del 50%.
- La complejidad del bloque de potencia se reduce en gran medida, ya que solo se necesita un recuperador y un intercambiador de calor primario en lugar de más de diez intercambiadores de calor (seis precalentadores de agua de alimentación, un economizador, un evaporador, un supercalentador y un recalentador) típicamente adoptado en un ciclo de vapor.
- El tamaño de la turbina se reduce significativamente en comparación con las turbinas de vapor de potencia similar, lo que produce una gran reducción de costes de capital.

### Características económicas

El gran potencial de reducción del CAPEX y OPEX que persigue SCARABEUS ha sido demostrado por una evaluación económica preliminar del impacto de la adopción de mezclas de CO<sub>2</sub> en los costes específicos del bloque de potencia y de la planta en general. La figura adjunta muestra una comparación económica entre las tecnologías de vapor, CO<sub>2</sub> puro y CO<sub>2</sub> mezclado para una planta de energía de referencia con una producción de 100 MWel, obtenida por metodologías bien referenciadas disponibles en la literatura.



as it increases the thermomechanical conversion efficiency from the current 42% to above 50%, resulting in large reductions in LCOE. This translates into a LCOE lower than 96 €/MWh, which is 30% lower than currently possible. The project will demonstrate the innovative fluid and newly developed heat exchangers at a relevant scale (300 kWth) over 300 hours in a CSP-type operating environment.

The project has two main areas of research. The first is to identify the optimal additive that would reduce the size and increase the efficiency of the power block. The second is to develop customised heat exchanger designs, particularly for the air-cooled condenser, so that it can operate with the innovative fluid, as these are key enabling components for the proposed technology. Both actions will lead to a significant reduction in both CAPEX and OPEX compared to conventional CSP technologies.

### The advantages

Once the most appropriate CO<sub>2</sub> blend is selected, the pseudo-supercritical temperature of the resulting working fluid can be significantly increased (above 60°C). This brings about the following key advantages over either steam or standard sCO<sub>2</sub> cycles in parabolic trough and solar tower CSP plants:

- Condensing (Rankine) sCO<sub>2</sub> cycles are enabled in typical CSP locations, thus boosting the net heat to electricity efficiency to above 50%.
- The complexity of the power block is largely reduced since only one recuperator and one primary heat exchanger are necessary as opposed to more than ten heat exchangers (six feed-water preheaters, one economiser, one evaporator, one superheater, one reheater) typically used in a steam cycle.
- The size of the turbomachinery is significantly reduced compared to steam turbines of similar power output (lower volumetric flowrate as shown in the figure), resulting in a large reduction in CAPEX.

### Economic features

The large potential for CAPEX and OPEX reduction targeted by SCARABEUS has been demonstrated by a preliminary economic assessment of the impact of adopting CO<sub>2</sub> blends on the specific costs of the power block and the overall plant. The above figure shows an economic comparison between steam, pure CO<sub>2</sub> and blended CO<sub>2</sub> technologies for a reference power plant with a 100 MWel output, obtained from well-referenced methodologies available in literature.