



RIESGOS AMBIENTALES DE LAS CENTRALES TERMOSOLARES EN ANDALUCÍA (ESPAÑA)

Oscar Andrés PARRA FERREYRA
Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo (Perú)
parraa432@gmail.com

Recibido: 24 de marzo del 2023

Enviado a evaluar: 31 de marzo del 2023

Aceptado: 22 de junio del 2023

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en analizar los posibles riesgos ambientales de las centrales termosolares que se encuentran en Andalucía, y para ello se trata de entender el funcionamiento y componentes de esta energía renovable que se encuentra en pleno proceso de expansión, así como también el reto que tiene en el marco de transición energética española, así como también los impactos socioeconómicos durante todo ciclo de vida, analizando la normativa vigente dentro de cada caso. La energía eléctrica es un elemento indispensable en nuestra estilo de vida, y actualmente nos hemos dado cuenta de que este ritmo de producir sin tener en cuenta las consecuencias medioambientales no es sostenible en el tiempo y que no podrá perdurar sin haber consumido los recursos de las generaciones venideras, por tal motivo se hace de vital importancia ver los posibles riesgos que puedan ocasionar las nuevas tecnologías renovables que actualmente son una alternativa para contaminar menos, pero también debemos investigar sobre sus posibles efectos negativos ambientales a largo plazo y de ser posible seguir investigando para eliminar o reducir estos riesgos.

Palabras clave: Termosolar, riesgos, medioambiente, energía, renovable, Andalucía.

ENVIRONMENTAL RISKS OF SOLAR THERMAL POWER PLANTS IN ANDALUSIA (SPAIN)

ABSTRACT

The present research work consists of analyzing the possible environmental risks of the solar thermal power plants that are located in Andalusia, and for this it is a question of understanding the operation and components of this renewable energy that is in the process of expansion, as well as the challenge in the framework of the Spanish energy transition, as well as the socioeconomic impacts throughout the life

cycle, analyzing the current regulations in each case. Electrical energy is an essential element in our lifestyle, and we have now realized that this rhythm of producing without taking into account the environmental consequences is not sustainable over time and that it will not be able to last without having consumed the resources of the generations to come, for this reason it is vitally important to see the possible risks that new renewable technologies may cause, which are currently an alternative to pollute less, but we must also investigate their possible long-term negative environmental effects and, if possible, continue investigating. to eliminate or reduce these risks.

Keywords: Solar thermal, environmental, risks, energy, renewable, Andalusia.

RISQUES ENVIRONNEMENTAUX DES CENTRALES SOLAIRES THERMIQUES EN ANDALOUSIE (ESPAGNE)

RÉSUMÉ

Le présent travail de recherche consiste à analyser les éventuels risques environnementaux des centrales solaires thermiques qui se trouvent en Andalousie, et pour cela il s'agit de comprendre le fonctionnement et les composants de cette énergie renouvelable en voie d'expansion, ainsi que comme le défi qu'il a dans le cadre de la transition énergétique espagnole, ainsi que les impacts socio-économiques tout au long du cycle de vie, en analysant les réglementations en vigueur dans chaque cas. L'énergie électrique est un élément essentiel de notre mode de vie, et nous avons maintenant réalisé que ce rythme de production sans prise en compte des conséquences environnementales n'est pas soutenable dans le temps et qu'il ne pourra durer sans avoir consommé les ressources des générations à venir, pour cette raison, il est d'une importance vitale de voir les risques possibles que les nouvelles technologies renouvelables peuvent entraîner, qui sont actuellement une alternative pour moins polluer, mais nous devons également enquêter sur leurs éventuels effets environnementaux négatifs à long terme et, si possible, continuer à enquêter pour éliminer ou réduire ces risques.

Mots-clés: Thermosolaire, risques, environnement, énergie, renouvelable, Andalousie.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en España, se viene impulsando un cambio de las energías tradicionales a energías renovables, principalmente un cambio de las energías provenientes de combustibles fósiles para dejar de emitir gases de efecto invernadero causantes del cambio climático como la promulgada Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Según las estadísticas de la Agencia Internacional de la Energía nos dice que la participación de las energías renovables en el mundo pasará del 26% en el 2008 a un 44% en el 2049, este crecimiento estará impulsado principalmente por tecnologías eólicas y solares. Esto de acuerdo con la Agencia Internacional de la Energía, la demanda de electricidad aumentará un 70% hasta ese mismo año.

Además de esto, la IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables), nos dice que para alcanzar los Acuerdos de París, se demandad un crecimiento exponencial de la cuota de participación de las

energías renovables en la generación eléctrica hasta situarla en un 57% a nivel global en el año 2030 y el gobierno actualmente está adoptando una política de descarbonización hacia el 2050, para dejar de emitir gases de efecto invernadero para cumplir los objetivos señalados en el artículo 3 y de conformidad con lo exigido por la normativa de la Unión Europea.

En la carrera en la transición tecnológica hacia la producción electricidad por energías renovables, especialmente en la generación termosolar, la cual es una tecnología relativamente nueva, se ha dejado de lado la importancia que se puede dar a los riesgos medioambientales que se puedan dar en todas sus etapas, pasando por la implantación hasta su posterior desmantelamiento cuando haya finalizado su etapa de vida útil, sin dejar de lado la operación y mantenimiento; esto ha hecho que se descuide los probables impactos generados por los materiales utilizados, así como también en el uso de suelo, ya que estas plantas necesitan una extensa cantidad de área para la generación de energía y de los cuales son los más expuestos y que se debe de analizar cuidadosamente con la legislación vigente estatal y en la Comunidades Autónomas en España.

2. LAS CENTRALES TERMOSOLARES: VISIONES ACTUALES ANTE NUEVAS REALIDADES

2.1. ANTECEDENTES

Se puede decir que desde la antigüedad los humanos siempre hemos utilizado la energía solar, han historias donde se relata que, en China y Grecia, se utilizaban los rayos solares desviados con espejos para encender fuegos. En 1913, el norteamericano Frank Shuman, desarrolló la primera estación termosolar de bombeo en Meadi, Egipto.

Este sistema funcionaba con 5 grandes reflectores, cada uno de 62 metros de largo y contenían espejos de vidrio formando así un cilindro con aspecto de parábola. Cada reflector centraba la luz solar en un tubo de su longitud, calentando el agua que se situaba dentro de ellos. El vapor generado alimentaba un motor conectado a una bomba. Este sistema logró distribuir 6000 galones de agua por minuto desde el Río Nilo hasta lugares cercanos.

1.1. TIPOLOGÍAS

Existen dos grandes grupos de tipos de centrales termosolares, según el nivel tecnológico, los podemos clasificar en un nivel alto y bajo según la producción de energía como se aprecia en la Tabla 1, de las cuales hablaremos de las más interesantes y las más usadas en España y de las cuales se pueden presentar mayores riesgos medioambientales en su implantación.

Tabla 1. Nivel tecnológico de las centrales termosolares.

| Nivel Tecnológico | Tipo de Concentrador | Concentración del haz |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| Bajo | Fresnel | Enfoque lineal |
| | Concentradores parabólicos compuestos | Enfoque Lineal |
| | Disco Stirling | Receptor de enfoque puntual distribuido. |
| Alto | Cilindro-Parabólico | Enfoque lineal |
| | Receptor Central de torre | Receptor de enfoque puntual central |

Nota: Adaptado de la tesis "Estudio medioambiental de materiales y compuestos avanzados para centrales termosolares de receptor central de torre con almacenamiento térmico."

Fuente: Elaboración propia, a partir de Río, J. (2017)

Por tal motivo se tomó en cuenta las tecnologías más importantes, como se desarrollará en el presente trabajo, teniendo en cuenta su nivel de importancia en el desarrollo de los posibles riesgos ambientales.

3. PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS: LOS IMPACTOS DE LAS CENTRALES TERMOSOLARES

3.1. FASE DE CONSTRUCCIÓN

Para poder utilizar, centralizar y aprovechar la energía térmica proveniente del sol, debemos de utilizar mucho espacio para que sea rentable al nivel de megavatios de generación, ya sea en cualquiera de los tipos de termosolares, porque es necesario que los heliostatos dispongan de la máxima radiación solar durante todo el día, es por ello que se requiere que estos puedan girar en función al movimiento del sol, evitando que se produzcan sombras entre ellos, bloqueando la radiación solar, para si poder alcanzar las temperaturas necesarias en función al ciclo trabajado en esta tecnología.

Esto nos lleva a que un campo de heliostatos pertenecientes a una termosolar de canales parabólicos requiera de media entre 3 y 5 hectáreas por megavatio de generación eléctrica, por este motivo se puede decir que existe un impacto en el cambio de uso de los suelos, además sobre la eliminación y/o desplazamiento del ecosistema previo que existía antes de su construcción, además esto hace que sea más difícil el control de la flora, ya que se tiene que controlar su crecimiento sobre estos campos, ya que se corre más peligro sobre los posibles incendios forestales.

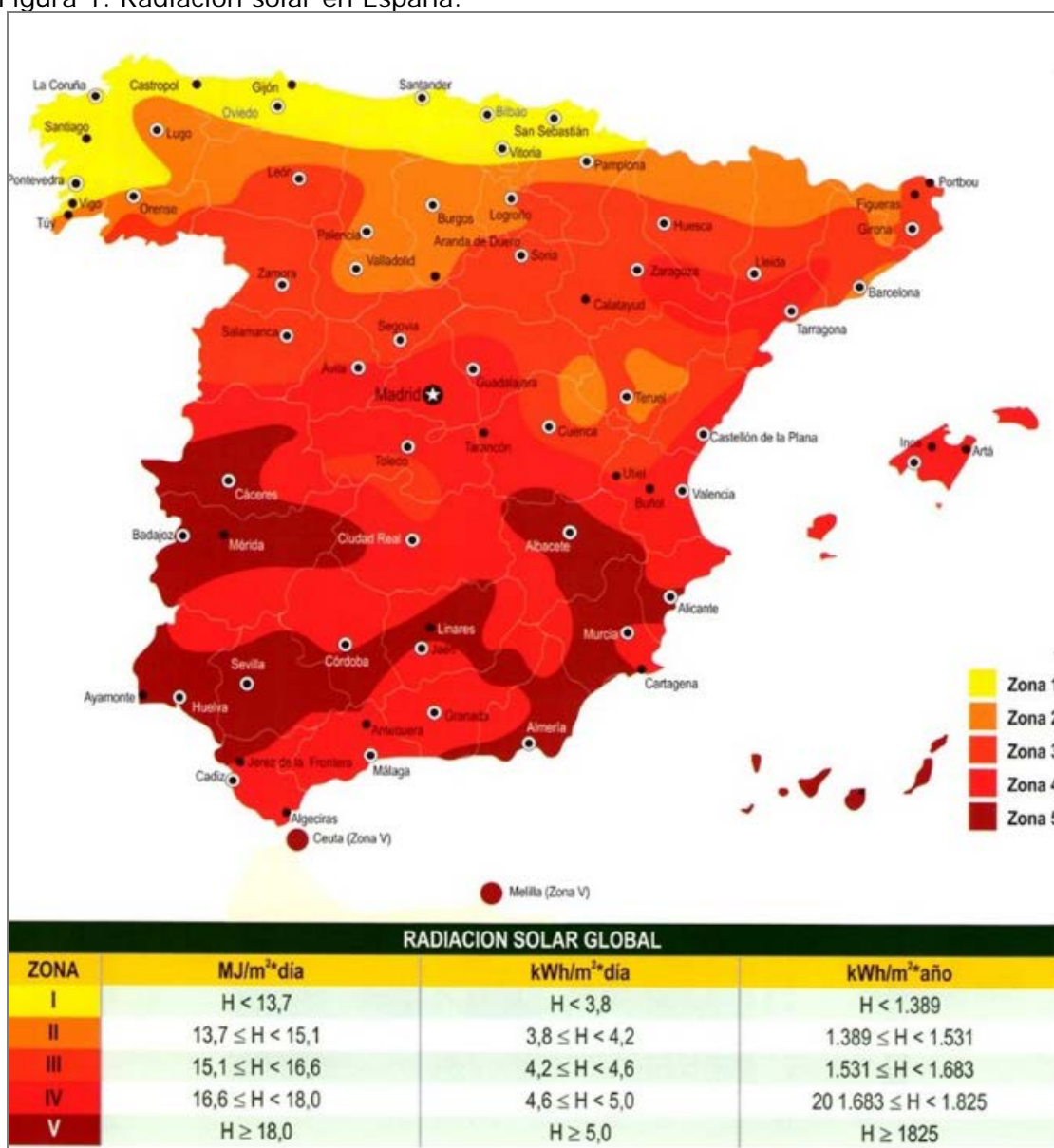
En el caso de las centrales termosolares con torres, se tiene de cada heliostato ocupa una superficie aproximada de 100 m², siendo necesaria una media de 1 y 2 hectáreas por cada megavatio.

Adicionalmente se debe de tener en cuenta que las termosolares necesitan estar implantada en sitios con una alta radiación, para que estas sean lo más productivas posibles, es por ello que la mayoría de centrales de este tipo se encuentran en la zona sur peninsular de España, que es la que

cuenta con la mayor radiación solar, pero esto también implica que dichas localizaciones coinciden con que la disponibilidad del agua no es muy elevada, esto provoca un fuerte impacto en el entorno, ya que también es necesario un consumo de agua para mantener la generación de energía.

Es por ello por lo que se debe tener en cuenta la transformación natural del terreno corresponde a la ocupación y transformación de la superficie de tierra destinada a la explotación minera de los nitratos. Los efectos provocados son los correspondientes al uso del terreno, la extensión de la superficie utilizada y la duración de ello. La transformación natural del terreno considera la amplitud de los cambios en las propiedades de la tierra.

Figura 1. Radiación solar en España.



Fuente: Plasol.

Como se aprecia en la figura 1, se ve la radiación solar presente en la España, sobresaliendo las zonas de Andalucía y Extremadura como las de mayor presencia de radiación de solar, clasificadas dentro de las zonas V con más de 1.625 KWH/m², siendo las más propicias para la instalación de centrales termosolares en España.

El proyecto de una Central termosolar traerá como consecuencia la construcción de una línea eléctrica de transporte de la energía eléctrica generada por la planta termosolar, la cual llevara consigo acciones de derivadas a su instalación, ya sea de forma aérea y subterránea, todo esto unido con las actividades derivadas de la propia construcción de la planta, de las cuales podrían ser las siguientes:

- Autorizaciones administrativas
- Preparación del terreno: Retirada de vegetación existente, nivelación, apertura y/o mejora de accesos, etc.
- Obra civil: Edificaciones, cimentaciones, vallado, canalizaciones, subestación, etc.
- Trabajos mecánicos: Instalación de los colectores, turbina de vapor, equipamiento auxiliar, etc.
- Trabajos eléctricos: Transformadores y conexiones eléctricas, iluminación y todo tipo de sistema eléctrico.
- Consumo de agua, combustibles y otras materias primas.
- Transporte de materiales y equipos.
- Almacenamiento/acopio de materiales de construcción y residuos.
- Eliminación de materiales y rehabilitación de daños

3.2. PERIODO DE FUNCIONAMIENTO

Durante el periodo de funcionamiento de una planta termosolar podemos encontrar las siguientes actividades:

- Presencia de nuevas infraestructuras: Planta Termosolar y línea eléctrica de evacuación.
- Actividades asociadas al mantenimiento de los heliostatos y termo colectores.
- Actividades asociadas a la generación eléctrica.
- Consumo de agua y otras materias primas.
- Vertidos térmicos de refrigeración.
- Vertido de aguas con carga contaminante (proceso, sanitarias).
- Transporte y almacenamiento de materias primas.
- Generación y almacenamiento de residuos.
- Mantenimiento de equipos e instalaciones.
- Mejora de la infraestructura eléctrica

Un aspecto importante durante el periodo de funcionamiento de las plantas termosolares es el derivado de la producción de vertidos durante todo el periodo de vida útil de planta, dentro de los más peligrosos pueden ser las sustancias utilizadas como liquido transportador de calor, más conocido por sus siglas en inglés HTF (*heat transfer fluid*) que se muestra en la tabla 2, y que pueden ser de diferentes tipos, siendo algunos más contaminantes que otros y más peligrosos de manipular.

Tabla 2. Características de los fluidos caloportadores HTF

| Fluido caloportador (HTF) | Rango de operación | Tipo de CPS | Ventajas | Inconvenientes |
|---|--------------------|--|--|---|
| Agua | T < 100°C | Centrales de torre. Concentrador lineal Fresnel | <ul style="list-style-type: none"> Barata y abundante. Alto calor específico. No es tóxica. No es inflamable. | <ul style="list-style-type: none"> Muy oxidante y corrosivo. Aumento de volumen al solidificarse. Presión de vapor aumenta con la temperatura. |
| Agua desmineralizada o Etilenglicol | T < 1755°C | Tecnología cilindro parabólica. | <ul style="list-style-type: none"> No es corrosivo. Anticongelante. Presión de vapor casi despreciable. | <ul style="list-style-type: none"> Muy tóxico. Corrosión. |
| Mezclas de sales inorgánicas fundidas (nitrato inorgánico con 60% de nitrato de sodio y 40% de nitrato de potasio) | 291°C < T < 384°C | Centrales de torre. | <ul style="list-style-type: none"> Alta eficiencia de generación eléctrica de las turbinas de vapor debido al incremento de la temperatura. | <ul style="list-style-type: none"> Alta temperatura de cristalización (125°C). Mayores consumos. |
| Fluidos orgánicos sintéticos (aceite sintético mezcla eutéctica de bifenilo y óxido de difenilo) | 200°C < T < 400°C | Tecnología cilindro parabólico | <ul style="list-style-type: none"> Temperatura de vapor alta. Mejor almacenamiento térmico. | <ul style="list-style-type: none"> Riesgo de explosión. |
| Mercurio | T < 540°C | - | <ul style="list-style-type: none"> Elevadas propiedades térmicas. Elevadas propiedades de transferencia de calor. | <ul style="list-style-type: none"> Tóxico. Elevado precio. |
| Sodio Líquido | 98°C < T < 540°C | - | <ul style="list-style-type: none"> Alto coeficiente de transferencia térmica. | <ul style="list-style-type: none"> Elevada reactividad con agua y aire, encareciendo las medidas de seguridad. |

Nota: Adaptado del artículo de "Contaminación del subsuelo de Centrales Termosolares".

Fuente: Elaboración propia, a partir de Orozco y Sanz (2019)

Según el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (Nota Técnica de prevención 1151, 2020) nos dice que el Catálogo de Clasificación y Etiquetado (CyE) de la ECHA, así como las fichas de datos de seguridad del producto de los principales fabricantes y distribuidores, indican que esta mezcla causa irritación cutánea, irritación ocular grave, y además, en caso de inhalación, puede irritar las vías respiratorias (indicaciones de peligro H315, H319 y H335). Desde el punto de vista medioambiental, el HTF es muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos, presentando peligro tanto a corto como a largo plazo para el medio ambiente acuático (indicaciones de peligro H400 y H410). Por tanto, todos los posibles derrames deben ser contenidos y los efluentes generados deben ser convenientemente tratados para minimizar su liberación al medio ambiente.

Tabla 3. CLP del Benceno.

| Nomenclatura | Indicaciones de peligro |
|--------------|--|
| H315 | Irritación o corrosión cutáneas, categoría 2. Provoca irritación cutánea |
| H319 | Lesiones oculares graves o irritación ocular, categoría 2. Provoca irritación ocular grave. |
| H335 | Toxicidad específica en determinados órganos. Exposición única, categoría 3, irritación de las vías respiratorias. Puede irritar las vías respiratorias. |
| H400 | Peligroso para el medio ambiente acuático-Peligro agudo, categoría 1. Muy tóxico para los organismos acuáticos. |
| H410 | Peligroso para el medio ambiente acuático-Peligro crónico, categoría 1. Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos. |

Fuente: Elaboración propia adaptado del INSST - NTP 486: Evaluación de la exposición a benceno: control ambiental y biológico.

Además de lo presentado anteriormente, se sabe que el benceno es carcinógeno para el hombre y se considera que induce mutaciones hereditarias en las células germinales humanas, además se absorbe por vía dérmica. En estado líquido o vapor es muy inflamable, pudiendo ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias, provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, además de daño en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. Por otra parte, el fenol se absorbe por vía dérmica. Es tóxico en caso de ingestión, inhalación o contacto con la piel, provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves, se sospecha que provoca defectos genéticos, y puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Otro aspecto para tener en cuenta sobre el HTF es su posible degradación térmica, debido a la variación de temperatura. Esta degradación de la calidad del fluido supone una pérdida de sus propiedades de transporte térmico que conlleva problemas operativos y económicos. Uno de los servicios que ofrecen algunos fabricantes es el análisis del HTF, para determinar su nivel de pureza, y su posible sustitución cuando sus propiedades supongan un perjuicio económico por ser un factor clave en la producción de energía. Según lo que nos dice el INSST, se han realizado varios estudios por las sustancias que aparecen como consecuencia de la degradación de la mezcla utilizada como HTF (bifenilo 27% y óxido de difenilo 73%), se descompone/degrada en componentes de bajo y alto punto de ebullición, llamados comúnmente Low Boilers (benceno y fenol principalmente) y High Boilers (dibenzofuranos, orto y para terfenil, fenoxibifenil y tetrafenil), es por ello que la mayoría de las plantas termosolares utilizan eliminación de residuos también denominado Sistema de Ullage, el cual funciona extrayendo aproximadamente un 2% del caudal, calentándolo hasta llevarlo al punto de ebullición y así separarlo de los productos con temperaturas más bajas de licuefacción; esto puede llegar a unas pérdidas anuales de 20 toneladas de HTF.

Otro asunto también que se comenta en la etapa de funcionamiento de las Centrales termosolares que usan aceites derivados de hidrocarburo como HTF, es el uso de grandes cantidades de agua constante para el

enfriamiento del condensador del ciclo de vapor, según Ecologistas en Acción (2023), se calcula aproximadamente en 3000 litros por cada Megavatio hora producido, que puede ser una cantidad muy similar a la usada en las centrales nucleares, superior las que funcionan con carbón (2000 litros) y de gas de ciclo combinado (800 litros), esto para una central termosolar tipo de 50 MW de potencia y 175 GWh/año de producción eléctrica, representa más de medio millón de metros cúbicos de agua al año. Centrales como la que se encuentra en Morón (Sevilla), de 50 MW, reconocen un consumo incluso más elevado: 950.000 m³ al año de consumo de agua.

3.3. DESMANTELAMIENTO Y FIN DE LA ACTIVIDAD

Con respecto al desmantelamiento de las plantas termosolares se debe de tener en cuenta el vertido de los residuos, que se pueden ir dando durante toda la vida útil de la planta, que generalmente ronda los 25 años, para esto se debe de tener en cuenta los residuos relacionados con el HTF y el tanque de sales fundidas, esto teniendo en cuenta el tipo de sustancias que se utilicen para elegir el método más adecuado, siendo los comunes los que se refieren a procesos fisicoquímicos (extracción y lavado), procesos térmicos (desorción térmica e incineración) y procesos biológicos (*bioventing* o inyección de aire, compostaje, *landfarming*, *biopilas* y fitorremediación). Además, debemos de tener en cuenta que la mayoría de las plantas termosolares en España, aún le queda una vida útil de entre 10 y 15 años, es por ello que actualmente se están llevando a cabo estudios para acelerar el envejecimiento de ciertos materiales para comprender el fenómeno físico relacionado con la degradación y rotura de los materiales sometidos a la radiación solar concentrada con altas temperaturas y ver como se pueden maximizar su vida útil, así como también saber cómo manipular estos componentes después de su utilización, sin que ello afecte el medio ambiente. Aquí se pueden ver principalmente dos actividades principales: Retirada de materiales y emplazamiento abandonado.

4. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA Y "CICLO DE VIDA" DEL PRODUCTO EN LAS CENTRALES TERMOSOLARES

El almacenamiento de energía eléctrica todavía es un tema que no está desarrollado completamente, actualmente no se dispone de almacenamiento de energía eléctrica y todo lo que se produce en cualquiera de centrales generación de electricidad se vierte directamente a la red de distribución, aunque exista una sobreproducción, sumando a esta problemática, las centrales termosolares dependen en gran medida de las condiciones climatológicas para la generación de energía, y estas situaciones nos obliga a saber cuál es la energía eléctrica que se producirán las centrales, así como también generar la máxima cantidad de energía cuando sea más demandada.

El caso más conocido de las energías renovables se tiene las hidroeléctricas recurren al almacenamiento de las aguas para luego utilizarla en las turbinas cuando sea más demandado, para luego bombearla al embalse para seguir con almacenamiento, siempre haciéndolo en el momento de menor demanda, donde la energía eléctrica utilizada para este proceso tiene un coste menor en el mercado.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2011) nos dice que para el año 2011 en España la mayoría de plantas termosolares en

España no superaban las 2.400 horas anuales de operación a plena carga, por tal motivo, para incrementar las horas de operación se puede lograr de dos formas, la primera es mediante la hibridación con un combustible (fósil o renovable) y la segunda forma es mediante el almacenamiento térmico utilizando algún medio con una alta capacidad térmica.

La ventaja comparativa que tiene las centrales termosolares en comparación de otras energías renovables como la eólica, es que la mayoría cuentan con tanques de almacenamiento térmico, esto permite que el calor producido por la radiación solar se pueda almacenar para luego poder generar electricidad y continuar con el ciclo de Rankine, el cual es el generador termodinámico de energía eléctrica.

Este sistema de almacenamiento está conformado por dos tanques, uno de sales frías y otro de sales calientes, generalmente los tanques están compuestos de sales inorgánicas (nitrito sódico y nitrito potásico), esta mezcla a temperatura se encuentra en estado sólido, es por ello para que estas fluyan se necesitan fundirlas y es necesaria llevarlas hasta temperaturas superiores a los 220 ° C y en ningún momento deben de bajar de estas temperaturas.

Para este proceso las sales se encuentran inicialmente en el tanque frío, a una temperatura entre los 230 y 280 ° C. Estas sales se hacen circular por unos intercambiadores, utilizando para esto el HTF, produciendo un intercambio de calor entre estas sustancias; para hacer fluyan estas sustancias se utilizan unas bombas verticales algo especiales, esto ocurre porque no se puede poner un sello de estanqueidad, es por ello que la bomba se encuentra en el fondo del tanque, el motor eléctrico se encuentra en la parte superior de este, siendo esta bomba un punto muy importante para que se lleve a cabo esta función.

Los tanques están contruidos en acero al carbono aislados en techo, paredes y suelo, generalmente son de 40 metros de diámetro y 16 metros de altura, tienen una capacidad total de 20.000 m³, de los cuales solo uno contiene sales (16.000 m³).

Siguiendo las iniciativas de PNUMA en el marco de la Declaración de Malmö del 2002, en donde se hace un llamamiento a todos los gobiernos para crear una economía de ciclo de vida orientados a promover enfoques integrales para promover el consumo y la producción sostenible, el ciclo de vida de un producto puede empezar con la extracción de materias primas y la generación de energía, y su posterior reciclaje, uso o desecho, así podemos ver las ventajas y desventajas, contribuyendo a la economía, el medio ambiente y la sociedad.

5. INDICADORES AMBIENTALES DE CONTROL

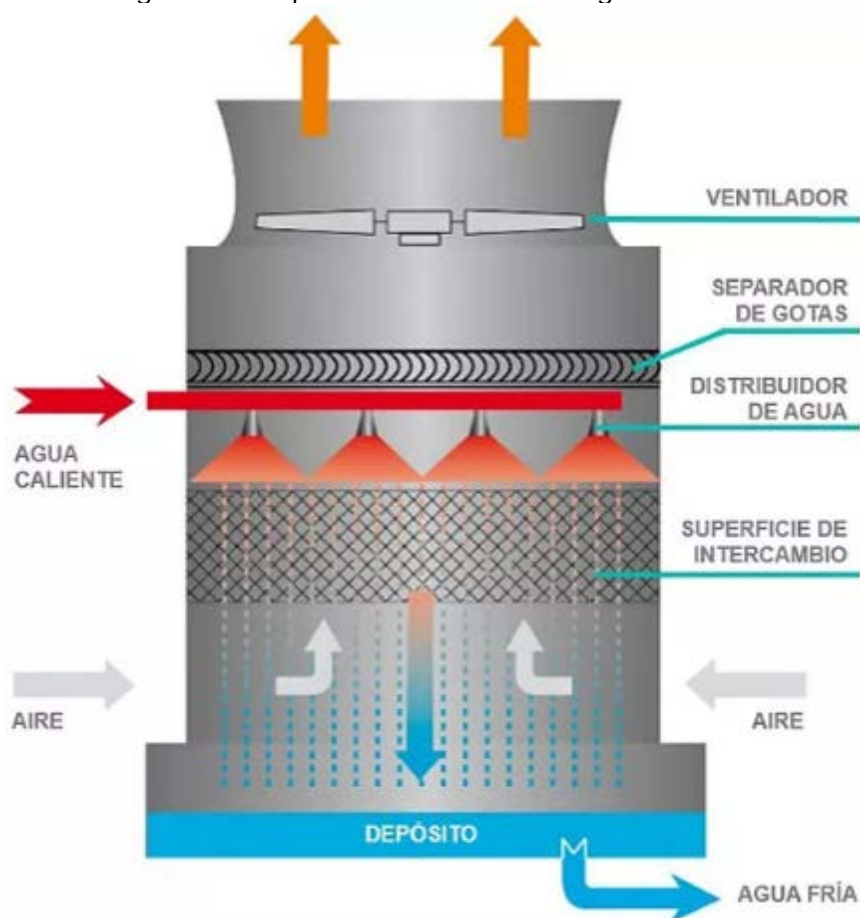
Para hacer un control del impacto medioambiental que podría ocasionar una planta termosolar se han tomado como indicadores más importantes la huella hídrica, de carbono y ecológica, aunque esta última nos da un panorama más amplio como país de cuál es la situación actual.

5.1. HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica se puede definir como un indicador que nos define el volumen de agua dulce total usada para producir diferentes tipos de bienes o servicio, que pueden ser litros o metros cúbicos, es por ello por lo que es importante determinarlo y el uso que hacen las nuevas tecnologías de generación de energía renovables se mide en unidades de volumen.

Según Water Footprint Network (2023) la huella hídrica de España asciende a 2.500.000 litros de agua por habitante, convirtiéndolo en el octavo país con mayor huella hídrica a nivel mundial, siendo casi el doble de la media a nivel mundial.

Figura 1. Esquema de torre de refrigeración.



Fuente: Proyecto ciencia de los Materiales.

Para el cálculo de la huella hídrica de las diferentes Centrales Termosolares se pueden tener en cuenta diferentes factores y prácticas específicas de la producción y el tipo de tecnología usada para la generación de la energía. Siendo las consideraciones más importantes sería el agua requerida para el enfriamiento de las turbinas o para la transferencia de calor si se usa como HTF, además se puede considerar al suministro de agua en toda la cadena de suministro de la planta y el uso del agua para la limpieza de los espejos o heliostatos. Pero, al ser una fuente de energía renovable, la huella hídrica suele ser comparativamente menor a la de fuentes tradicionales, como las de ciclo combinado o las nucleares que utilizan agua para vapor o enfriamiento.

Con lo que respecta a las centrales termosolares el volumen de agua más requerido son por las torres de enfriamiento industrial, la cual necesitan una gran cantidad de agua a utilizar y una parte se perderá en el proceso de enfriamiento, para lo que respecta a cualquier planta de generación de energía que utilice este sistema de enfriamiento tiene una ratio de entre 4,2 m³ y 4,8 m³ por cada MVh producido. Por ello es importante saber si las plantas cuentan con un sistema de almacenamiento térmico, ya que esto hará de que se pueda producir durante más horas energía eléctrica.

Tabla 4. Consumo de agua anual en centrales termosolares con torre de refrigeración.

| Potencia (MW) | Almacenamiento térmico | Horas de funcionamiento | Consumo de agua anual (coeficiente de 4,2 m ³) |
|---------------|------------------------|-------------------------|--|
| 50 | Si | 8760 | 630 000 m ³ |
| 50 | No | 3000 | 378 000 m ³ |

Fuente: Elaboración propia.

A parte del consumo de agua por esta actividad, que es la que más se consume, también hay otras actividades dentro del funcionamiento de las centrales termosolares, como el funcionamiento de las turbinas por el ciclo de vapor y la limpieza de los heliostatos, siendo estas la más importantes en el consumo de agua, como se puede ver en la tabla 5.

Tabla 5. Flujos de agua residuales anuales promedios para una Central Termosolar de 50MV.

| Actividades | Consumo de agua anual (m ³) | Consumo de agua anual total (m ³) |
|---|---|---|
| Purga de torre de refrigeración | 325 000 | |
| Purga de ciclo de vapor | 13 000 | |
| Limpieza de Heliostatos | 10 000 | |
| Flujo de aguas contaminadas con aceites e hidrocarburos (HTF) | 8 000 | 367 000 |
| Aguas sanitarias | 3 000 | |
| Otros usos | 8 000 | |

Fuente: Elaboración propia.

5.2. OPCIONES PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA EN CENTRALES TERMOSOLARES

En este punto podemos ver que hay nuevas tecnologías que pueden ayudar a reducir el consumo de agua en el sistema de enfriamiento de este tipo de centrales, ya que es la fase de la producción que requiere la mayor cantidad de agua y es por eso la necesidad de crear nuevas tecnologías para reducirlo, aquí proponemos algunas que se encuentran en uso o

implementación y que es posible implementarlas dentro de este tipo de centrales.

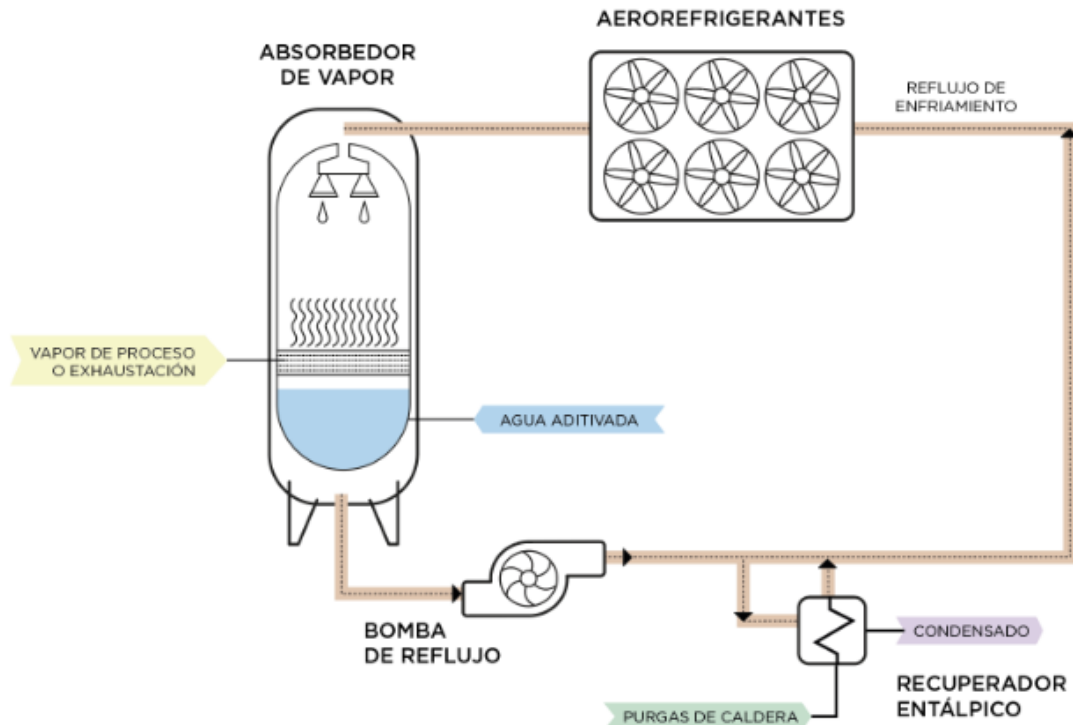
- **Tecnología ACC (Air Cooled Condenser)**

Una solución para el gran consumo de agua para la refrigeración de este tipo de centrales es la denominada tecnología ACC por sus siglas en inglés *Air Cooled Condensers*, que se encarga del enfriamiento por vacío, reduciendo sustancialmente el consumo de agua, aunque actualmente en España no lo tiene ninguna planta termosolar, existen algunas plantas que se encuentran en regiones áridas del planeta donde este tipo de sistema hace viable el uso de esta tecnología, como se puede ver en la planta Noor de Marruecos, que por estar ubicada en el desierto, con mucho potencial respecto a la radiación solar y poca agua para utilizarse en el proceso de generación de energía y que podría funcionar como una solución para recortar el consumo de agua

- **Tecnología de ciclo higroscópico (HTC)**

Se basa en un ciclo termodinámico similar al ciclo de Rankine, cuya característica principal es el uso de compuestos higroscópicos (que son lo compuestos que atraen al agua en forma de vapor o líquido) que optimizan la condensación del vapor de salida de turbina. Para lograr esto se aumenta se necesita aumentar la temperatura de condensación para una presión determinada en el absorbedor de calor.

Figura 3. Esquema de funcionamiento de ciclo higroscópico



Fuente: Imatech.

- **Enfriamiento adiabático.**

Es el proceso de perder temperatura sin perder energía del conjunto de sustancias que forman el aire. Es cuando transformamos calor latente en calor sensible sin utilizar ninguna fuente de energía ajena a la sustancia. Se puede decir que gracias a este proceso se puede reducir el consumo de agua hasta en un 95%, así como el de energía y CO₂ en un 40% y, en consecuencia, los costes operativos y de mantenimiento.

Este sistema de enfriamiento de agua de circuito cerrado que utiliza el aire ambiente cruzándolo con pequeñas partículas pulverizadas de agua y que, combinado con un intercambiador de agua – aire, siendo el parámetro fundamental que limita la eficacia del enfriamiento adiabático es la humedad relativa del aire.

Este sistema forma parte del ciclo higroscópico para el enfriamiento del agua.

5.3. HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono se obtiene mediante un cálculo de la actividad por el factor de emisión de carbono, siendo una de las más usadas la que corresponde a la norma UNE-ISO 14064, partiendo de que los datos de actividad están divididos por tres alcances, el primero de ellos es el correspondiente a las emisiones directas (combustibles, gases, etc.), el segundo a las emisiones indirectas (consumo energético adquirido) y el tercero a otras emisiones indirectas como la distribución del producto o la gestión del bien, entre otros.

La huella de carbono de un producto o servicio equivale al impacto de punto medio en la categoría de cambio climático, y se representa en emisiones de gases de efecto invernadero que son medidas en Kg CO₂ eq que son emitidas por las centrales termosolares.

Según Corona Bellostas, B. (2016) la huella de carbono de las centrales termosolares con tecnología cilindro parabólica, está dentro de una ratio de 17 y 317 Kg CO₂ eq/MWh, si es una operación con la radiación solar, es decir sin necesidad de usar alguna hibridación como el gas natural, la ratio disminuye hasta los 17 – 73 Kg CO₂ eq/MWh; y en cuanto a las que usan la tecnología de torre, estas presentan una ratio de entre 23 y 42 Kg CO₂ eq/MWh para centrales con modo solar, y 203 – 245 Kg CO₂ eq/MWh para centrales con un 15% de hibridación con gas natural.

5.4. HUELLA ECOLÓGICA

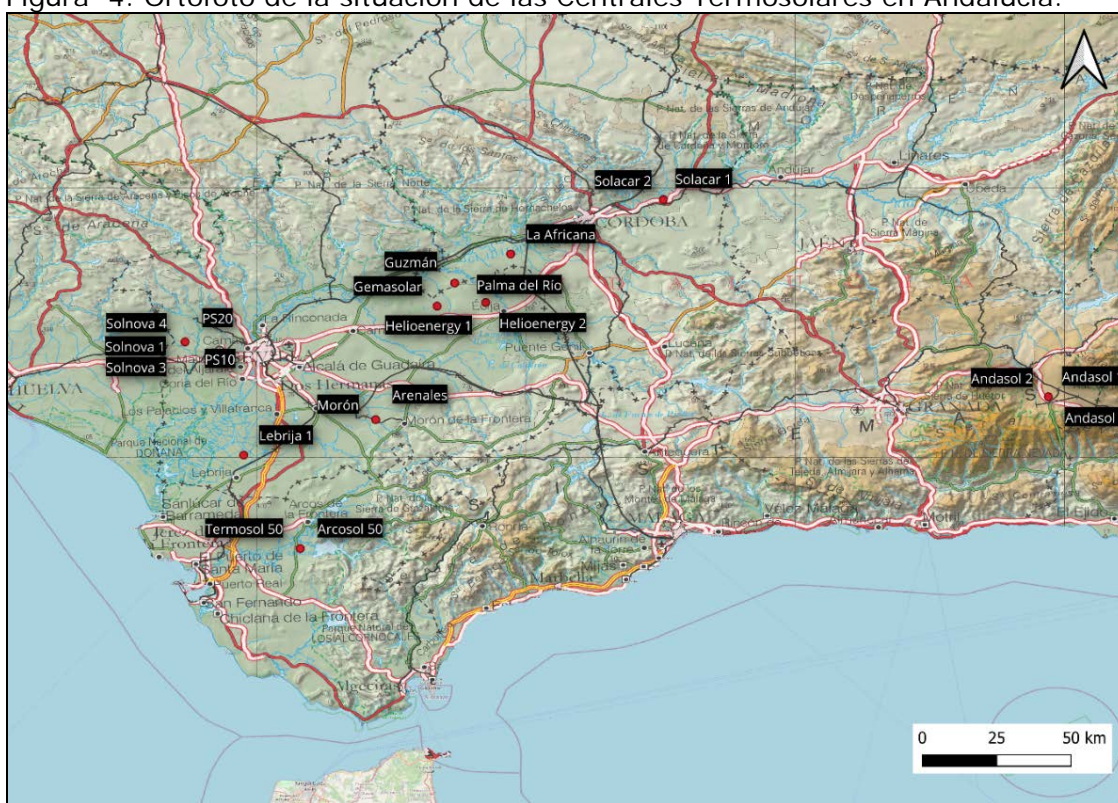
Para el cálculo de la huella ecológica se tiene en cuenta algunos factores como el crecimiento de la población, la superficie de suelo fértil, la deforestación, el agotamiento de los recursos y el aumento del consumo.

La realidad del planeta es que la población actual sobrepasa un 30% la capacidad de carga del planeta, esto quiere decir que estamos agotando los recursos para las generaciones futuras, con respecto a España según Ecología verde (2023) supera un 2,6% a su biocapacidad y que este aumento un 50% en tan solo 15 años. Con la implementación de generación de energía renovable en sustitución de la energía tradicional como los combustibles fósiles, estas acciones están contribuyendo a reducir con la huella ecológica del planeta y en especialmente la de España.

6. LOCALIZACIÓN TERRITORIAL DE LAS CENTRALES EN ANDALUCÍA

Por otra parte, podemos ver que la mayor tecnología presentes en Andalucía por las centrales termosolares es la que corresponde a las cilindro-parabólicas, siendo la potencia más frecuente en estas plantas la de 50 MW, y la mayoría sin contar con tanques de almacenamiento térmico, que es lo que permiten que sigan generando energía eléctrica sin depender de las radiaciones solares. Otro factor para tener en cuenta en la localización de las centrales termosolares es la red de distribución eléctrica, ya que según el Real Decreto 2366/1994, sobre la producción de energía eléctrica por instalaciones de energía renovables, obliga a situar este tipo de plantas cerca de líneas de alta y media tensión, siendo los ejes más importantes de generación de energía en Andalucía están dentro del valle del Guadalquivir y por lo tanto afectando directamente a su cuenca hidrográfica.

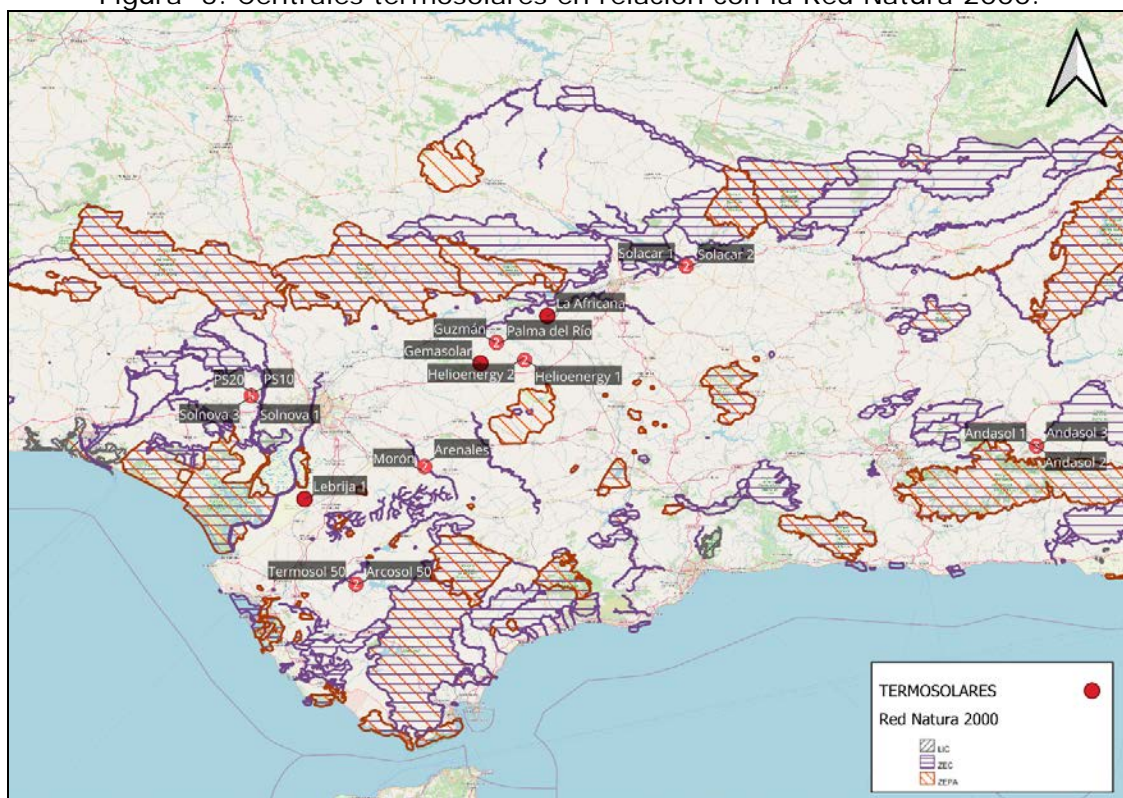
Figura 4. Ortofoto de la situación de las Centrales Termosolares en Andalucía.



Fuente: Elaboración propia.

Un punto para tomar en cuenta en este apartado es referente a la Red Natura 2000 que actualmente se encuentra formada por 1.468 comprendiendo casi un 28% del territorio español, dentro de ellas tenemos las ZEC (Zona Especial de Conservación) y las LIC (Lugar de Importancia Comunitaria), en el caso de algunas Comunidades Autónomas, como Canarias, Galicia e Islas Baleares, tienen una normativa muy específica respecto a estas zonas, y prohíben explícitamente la implantación de este tipo de centrales a diferencia de otras comunidades autónomas que solo la descartan en algunas ZEE y en sus respectivas zonas de amortiguamiento.

Figura 5. Centrales termosolares en relación con la Red Natura 2000.



Fuente: Elaboración propia

7. CONCLUSIONES

Como conclusiones se puede decir que los riesgos ambientales que pueden tener los diferentes tipos de plantas termosolares pueden ser bastante controlables si se hace un correcto estudio de sus posibles efectos adversos, siendo el tal vez el mayor problema detectado en la gran extensión de suelo a utilizar para canalizar la radiación solar, seguido por el uso de aceites sintéticos como HTF en algunas de estas plantas, aunque como se ha podido ver a lo largo del trabajo es posible cambiar estas sustancias por otras menos contaminantes, y aunque actualmente no hay ninguna disposición por parte del gobierno sobre el cambio de estas sustancias, creo que es de especial importancia algún tipo de transición de estas sustancias altamente perjudicantes, no solo con el medio ambiente, sino que implica una degradación de la salud de las personas al estar comprobado que los aceites sintéticos derivados del benceno son cancerígenos; en tercer lugar, se puede decir también el consumo de agua que tiene cada una de ellas y su posterior evacuación, aunque si lo comparamos con otras formas de generación de energía, puede ser que sea una de las que menos consume agua, aunque para esto como hemos visto en la investigación existen nuevas tecnologías en uso y otras en desarrollo para que puedan ser eficientes sin un consumo alto de agua en su sistema.

Este tipo de tecnología puede ser beneficiosa para el medio ambiente con sus respectivos estudios y tal vez pueda ser mejor ubicado sobre terrenos eriazos con una gran cantidad de radiación solar, como zonas desérticas y que se altere lo menos posibles la flora y fauna, así como la edafología del lugar. Con las nuevas tecnologías que surgen actualmente es posible que se pueda hacer algo para reducir el elevado consumo de agua, como se ha

visto es necesario para el sistema de refrigeramiento, pudiendo optimizar esto por otros mecanismos sin dejar de ser eficientes, otro punto de estas plantas que se puede optimizar sería la superficie a utilizar por el campo solar, que con nuevas tecnologías en relación a los heliostatos podría reducirse sin perjudicar la producción que actualmente generan estas plantas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Acción, E. e. (17 de 04 de 2023). Ecologistas en Acción. Obtenido de <https://www.ecologistasenaccion.org/22698/centrales-termosolares/#:~:text=Como%20se%20trata%20de%20centrales,nuclear%2C%20pero%20superior%20a%20las>
- Agency), I. (. (2020). Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050. Abu Dabi.
- Avebiom. (15 de mayo de 2023). Obtenido de <https://www.avebiom.org/biomasanews/generacion-bioelectrica/tecnologia-ciclo-higroscopico-transicion-energetica#:~:text=La%20Tecnolog%C3%ADa%20de%20Ciclo%20Higrosc%C3%B3pico,de%20biomasa%20y%20las%20termosolares>.
- Bellostas, B. C. (2016). Analisis de sostenibilidad del ciclo de vida de una configuracion innovadora de tecnología termosolar. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Böhnke, G. W. (1998). Life cycle assessment of an 80 MW SEGS plant and a 30 MW Phoebus Power Tower. Institute of Energy Economics and the Rational Use of Energy (IER), Albuquerque NM, USA. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Gerhard-Weinrebe/publication/224802464_Life_Cycle_Assessment_of_an_80_MW_SEGS_Plant_and_a_30_MW_PHOEBUS_Power_Tower/links/0c960518295595e682000000/Life-Cycle-Assessment-of-an-80-MW-SEGS-Plant-and-a-30-MW-PHOEBUS-Power-
- Boletín Oficial de la Junta de Andalucía. (2022). Estrategia Energética de Andalucía 2030. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Brown, C. A. (2010). Energía del sol . México.
- Centrales Termosolares . (14 de 02 de 2023). Obtenido de <http://www.centralestermosolares.com/historia-de-la-energia-termosolar#:~:text=La%20historia%20moderna%20de%20la,agua%20de%20la%20Casa%20Blanca>.
- Chumilla Technology. (15 de 04 de 2023). Obtenido de <https://www.chumillastechnology.com/blog/infografia-funcionamiento-de-una-planta-termosolar/>
- Comisión de expertos para la reforma del sistema tributario español . (2014). Informe Comisión de expertos para la reforma del sistema tributario español . Madrid.
- demográfico, M. p. (2020). Impacto Económico, de empleo, social y sobre la salud pública del plan nacional integrado de energía y clima 2021-2023. Madrid.
- Demográfico, M. p. (09 de junio de 2023). Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/responsabilidad-mediambiental/base-legal/Ind-dano-medioambiental.aspx>
- El País. (13 de 02 de 2023). Obtenido de <https://elpais.com/sociedad/acertar-con-energia/2022-11-08/el-gran-salto-de-las-energias-renovables.html>
- energía, A. A. (2011). Tecnología Termosolar. Sevilla: Junta de Andalucía.

- Español, J. d. (28 de diciembre de 1992). Ley 38/1992, 28 de diciembre, de impuestos especiales. Madrid, Madrid, España. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1992-28741>
- Español, J. d. (21 de 04 de 1998). Real Decreto-Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos. Madrid. Obtenido de <https://www.boe.es/eli/es/l/1998/04/21/10>
- Europea, U. (2000). Convenio Europeo del Paisaje. Convenio Europeo del Paisaje, (pág. 8). Florencia, Italia.
- IDAE, I. p. (2011). IDAE.
- IDEAM. (17 de 04 de 2023). Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta#:~:text=publico.es\),,El%20Sol%20emite%20energ%C3%ADa%20en%20forma%20de%20radiaci%C3%B3n%20de%20onda,200%20nm%20a%203.000%20nm\)](http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta#:~:text=publico.es),,El%20Sol%20emite%20energ%C3%ADa%20en%20forma%20de%20radiaci%C3%B3n%20de%20onda,200%20nm%20a%203.000%20nm).
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2020). Nota Técnica de prevención 1151. Obtenido de <https://www.insst.es/documents/94886/566858/NTP+1151+Exposici%C3%B3n+a+HTF+en+centrales+termosolares+de+concentradores+cil%C3%ADndrico+parab%C3%B3licos+-+A%C3%B1o+2020.pdf/519ab9b2-a315-b3bf-5e17-4b835e9abd72?version=1.0&t=1614697913612>
- IRENA, I. R. (2023). Global Landscape of Renewable Energy Finance 2023. Abu Dabi. Obtenido de https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA_CPI_Global_RE_finance_2023.pdf?rev=8668440314f34e588647d3994d94a785
- Jefatura del Estado Español. (2012). Ley 15/2012, 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. Madrid.
- Junta de Andalucía - Agencia Andaluza de la Energía. (2021). Estrategia Energética de Andalucía 2030 - Valoración del Impacto en la Salud. Sevilla. Obtenido de https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/Documentos/Planificaci%C3%B3n/202109_eea2030_vis.pdf
- Junta de Andalucía. (2022). Informe de Infraestructuras Energéticas Andalucía. Sevilla.
- Lopez, M. R. (2015). Centro Infantil de Discapacidad Mental. Ciudad de México.
- Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (06 de junio de 2023). Obtenido de <https://energia.gob.es/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/Renovables.aspx>
- Observatorio de la transición energética y la acción climática. (2023). <https://otea.info/>. Obtenido de <https://otea.info/>
- Protermosolar. (2021). La industria termosolar como motor económico en España. Madrid.
- Protermosolar. (21 de junio de 2021). Protermosolar. Recuperado el 26 de abril de 2023, de Durante el ejercicio de 2019, las 49 plantas termosolares operativas en España generaron 5,2 GWh de electricidad, lo que contribuyó al PIB nacional con más de 1.500 millones de euros. Es decir, por cada MW instalado se generaron alrededor de 600.000 euros
- Raymundo Montoya Ayala, J. P. (2003). Valoración de la calidad y fragilidad visual del paisaje en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla (México). Madrid: Boletín de la A.G.E. N° 35.
- Rediam. (05 de 2023). Red de Información Ambiental de Andalucía.
- Renovables, A. d. (2021). Avance del estudio del impacto Macroeconómico de Energías Renovables en España. Madrid. Obtenido de <https://www.appa.es/wp->

- content/uploads/2022/11/Avance_Estudio_Impacto_Macroeconomico_Renovable_2021.pdf
- Río, C. M. (2017). Estudio medioambiental de materiales y compuestos avanzados para Centrales Termosolares de receptor central de torre con almacenamiento térmico. Madrid, España. Universidad Complutense de Madrid.
- Sotelo Pérez, I. y Sotelo Navalpotro, J.A. (2022): Aspectos científicos del estudio del Medio Ambiente, en el contexto del Espacio Geográfico, desde el ámbito del Estado Constitucional de Derecho y el Estado Jurisprudencial de Derecho. *Observatorio Medioambiental*, 25, 65-90
- Sotelo Pérez, I. (2020). Disertación científica sobre sostenibilidad territorial y medio ambiente. *Observatorio medioambiental*, nº 23, págs. 9-20
- TECPA. (15 de 04 de 2023). Obtenido de <https://www.tecpa.es/tipos-de-centrales-termosolares/>
- Verde, E. (08 de junio de 2023). Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-huella-ecologica-y-como-se-calcula-1124.html#:~:text=El%20c%C3%A1lculo%20de%20la%20huella%20ecol%C3%B3gica%20es%20as%C3%AD%3A,divide%20por%20el%20total%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20seleccionada.>
- Victoria Sanz de Santos, J. A. (14 de 11 de 2019). LinkedIn. Recuperado el 17 de 04 de 2023, de <https://www.linkedin.com/pulse/contaminaci%C3%B3n-del-subsuelo-en-centrales-termosolares-ram%C3%ADrez-oro-zco/?originalSubdomain=es>
- Water Footprint Network. (07 de junio de 2023). Obtenido de <https://www.waterfootprint.org/>.