

Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas (APDTE 2018-2019)

ANEXO

ENERGÍA GEOTÉRMICA



Marzo 2022

CONTEXTO Y METODOLOGIA

Este segundo **Análisis del Potencial de Desarrollo de las Tecnologías Energéticas, APDTE 2018-19** (semejante al primero, desarrollado en 2014-15) coincide en el tiempo con el desarrollo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (**PNIEC**) y con el de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (**LCCyTE**), a cuya evolución ha estado atento, y está, además, alineado con los objetivos generales de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación.

El impulso a la I+D+i energética en ambos (Plan y Ley) habrá de potenciarse de manera decidida si el país apuesta por maximizar el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo socioeconómico que la ineludible transición energética demanda.

La premisa en la que se basa la actividad de ALINNE (Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas) es que **la investigación y la innovación (I+i) estimulan la productividad y la competitividad del país**, son esenciales para mantener un modelo de crecimiento sostenible y permiten afrontar los desafíos asociados a la energía (transición energética, generación, uso e impacto medioambiental) sacando partido de nuestros recursos y fortalezas y creando oportunidades de desarrollo socioeconómico.

El APDTE 2018-2019 ha seguido una **metodología**, semejante a la del primer APDTE 2015, basada en la colaboración entre las Plataformas Tecnológicas Españolas de ámbito Energético (PTEs), ALINNE y un Grupo de Evaluación (GEVAL, formado por unos 45 expertos) y se ha **desarrollado en varias fases**: 1) aportación de datos sobre 15 indicadores de evaluación propuestos; 2) presentación de la situación y perspectivas por parte de las PTEs; 3) valoración de la situación y tendencias por el GEVAL mediante votaciones, siguiendo el método de subjetividad compartida; 4) la redacción de un anexo (como el que aquí se presenta), a partir de toda la información recabada, para cada área tecnológica y 5) redacción de un resumen ejecutivo del APDTE 2018-19 con la síntesis de resultados del conjunto de las 13 áreas tecnológicas analizadas.

En este documento se resume el trabajo conjunto de la **Plataforma Tecnológica de Energía Geotérmica (GEOPLAT)** y el Comité de Estrategia de ALINNE, en el contexto del ejercicio APTE 2018-2019 de análisis del potencial de desarrollo de las tecnologías energéticas.

En la Sección 1, de Introducción, se resume la situación global, europea y española de los dos sectores de la **Energía Geotérmica** que se analizan:

- **Geotermia para generación Térmica**
- **Geotermia para generación Eléctrica**

Se resumen también en esta introducción las potencialidades, los argumentos básicos para apoyar el desarrollo tecnológico en España de estas áreas tecnológicas y los tipos de apoyo que reivindica el sector de la Energía Geotérmica para jugar un papel de desarrollo socioeconómico significativo en la transición energética.

En la sección 2 se resumen los datos de indicadores solicitados al sector para evaluar la situación y potencialidad de contribución al desarrollo socioeconómico de la Energía Geotérmica así como datos de capacidades y apoyos a la I+D+i relacionados con estas áreas tecnológicas.

En la sección 3 se revisan los retos de I+D+i y se recogen algunas propuestas sobre iniciativas Tecnológicas prioritarias identificadas por el sector a través de la plataforma tecnológica **GEOPLAT**.

Finalmente, en la sección 4, se resume la discusión sobre los datos aportados por dicha plataforma realizada por el Grupo de Evaluación de ALINNE (GEVAL), en la reunión conjunta mantenida el 29 de mayo de 2018 con dicha plataforma. En esta sección se resume también la opinión manifestada por el GEVAL en el ejercicio de subjetividad compartida, realizado a través de 40 preguntas respondidas (mediante votación presencial) por los miembros del grupo.

BORRADOR

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1.1. Geotermia para Generación Térmica.....	8
1.1.2. Geotermia para Generación Eléctrica	10
1.2. Situación Global de la Energía Geotérmica	11
1.2.1. Geotermia para generación térmica.....	12
1.2.2. Geotermia para generación eléctrica:	15
1.3. Situación y Perspectivas de la Geotermia en la UE	16
1.3.1. Geotermia para usos térmicos:.....	16
1.3.2. Geotermia para generación eléctrica.....	18
1.4. Situación y Perspectivas de la Energía Geotérmica en España	19
1.4.1. Geotermia para generación térmica.....	20
1.4.2. Geotermia para generación eléctrica.....	21
1.5. Argumentos Básicos para Apoyar el Despliegue de la Energía Geotérmica	22
1.6. Potencialidades de la Energía Geotérmica frente a la Transición Energética	24
1.7. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Geotérmica	25
2. PERSPECTIVAS SOCIO-ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA	26
2.1. Economía y Empleo	26
2.1.1. Contribución al PIB del sector de la Energía Geotermia en España.....	26
2.1.2. Creación de empleo.....	28
2.1.3. Costes de las tecnologías de Energía Geotérmica	29
2.1.4. Contabilidad de las externalidades de la Energía Geotérmica.....	32
2.1.5. Posicionamiento Tecnológico	34
2.1.6. Valor anual esperado del Mercado Español	34
2.1.7. Valor anual esperado del Mercado Mundial	37
2.2. Grado de Madurez de la Energía Geotérmica	37
2.3. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación	38
2.3.1. Financiación obtenida por la tecnología	39
2.3.2. Patentes españolas en Energía Geotérmica	39
3. RETOS GLOBALES Y DE I+D+I EN ENERGÍA GEOTÉRMICA	40
3.1. Retos de I+D+i en Tecnologías de Energía Geotérmica	40
3.1.1. Agendas Estratégicas de I+D+i.....	41

3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por GEOPLAT ...	47
3.2.1. ITP: Climatización con intercambio geotérmico - Mejor Técnica Disponible (MTD) para la generación de calefacción, refrigeración y ACS en todo tipo de edificios: residencial, terciario e industrial.	47
4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL.....	49
5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES	54
5.1. Contribuciones y Expertos Participantes	54
5.2. Agradecimientos	54
5.3. Referencias Bibliográficas	55
5.4. Abreviaturas.....	55
5.5. Apéndices.....	57

BORRADOR

1. INTRODUCCIÓN

La energía geotérmica es la energía almacenada en forma de calor debajo de la superficie de la tierra. Esta energía se puede encontrar a diferentes temperaturas en el suelo¹ y en las aguas subterráneas, según la geología y la profundidad locales. En algunos lugares, el calor geotérmico es poco profundo o de fácil acceso y se puede utilizar directamente (por ejemplo en emplazamientos hidrotermales o en áreas de vulcanismo activo).

Entre las principales aplicaciones de la geotermia están la producción de calor y de electricidad e, incluso, la utilización del subsuelo como almacenamiento de calor y frío (a nivel diario o estacional).

En el aprovechamiento de la energía geotérmica **para calefacción y refrigeración**, se distinguen **cuatro** tipos principales de recursos:

- Recursos geotérmicos de **muy baja temperatura**, en el rango de la temperatura media anual del aire en el sitio, (**hasta aproximadamente 30 °C**) se basa en las aguas subterráneas relativamente estables y las temperaturas del suelo a poca profundidad (el límite se establece típicamente en unos 400 m). Normalmente, las bombas de calor se utilizan para extraer energía del suelo y elevar la temperatura hasta el nivel requerido por los sistemas de calefacción. Suele utilizarse como sumidero (en verano) y como fuente de calor (en invierno) para climatización y ACS en edificios, viviendas e industrias^{2,3}.
- Recursos geotérmicos de **baja temperatura (entre 30° y 100°C)**, que extrae el calor del suelo y de las aguas subterráneas a mayor temperatura y, por lo general, a mayor profundidad (entre 1500 y 2500 m en zonas de gradiente geotérmico normal o a profundidades inferiores en zonas con un gradiente geotérmico elevado). La utilización de este recurso se centra en usos térmicos en sistemas de calefacción/climatización y ACS en entornos urbanos y en diferentes procesos industriales. El aprovechamiento de este recurso geotérmico suele requerir intercambiadores y la utilización de bombas de calor

¹ Al profundizar unos pocos metros bajo el suelo la oscilación térmica estacional se va amortiguando rápidamente y la temperatura media anual se aproxima a la temperatura media anual del aire en el lugar. Si seguimos profundizando, la fuente de calor del interior de la tierra se hace dominante y la temperatura crece con la profundidad a un promedio (sobre el conjunto de la corteza terrestre) de unos 25-30°C por cada kilómetro. Los valores usuales de este gradiente se encuentran entre 10 y 66°C/km y sin embargo, se han medido gradientes de hasta 200 °C/km.

² La corteza terrestre es un inmenso almacenamiento de energía a muy baja temperatura (< 30°C). y con una enorme inercia térmica desde pocos metros de profundidad. Se trata de un recurso energético que está distribuido por todo el planeta y que puede ser utilizado de forma directa o más habitualmente a través de un circuito de intercambio subterráneo y una bomba de calor conectada a el y con ello mejora sus prestaciones en climatización y ACS.

³ El suelo también puede utilizarse para almacenamiento de calor o frío, utilizando tecnologías de Almacenamiento de Energía Térmica Subterránea (UTES), para su uso en calefacción y refrigeración combinadas en edificios

- Recurso geotérmicos de **media temperatura (entre 100°C y 150°C)**, utilizable para generación de electricidad (con menor eficiencia) y para **uso térmico directo** en el sector industrial y en calefacción en sistemas urbanos. Las fuentes de calor a estas temperaturas pueden hallarse en zonas con un gradiente térmico elevado y en cuencas sedimentarias en profundidades entre 1500 y 4000 m.
- Recursos geotérmicos de **alta temperatura (superior a 150°C)**, que se utiliza principalmente para la generación de electricidad⁴. Las fuentes de este nivel térmico se encuentran a profundidades muy variables, siendo frecuentes entre 1.500 y 3.000 metros y el calor suele extraerse en forma de vapor seco (raramente) o por una mezcla de agua y vapor.

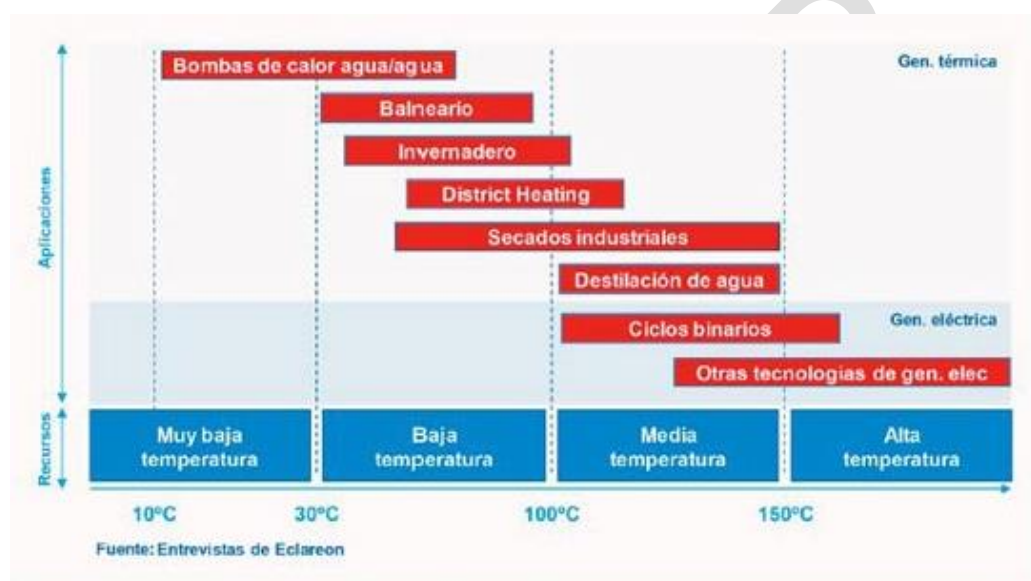


Figura 1. Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura (Fuente: Eclareon-GEOPLAT)

En cuanto al lado de la aplicación, se puede hacer una distinción entre los sistemas que usan directamente el calor geotérmico y los que necesitan energía y/o dispositivos adicionales (tales como bombas de calor geotérmicas, etc.)

- Las tecnologías de **uso directo de la geotermia** incluyen: calefacción urbana, bombas de calor geotérmicas, agricultura e invernaderos (horticultura, acuicultura, secado y procesamiento de cultivos), balneología, calor en procesos industriales y pueden suministrar energía a plantas de cogeneración de calor y electricidad (CHP). y accionar bombas de calor de refrigeración por absorción proporcionando así frío a una red de calefacción/refrigeración. Estas tecnologías de uso directo se utilizan ampliamente y pueden considerarse maduras.

⁴ No obstante, el calor residual de las aplicaciones de generación eléctrica aún puede proporcionar energía para la calefacción, y algunos procesos industriales de alta temperatura podrían recibir directamente el calor de este tipo de recurso.

- Las **tecnologías para la generación de electricidad** a partir de reservorios hidrotermales con permeabilidad naturalmente alta también están maduras, son fiables, y hay ejemplos de su operación desde 1913. Otras tecnologías de geotermia para generación de electricidad (como los sistemas geotérmicos profundos estimulados) tienen distintos grados de madurez.

1.1.1. Geotermia para Generación Térmica

Actualmente, el calor geotérmico se usa principalmente para bañarse, nadar y calentar espacios, pero también es significativo en algunos países su uso en la agricultura, especialmente para calentar invernaderos.

Las aplicaciones geotérmicas **superficiales** se suelen dirigir a la generación térmica (calor y frío) y se basan generalmente en sistemas de **bomba de calor** ya sean de fuente terrestre (GSHP⁵) o bombas de calor de agua subterránea (GWHP). El principal interés de estas tecnologías (de bomba de calor geotérmica, BCGT) radica en su extrema flexibilidad y a su mayor eficiencia que las Bombas de Calor de Fuente de Aire (ASHP) gracias a la inercia térmica del suelo, cuya temperatura es más constante que la temperatura del aire a lo largo del año y/o a la conveniente temperatura del suelo.

Las BCGT se pueden utilizar en cualquier lugar, independientemente de las condiciones del suelo, permite la producción de calor y frío con una eficiencia sin igual y se puede combinar o hibridar con cualquier fuente de calor disponible, desde calor ambiental hasta solar.

La etiqueta "**geotermia profunda**" se ha aplicado tradicionalmente al calentamiento y enfriamiento geotérmico (a temperaturas/entalpías bajas y medias) producido al extraer el calor del suelo y del agua subterránea a profundidades de entre 500 m y 5000 m y temperaturas entre 25°C y 150 °C, respectivamente.

Otra característica atractiva de las bombas de calor geotérmicas es su total compatibilidad con la tendencia actual de combinar el calor y la refrigeración con la red eléctrica ("integración inteligente del sector con los sectores de electricidad, transporte y H&C"), ya que la fuente de energía primaria de las bombas de calor es la electricidad.

Los sistemas de almacenamiento de energía en el suelo (UTES) son otra forma de aprovechar las condiciones subterráneas, en este caso para almacenar energía estacionalmente. Las plantas GSHP a gran escala suelen utilizar intercambiadores de calor de pozo (BHE) o acuíferos para almacenar energía.

⁵ Las GSHP son más eficientes que las Bombas de Calor de Fuente de Aire (ASHP) gracias a la inercia térmica del suelo, cuya temperatura es más constante que la temperatura del aire a lo largo del año.

Se han desarrollado diversas tecnologías para aprovechar el calor del subsuelo en función de la accesibilidad al recurso geotérmico. Todas ellas se pueden clasificar en dos tipologías principales: los circuitos abiertos, donde se capta agua de un acuífero para su aprovechamiento; y los circuitos cerrados, en los que se instala un intercambiador en el terreno para el aprovechamiento energético. La siguiente figura recoge estas tipologías de intercambiadores y algunos de los principales subtipos, [4]. :

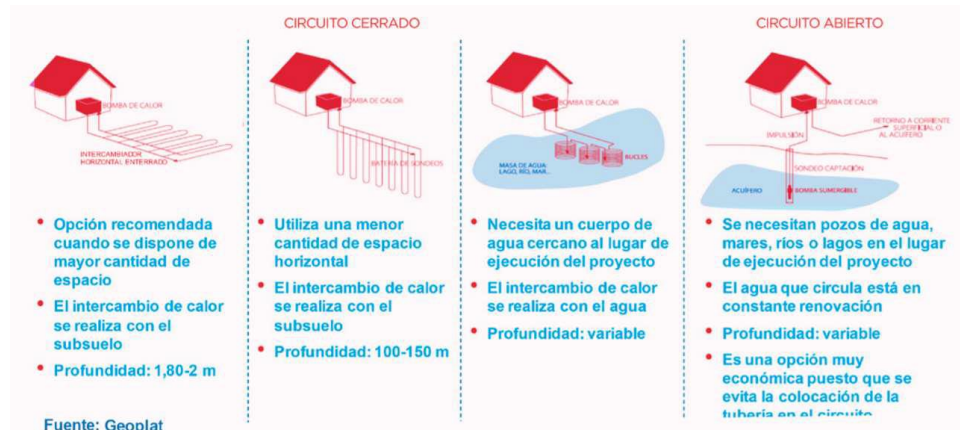


Figura 2 Tipos de intercambiadores geotérmicos mas comunes (Fuente: GEOPLAT)

Uno de los sistemas de intercambiador más utilizado históricamente en España es el de circuito cerrado vertical, **con perforaciones a una profundidad entre 50 y 150m.**

No obstante, en algunos casos es posible aprovechar directamente el calor del recurso sin pasar por una bomba de calor asociada a un intercambiador geotérmico. A esto se le conoce como geotermia para usos directos y se utiliza tradicionalmente en balnearios, invernaderos y piscifactorías.

1.1.1.1. ALMACENAMIENTO SUBTERRÁNEO DE ENERGÍA TÉRMICA, ASET

Un desafío clave para el sector de la calefacción y la refrigeración se relaciona con la compensación estacional entre la demanda y el suministro de energía térmica. El almacenamiento subterráneo de energía térmica es una opción atractiva para hacer frente a esta compensación.

Los ASET a 40-90°C en particular pueden suministrar calor directamente para necesidades industriales de baja temperatura, como procesos por lotes o industrias estacionales (por ejemplo, refinerías de azúcar), donde los períodos de demanda de calor (y/o frío) son seguidos por fases de inactividad.

Estos sistemas de almacenamiento térmico en suelo muestran altas eficiencias para el almacenamiento de energía a largo plazo y altas capacidades de almacenamiento. Los ASET se pueden subdividir en sistemas de circuito abierto o de circuito cerrado. En los sistemas de circuito abierto, también conocidos como almacenamiento de energía térmica en acuíferos, el calor y el frío se almacenan temporalmente en el subsuelo mediante la inyección y extracción de agua subterránea.

Así, el requisito clave para ASET es la existencia de un acuífero. La gran mayoría de los sistemas ASET utilizan acuíferos no consolidados como medio de almacenamiento. Los sistemas más profundos suelen utilizar areniscas o rocas muy fracturadas. La idoneidad del subsuelo depende de varias características hidrogeológicas, como el espesor del acuífero, la conductividad hidráulica o la velocidad del flujo del agua subterránea.

Los sistemas ASET son especialmente adecuados para aplicaciones de calefacción y refrigeración a gran escala, como en edificios públicos y comerciales, calefacción urbana o en instalaciones o procesos industriales.

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica de pozo de circuito cerrado utilizan lecho rocoso subterráneo y, por lo tanto, no se limita a ubicaciones con acuíferos debajo. Este tipo de sistema utiliza intercambiadores de calor de pozo para hacer circular la energía térmica en un medio líquido y luego descargarla dentro o fuera del lecho rocoso.

1.1.2. Geotermia para Generación Eléctrica

La generación de electricidad a partir de la energía geotérmica puede hacerse mediante diferentes tecnologías:

- Sistema geotérmicos convencionales (habitualmente asociados a sistemas hidrotermales en áreas de vulcanismo activo)
- Acuíferos calientes asociados a cuencas sedimentarias profundas (HSA – Hot Sedimentary Aquifer)
- Sistemas geotérmicos estimulados (EGS – Enhanced Geothermal Systems)⁶ en zonas de roca caliente seca.

Existen tres tipos principales de plantas geotérmicas para generación eléctrica y cogeneración en función de las características y naturaleza del fluido geotermal disponible, así como de su profundidad. Algunas de estas tecnologías pueden combinarse entre sí para aumentar el rendimiento del recurso geotérmico que se aprovecha en cada caso:

1. **Plantas de vapor seco:** Cuando el recurso es un vapor seco de gran pureza este puede ser utilizado para turbinarlo en **plantas de vapor directo seco** con unos costes de producción bajos.

⁶ Dado que muchos lugares del mundo no son ricos en fuentes hidrotermales, pero aún tienen un gran potencial sin explotar de calor geotérmico, existe la necesidad de desarrollar tecnologías de sistemas geotérmicos estimulados (EGS) para aprovechar estos recursos a gran escala.

En lo que llevamos de siglo XXI, el máximo interés se sitúa en los yacimientos geotérmicos profundos, con escasa o incluso nula permeabilidad, pero que pueden ser aprovechados para la producción de electricidad tras la estimulación del yacimiento. La búsqueda de este tipo de yacimientos y su investigación requieren una fuerte dotación económica ya que precisa tecnologías altamente sofisticadas y de elevado riesgo.

La implementación de EGS a gran escala no será posible antes de que se reduzcan los altos costos iniciales, como la evaluación de perforación y recursos y el riesgo elevado. Hasta ahora, la tecnología EGS solo se ha demostrado con éxito en un puñado de ubicaciones. Muchos países están desarrollando actualmente tecnologías novedosas para tratar de reducir los costos de inversión en EGS.

2. **Plantas Flash:** El caso más común en yacimientos de alta temperatura es encontrar una mezcla de vapor y salmuera, por lo que primero hay que separar el vapor del líquido y posteriormente turbinarlo (**plantas flash**). El líquido resultante puede ser reutilizado haciéndolo pasar por separadores a cada vez a menor presión
3. **Plantas de Ciclo Estimulado Binario:** En yacimientos de media temperatura y vapor con impurezas de salmuera se usan plantas de ciclo binario², ofreciendo temperaturas inferiores a 150°C. En ves de utilizar directamente el fluido del yacimiento este se hace pasar por un intercambiador en cuyo circuito secundario se utiliza un fluido con un punto de ebullición bajo y alta presión de vapor a bajas temperaturas. Las turbinas binarias pueden ser de tipo Kalina o de tipo Orgánico Rankine (ORC)

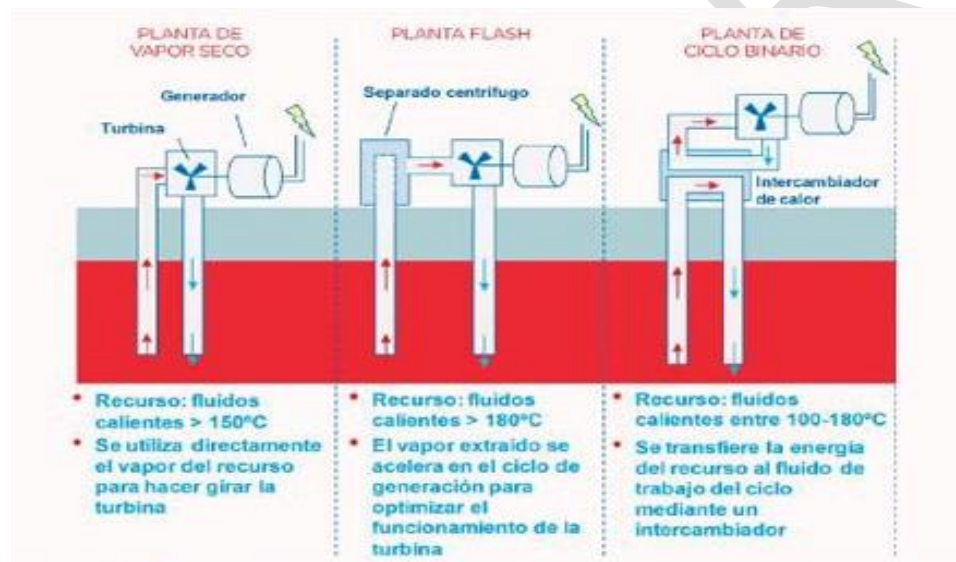


Figura 3. Esquema principales tecnologías para generación eléctrica con geotermia (Fuente: U.S. Department of Energy-GEOPLAT)

Muchas de las centrales eléctricas en operación hoy en día son plantas de vapor seco o plantas flash (simple, doble y triple) que aprovechan temperaturas de más de 180°C. Sin embargo, los yacimientos de temperatura media se utilizan cada vez más para la generación de electricidad o para la combinación de calor y electricidad gracias al desarrollo de la tecnología de ciclo binario, en la que se utiliza fluido geotérmico a través de intercambiadores de calor para calentar un fluido de proceso en un circuito cerrado. Además, se están desarrollando nuevas tecnologías como Enhanced Geothermal Systems o sistemas geotérmicos estimulados (EGS) que se encuentran en etapa de demostración.

1.2. Situación Global de la Energía Geotérmica

El mercado mundial de la energía geotérmica ha sido tradicionalmente mayoritario para usos térmicos y especialmente (más del doble) en usos de intercambio geotérmico a muy baja temperatura.

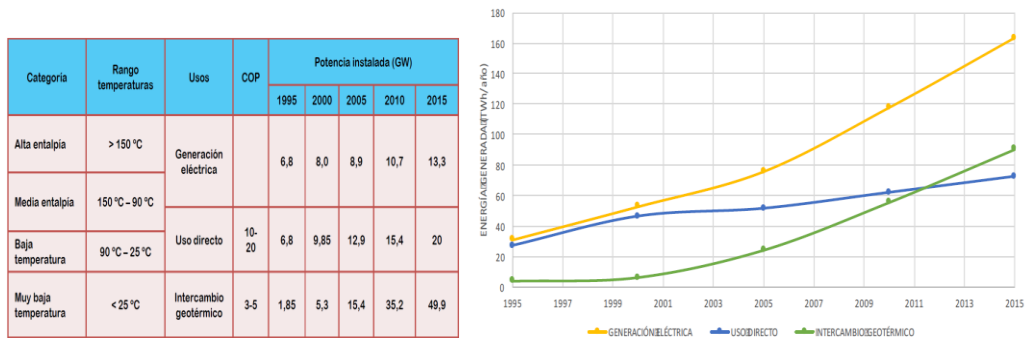


Figura 4. Evolución de la energía Geotérmica Mundial en el periodo 1995-2015 (Izq. Potencia instalada por tecnologías asociadas al rango de temperaturas; Dcha: Energía generada. Fuente: GEOPLAT)

La evolución de la potencia acumulado entre 1995 y 2015 muestra (Figura 4, Izq.) un incremento muy fuerte de los sistemas de intercambio geotérmico a partir del 2005, con un incremento mucho mayor que la evolución de la generación eléctrica y que el uso directo de la geotermia.

En cambio respecto a la energía generada con geotermia se puede ver (Figura 4, Dcha) que es sensiblemente mayor la generada por las plantas eléctricas de geotermia, debido a su uso continuado a régimen óptimo y continuado, lo que facilita un mayor aprovechamiento del recurso.

1.2.1. Geotermia para generación térmica

Los usos directos más populares del calor geotérmico a nivel mundial son el baño y la natación (alrededor del 45 %), la calefacción urbana y de espacios (alrededor del 37 %) y la calefacción de invernaderos (9 %). Otros usos directos, como el secado agrícola o la calefacción de estanques, son menos significativos.

La estimación, [5]. de la potencia térmica instalada para aprovechamiento directo de geotermia al cierre de 2019 es de 107,7 GW_t (un 52,0% superior a los datos de 2015, creciendo a una tasa compuesta del 8,7% anual). El uso total anual de energía es de 1.020.887 TJ (283.580 GWh), lo que indica un aumento del 72,3 % con respecto a 2015. El factor de capacidad mundial es 0,300 (equivalente a 2628 horas de funcionamiento a plena carga por año).

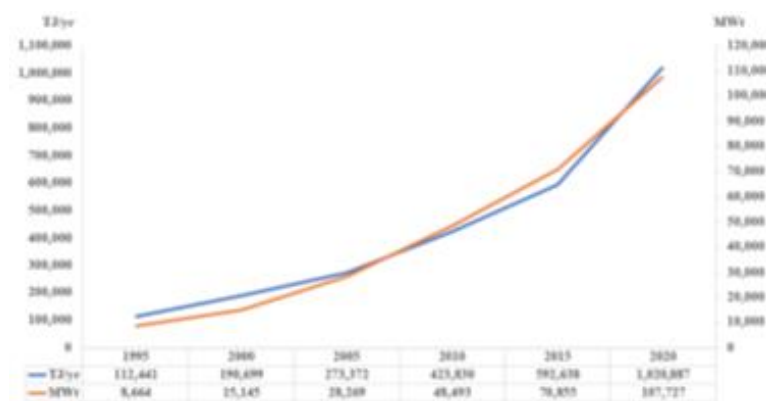


Figura 5. Evolución de la capacidad geotérmica global de uso directo instalada y la utilización anual en el período 1995-2020 (Fuente: Lund and Toth, [5]).

La creciente conciencia y popularidad de las bombas de calor geotérmicas (de fuente terrestre, temperaturas acopladas al suelo o que utilizan agua subterránea) han tenido un impacto significativo en el crecimiento del uso directo de la energía geotérmica. Los cinco países líderes en bombas de calor geotérmicas en términos de capacidad instalada (MWt) y uso anual de energía (TJ/año) eran (2019): China, EE. UU., Suecia, Alemania y Finlandia.

La distribución de la geotermia para generación térmica utilizada por categoría de uso es de aproximadamente 58,8 % para bombas de calor geotérmicas (de fuente terrestre), 18,0 % para baños y natación (incluida la balneología), 16,0 % para calefacción de espacios (de los cuales el 91,0 % es para calefacción urbana), 3,5 % para calentamiento de invernaderos, 1,6 % para aplicaciones industriales, 1,3 % para estanques de acuicultura y calentamiento de canales, 0,4 % para secado agrícola, 0,2 % para derretimiento y enfriamiento de nieve, y 0,2 % para otras aplicaciones, [5]. .

- Bombas de calor geotérmicas:

Las bombas de calor geotérmicas (fuente terrestre) tienen el mayor uso geotérmico en todo el mundo, lo que representa el 71,6 % de la capacidad instalada y el 59,2 % del uso anual de energía. La capacidad instalada de bombas de calor geotérmicas (fuente terrestre) es (a finales de 2019) 77.547 MWt y el uso de energía es de 599.981 TJ/año, con un factor de capacidad de 0,245 en el modo calefacción. Aunque la mayoría de las instalaciones ocurren en América del Norte, Europa y China, el número de países con instalaciones aumentó de 26 en 2000, a 33 en 2005, a 43 en 2010, a 48 en 2015 y a 54 en 2020.

- Calefacción en edificios⁷

Para calefacción de edificios con geotermia en 2019, a nivel global, se disponía de una capacidad instalada de 12.768 MWt y el uso anual de energía es de 162.979 TJ/año. De esta capacidad, el 91 % corresponde a calefacción urbana (en 29 países) y el resto a calefacción de espacios individuales. Los líderes en calefacción urbana en términos de capacidad y uso anual de energía son China, Islandia, Turquía, Francia y Alemania, mientras que en el sector de calefacción de espacios individuales en capacidad instalada (MWt) los líderes son Turquía, Rusia, Japón, Estados Unidos, y Hungría, [5].

- Calefacción de invernaderos y espacios cubiertos no residenciales

El uso mundial de energía geotérmica para invernaderos y calefacción de espacios cubiertos no residenciales abarcaba (finales de 2019) una capacidad instalada de 2.459 MWt y 35.826 TJ/año de uso de energía. Siendo Turquía, China, Países Bajos, Rusia y Hungría los principales países en este uso de la geotermia.

⁷ La refrigeración de espacios (aire acondicionado) se utiliza en siete países, siendo Bulgaria el líder seguido por Brasil, Australia, Eslovenia, Argelia, Albania e India con un total de 19,9 MWt y 200,1 TJ/año. Las bombas de calor en el modo de refrigeración no están incluidas, ya que solo devuelven calor al subsuelo y, por lo tanto, no utilizan energía geotérmica. El total para ambos usos es: 434,9 MWt y 2.589,1 TJ/año, [5].

En total, unas 1330 hectáreas de invernaderos se calientan con energía geotérmica. Turquía, Rusia, Hungría, China y los Países Bajos son los que más utilizan la geotermia para invernaderos. En Turquía, la agricultura representa el 30 % del uso geotérmico directo. La acuicultura es un mercado en crecimiento y la capacidad aumentó un 6,7 % en los últimos cinco años.

Respecto al uso directo de la energía geotérmica sin bomba de calor se observa que el sector con más potencia instalada es para uso en baños y piscinas con un 45% seguido de la calefacción de recintos con el 37 %.

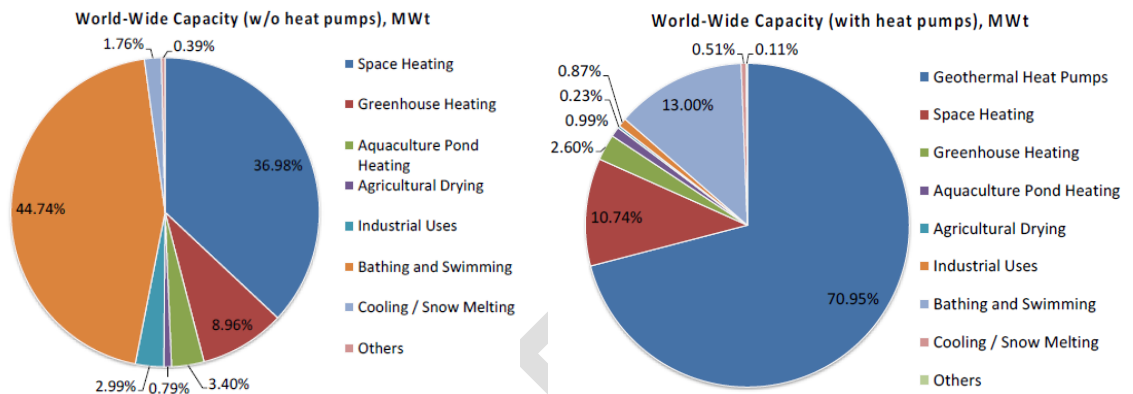


Figura 6 Uso directo de energía geotérmica. Potencia Instalada en el mundo. (Fuente: Lund 2015, Bertani 2015. World Geothermal Congress - GEOPLAT. APTE 2018)

Analizando la evolución mundial energía total generada con geotermia de media, baja y muy baja temperatura, vemos que a partir de 2005 existe una fuerte tendencia de mayor crecimiento en el uso de bomba de calor, adquiriendo ésta cada vez mayor peso en el total del sector.

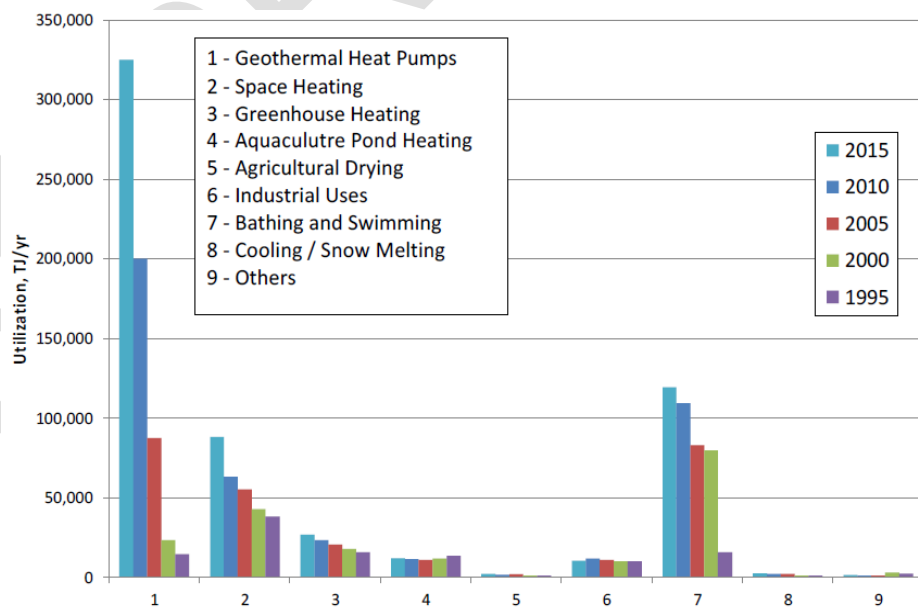


Figura 7. Evolución mundial energía generada con geotermia de media, baja y muy baja Temperatura (Fuente: GEOPLAT. APTE 2018-2019)

- Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica

En todo el mundo, hay más de 2800 sistemas ASET en funcionamiento, que proporcionan 2,5 TWh de calefacción y refrigeración al año. La mayoría son sistemas de baja temperatura, con temperaturas de almacenamiento de <25°C. La mayoría (85 %) se encuentran en los Países Bajos, Suecia, Dinamarca y Bélgica. El interés en la tecnología está creciendo en el Reino Unido, Alemania, Japón, Turquía y China. El lento desarrollo del mercado se debe a barreras socioeconómicas y legislativas , [10].

1.2.2. Geotermia para generación eléctrica:

La capacidad instalada de electricidad geotérmica ha seguido creciendo a lo largo de los años, aunque a un ritmo modesto.

En 2016, la generación de energía geotérmica global se situó en un estimado de 84 TWh repartidos en 24 países (con alrededor de 12,7 GW_e de capacidad operativa).

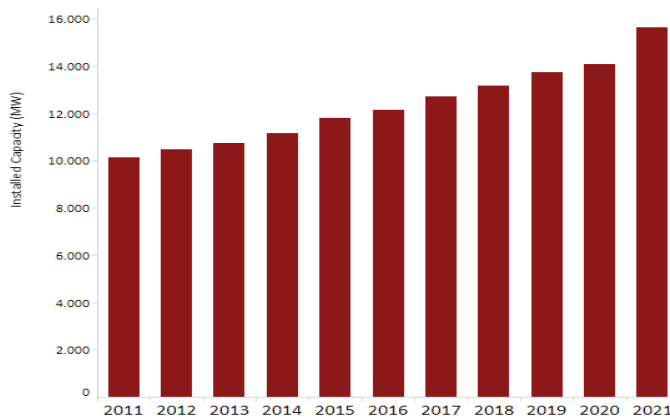


Figura 8 Evolución de la capacidad instalada de generación eléctrica con geotermia en el mundo, en MWe (Fuente: IRENA)

A nivel mundial, el desarrollo energético se concentra en diez países, que representan el 93 % de los proyectos instalados. Los principales países incluyen Estados Unidos, Filipinas, Indonesia, Turquía, México, Nueva Zelanda e Italia.

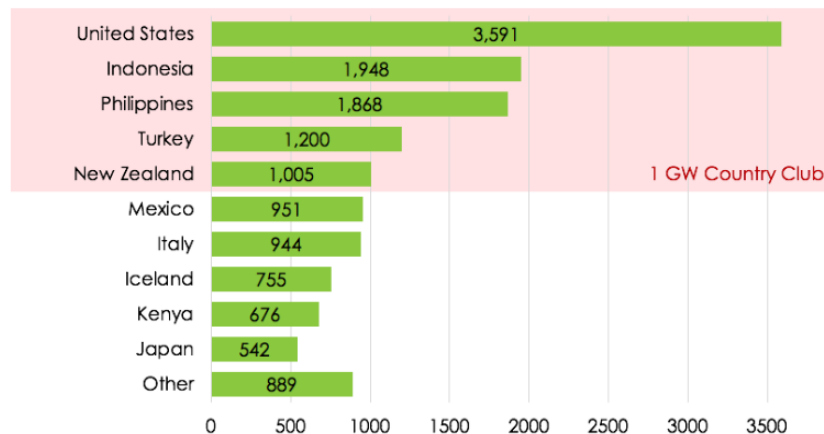


Figura 9. 10 Países con mayor capacidad instalada de geotermia para producción de electricidad (Fuente: Thinkgeoenergy, Oct 2018).

En 2021 la capacidad de energía geotérmica en todo el mundo asciende a 15,4 gigavatios (GW), de los cuales el 23,9 % (3,68 GW) están instalados en los Estados Unidos.

1.3. Situación y Perspectivas de la Geotermia en la UE

Actualmente, la energía geotérmica tiene una capacidad instalada de unos 24,3 GWth para calefacción y refrigeración en la Unión Europea. La situación de la energía geotérmica en Europa difiere al revisar la situación por usos (electricidad/térmica).

1.3.1. Geotermia para usos térmicos:

La energía geotérmica se utiliza para agua caliente sanitaria (ACS) y calefacción y refrigeración de edificios individuales, colectivos, públicos y terciarios, incluidos proyectos pequeños (5-30 kW, principalmente residenciales), medianos (30-500 kW, principalmente comerciales) y grandes (> 500 kW), así como para calefacción urbana en redes térmicas (inteligentes). [13].

Respecto a la geotermia para usos térmicos (en 2017) hay un importante número de instalaciones de climatización de distrito dentro de Europa, contabilizando 280 plantas en operación, 164 en desarrollo o en fase de investigación, mientras que en la Unión Europea se podían encontrar 190 plantas en operación y 136 en desarrollo o en investigación. Estos sistemas suman una potencia total de 4.8 GW en Europa de los cuales 1.7GW se encuentran en la U.E.

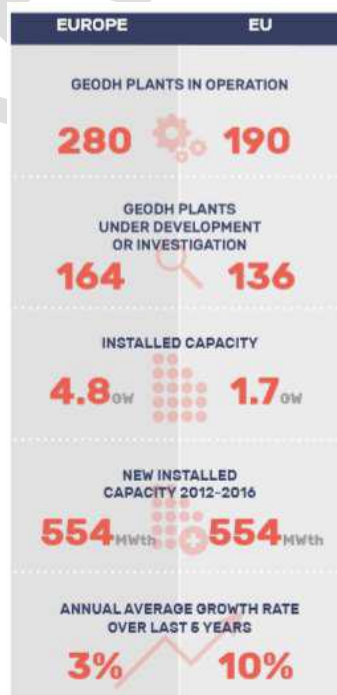


Figura 10. Climatización de distrito en Europa. (Fuente GEOPLAT. APTE 2018 / EGEC)

Las bombas de calor geotérmicas están creciendo continuamente en la UE a una tasa promedio del 3% en los últimos 20 años y ahora se pueden encontrar en todas partes de Europa.

En un análisis por países se ve que destacan notablemente Islandia y Turquía.

FIG. 8 - GEODH / INSTALLED CAPACITY BY COUNTRY IN 2016 (Mwth)

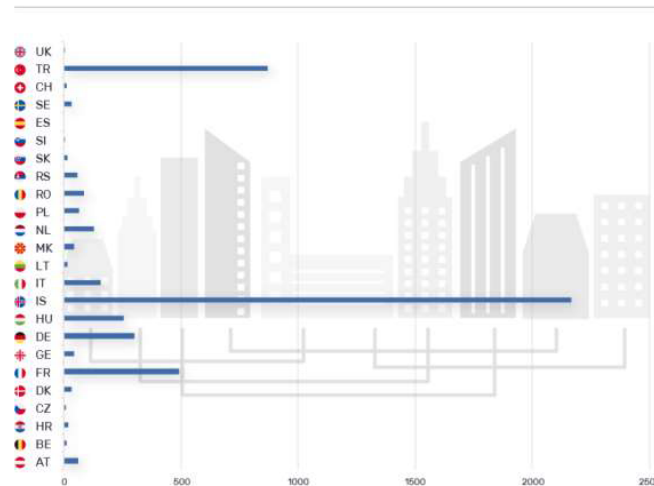


Figura 11. Climatización de distrito en Europa por países. (Fuente GEOPLAT. APTE 2018 / EGEC)

Considerando la Directiva 2010/31/UE sobre edificios de consumo de energía casi nulo se prevé que el uso de la geotermia en sistemas de climatización de distrito, tiene un nicho de crecimiento potencial.

También son una realidad los sistemas de intercambio geotérmico con bomba de calor, liderando (2015) Suecia, Alemania, Finlandia y Francia la capacidad instalada de estos sistemas.

GSHP / TOTAL INSTALLED CAPACITY OF GSHP IN 2015

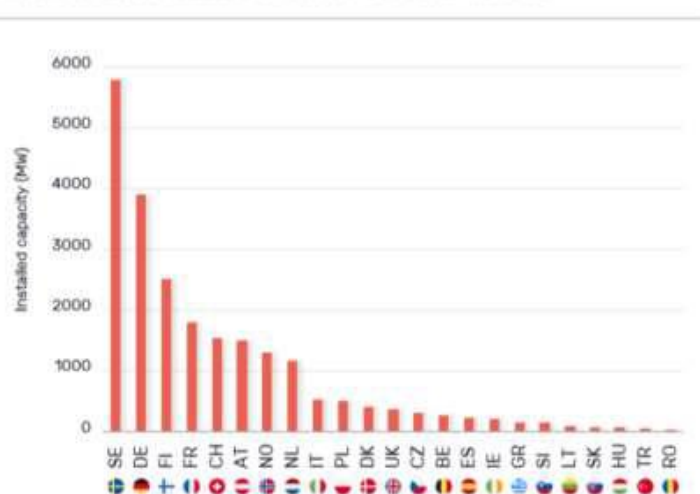


Figura 12. Intercambio geotérmico con bomba de calor en Europa. (Fuente GEOPLAT. APTE 2018 / EGEC)

Son sistemas técnicamente muy probados en los que se continúa avanzando en la curva de aprendizaje, mejorando la eficiencia energética y las capacidades.

1.3.2. Geotermia para generación eléctrica

Hasta la fecha, la mayor parte de la energía geotérmica para producción e electricidad en la UE todavía se basa en recursos hidrotermales.

En los últimos años está habiendo un incremento en el número de plantas geotérmicas para generación eléctrica en Europa⁸, pasando de 1706 MWe en 2011 a 2518 MWe en 2016. Para poner este valor en perspectiva, se observa que el potencial económico de la energía geotérmica en la UE se estima en 522 GWel en 2050, [7]. .

En 2016 existían en Europa 102 plantas en operación, 26 en desarrollo y 160 en fase de investigación, mientras que en la Unión Europea se podían encontrar 53 plantas en operación, 14 en desarrollo y 170 en investigación.

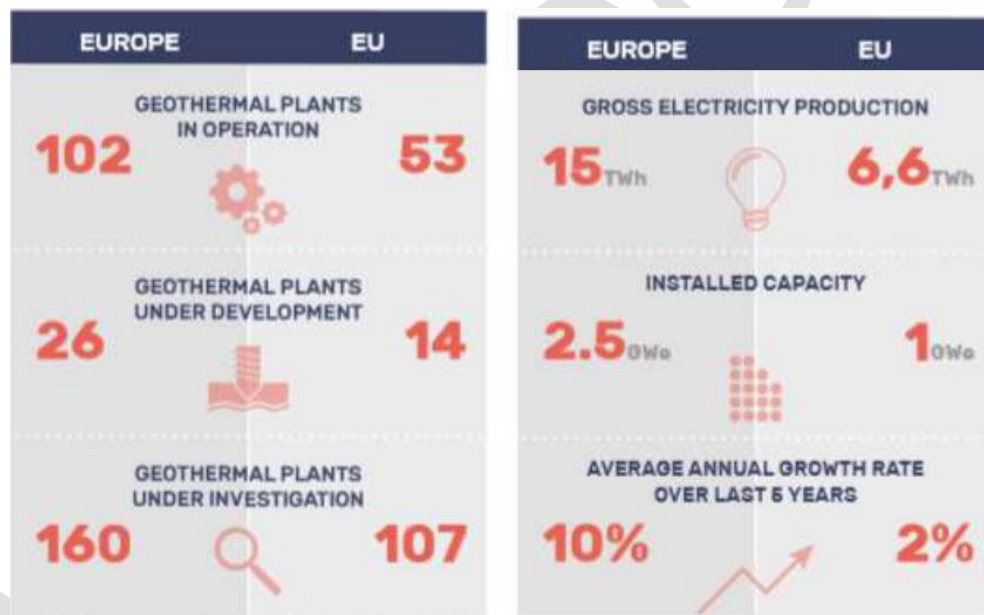


Figura 13. Plantas geotérmicas de generación eléctrica en Europa. (Fuente GEOPLAT. APTE 2018 / EGEC)

A finales de 2020 Europa contaba con unas 130 plantas de energía geotérmica (para producción de electricidad), un aumento de un 5% con respecto a 2019. Se espera que en 2024 se triplique el número total de plantas entre las existentes en operación, desarrollo e investigación.

⁸ GEOPLAT. APTE 2018 / EGEC Geothermal market report 2017

FIG. 4 - GEOTHERMAL POWER / NUMBER OF GEOTHERMAL POWER PLANTS IN EUROPE

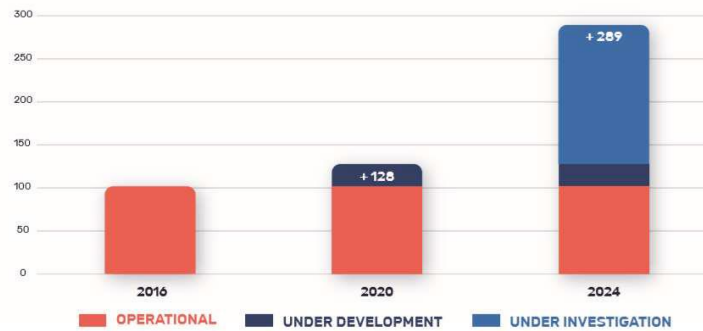


Figura 14. Evolución de las plantas de generación eléctrica en Europa. (Fuente GEOPLAT. APTE 2018 / EGEN)

Actualmente, solo 9 países europeos tienen plantas de energía geotérmica en operación, pero 20 más tienen proyectos en desarrollo, [7]. Durante los últimos cinco años, el gran mercado europeo ha tenido una tasa de crecimiento anual del 10 %, la mayor parte del cual se atribuye a las adiciones de capacidad en Turquía.

Solo existen cuatro plantas de generación eléctrica con geotermia estimulada, EGS, en la UE. Tres plantas EGS en acuífero sedimentario caliente (HSA) están en funcionamiento en Alemania y se han realizado grandes esfuerzos para reducir los costes de perforación y mitigar la sismicidad inducida.

Los sistemas geotérmicos estimulados están abriendo la puerta a que se desarrolle mucha más geotermia en Europa en lugares donde tradicionalmente no existía el recurso.

1.4. Situación y Perspectivas de la Energía Geotérmica en España

Según APPA (2021), [11]. “En 2020 la energía geotérmica en España ha continuado avanzando, fundamentalmente en sus usos térmicos, tanto a escala doméstica como a escala industrial, con instalaciones de producción de calor, frío y ACS mediante sistemas de geointercambio (bombas de calor asociadas a un intercambiador geotérmico en el subsuelo). Se estima que la capacidad instalada total está por encima de los 350 MWt y que el mercado sigue evolucionando, aunque el número exacto de instalaciones resulta difícil de precisar debido a su naturaleza. Regiones como Galicia, Cataluña, Madrid y País Vasco han demostrado estar en la vanguardia del mercado de la geotermia somera durante este año”.

1.4.1. Geotermia para generación térmica

En España **la aplicación térmica de la energía geotérmica** es una realidad que sigue desarrollándose. Se han utilizado durante muchos años los sistemas abiertos de intercambio con bomba de calor, y desde el año 2000 se está extendiendo de forma progresiva los sistemas cerrados, tanto para aplicaciones industriales como en edificación

Los sistemas abiertos con bombas de calor geotérmicas (GHP) se han utilizado ampliamente durante muchos años. Los sistemas cerrados comenzaron a plantearse en el año 2000, tanto en edificios como en industrias. A pesar del colapso financiero del sector de la construcción, la instalación de sistemas GHP mantuvo una tendencia creciente, aunque más lenta de lo deseable dadas las necesidades de capacidad y energía existentes.

Se ha intensificado la instalación de sistemas GHP en todo tipo de edificios, tanto en obra nueva como en rehabilitación.

Además, las administraciones públicas se están moviendo cada vez más hacia la instalación de sistemas GHP en edificios públicos, debido a la necesidad de hacer que los nuevos edificios públicos encajen en el concepto 'Edificios de energía casi nula (NZEB)', tal como lo promueve la Unión Europea. Esto también es favorable para la implantación de este tipo de sistemas geotérmicos en España.

La energía geotérmica para aplicaciones de calefacción y refrigeración en edificios debe jugar un papel importante en el marco de la futura Ley Española de Cambio Climático y Transición Energética, con el objetivo de contribuir al cumplimiento de los compromisos energéticos y de cambio climático de España.

La distribución de la capacidad geotérmica por usos, según datos de la actualización de país para el Congreso Mundial de Geotermia (World Geothermal Congress 2020, WGC2020) de (Arrizabalaga, et al. World Geothermal Council) para España son: 5,20 MWt y 133,6 TJ/año para calefacción de espacios individuales, 22,0 MWt y 165,4 TJ/año para calefacción de invernaderos, 3,80 MWt y 92,0 TJ/año para baño y natación, 513,0 MWt y 3.542,0 TJ/año para bombas de calor geotérmicas, dando un total para el país de 544,0 MWt y 3.933,0 TJ/año.

En el ejercicio APTE se ha previsto un crecimiento sostenido de la potencia térmica instalada en España, fundamentalmente derivada de la instalación de sistemas de intercambio geotérmico, desde unos 290 MWt en 2018 a 1.250 en 2030.

Según la Asociación de productores de Energías Renovables, APPA, [11]. el consumo final de geotermia⁹ para usos térmicos en España en 2019 fue de 19 ktep en 2019.

1.4.2. Geotermia para generación eléctrica

El territorio español cuenta con una estructura geológica propicia para la presencia en el subsuelo de recursos geotérmicos de alta entalpía. Distintos fenómenos y hechos geológicos así lo demuestran: abundantes manifestaciones termales, persistente actividad sísmica, volcanismo reciente y actual, etc. Más del 50% de la España peninsular está constituida por las grandes cuencas que constituyen un encuadre geológico adecuado para el desarrollo de sistemas geotérmicos asociados a sedimentos profundos. En diversas regiones de España se han medido temperaturas superiores a los 150-180°C sobre 3500 y 4500 metros de profundidad. También se han localizado zonas con potencialidad de recursos para la implantación de Sistemas geotérmicos estimulados como en en Cataluña, y Galicia.

Actualmente no existen ahora instalaciones geotérmicas de alta entalpía. En 2008-2009 hubo gran interés empresarial (principalmente utilities) en desarrollar proyectos de este tipo, presentándose hasta 50 permisos de exploración en España.

La moratoria renovable de 2012 y posteriormente la reforma del sector eléctrico, en la cual, al igual que el mecanismo de subastas que se ha puesto en marcha, provocan un estado de incertidumbre para geotermia al no conocerse la retribución a percibir por kWh. Además, los parámetros de la IT subastada son más adecuados para FV y eólica pero no responden a las necesidades de la energía geotérmica.

El Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) prevé una evolución de la generación de electricidad con geotermia de 15 MWe en 2025 y de 30 MWe en 2030.

En los escenarios para la estimación de la evolución del sector en el ejercicio APTE, GEOPLAT ha previsto (en 2018) una evolución conservadora de la potencia eléctrica instalada en España, suponiendo la instalación de 50 MW de 2026 a 2030.

“En marzo de 2020 arrancó la perforación del primer sondeo de explotación de la primera planta de geotermia profunda de España para climatizar los invernaderos de la industria agrícola de Níjar (Almería). El proyecto, que una vez sea completado tendrá una capacidad total de 8 MW de potencia, impulsará la utilización de la energía geotérmica en el sector de la agricultura en nuestro país, esto podría servir de ejemplo para futuras instalaciones” [11].

⁹ Debido a la naturaleza de estas instalaciones (geotérmicas de baja entalpía), es complejo realizar una cuantificación exacta del volumen del mercado nacional de climatización geotérmica. La energía geotérmica para climatización se ha mantenido estable a lo largo de los últimos años, avanzando tanto en instalaciones domésticas como industriales, con instalaciones de producción de calor, frío y ACS.

1.5. Argumentos Básicos para Apoyar el Despliegue de la Energía Geotérmica

Bajo nuestros pies, a unos pocos kilómetros de profundidad, hay una cantidad de energía suficiente como para satisfacer potencialmente las necesidades de toda la humanidad.

La geotermia es una fuente de energía renovable, que es local, gestionable y flexible. Posee un gran potencial para integrarse en redes inteligentes de energía, calefacción y refrigeración, reduciendo así los costes para la sociedad (incluidos los costes del sistema, como la infraestructura y las instalaciones de almacenamiento, así como las externalidades, como las emisiones de gases de efecto invernadero) y mejorando la seguridad local de suministro.

- La geotermia puede ser una fuente de energía clave tanto en ciudades inteligentes como en comunidades rurales inteligentes, además de suministrar energía para la industria, la movilidad, los servicios y los sectores agrícolas. Esto se debe a su capacidad para suministrar calefacción y refrigeración (H&C) y agua caliente, así como soluciones para redes térmicas y eléctricas inteligentes a través del almacenamiento subterráneo de energía térmica (UTES).
- La **energía geotérmica** comparte muchas de sus ventajas con la mayoría de las otras energías renovables: Permite reducir el uso de los **combustibles fósiles (y con ello** reducir las emisiones de CO₂), contribuye a la autosuficiencia energética y mejora de la balanza de pagos
- Las tecnologías de energía geotérmica se basan en un **recurso** energético que es generalmente **abundante, ubicuo y versátil**. Por ello es una tecnologías clave para los sistemas insulares.
- Además de ser prácticamente ilimitada, como muchas otras fuentes renovables, la energía geotérmica tiene la característica de estar **siempre disponible**. (No depende de las variaciones diarias ni estacionales y su generación de calor o electricidad es fácil de prever y programar). Por tanto las centrales de geotermia tienen factores de capacidad muy altos; y son capaces de suministrar electricidad de carga base, así como proporcionar servicios auxiliares para flexibilidad a corto y largo plazo en algunos casos.
- La geotermia no requiere grandes espacios Tanto si se trata de una instalación doméstica o de una central a gran escala, la mayoría de los componentes (incluidos los intercambiadores de calor) se encuentran **bajo tierra**, y solo muy pocos están en superficie.
- La geotermia promueve la **creación de un sector industrial** sostenible **de difícil** o imposible **deslocalización**, con pequeñas y medianas empresas vinculadas con la instalación y empresas de mayor tamaño vinculadas con la fabricación de los equipos
- Las tecnologías basadas en geotermia contribuyen a la **creación de empleo y riqueza locales** lo que contribuye al desarrollo social sostenible de las comunidades.

- La geotermia ofrece (en función de la temperatura del recurso en el subsuelo) **una variedad de aplicaciones** desde la generación de electricidad a la generación de calor o refrigeración. ...

Geotermia térmica:

- El recurso geotérmico de muy baja entalpía y la capacidad de almacenamiento del terreno se encuentra en todas partes, por lo que su uso no está asociado a restricciones derivadas de la existencia del recurso.
- **Para aplicaciones en edificación**, los sistemas geotérmicos pueden instalarse en cualquier tipo de inmuebles: viviendas, distritos urbanos, centros comerciales, oficinas, edificios públicos, centros deportivos, etc., y tanto en obra nueva como en rehabilitación (siempre y cuando la ubicación geográfica sea favorable en cuanto a las características del subsuelo).
- Conjugada la capacidad de almacenamiento térmico en el terreno
- El uso de la geotermia en sistemas de climatización inerciales contribuye a laminar las puntas de demanda eléctrica que se dan en picos de calor y de frío.
- Los sistemas de intercambio geotérmico aportan calefacción, aire acondicionado y agua caliente sanitaria (ACS) de manera altamente eficiente, permitiendo su uso tanto para obra nueva como para rehabilitación.
- Está en línea con las medidas de la UE recogidas en el Paquete de invierno y contribuye a la consecución de edificios consumo energía nulo.

Geotermia eléctrica:

- Las centrales de generación con geotermia son longevas, seguras, fiables y requieren poco mantenimiento¹⁰
- La energía geotérmica puede desempeñar un papel importante en las redes eléctricas y térmicas inteligentes, ya que puede proporcionar tanto calefacción como refrigeración, y electricidad flexible. Las plantas geotérmicas combinadas de calor y energía podrían servir como base de redes térmicas inteligentes.
- La generación con energía geotérmica es silenciosa
- La geotermia ofrece soluciones de **tecnologías híbridables** con otras tecnologías renovables.

Además:

- Las tecnologías para explotación de la geotermia tienen un fácil reciclaje (al final de su vida útil) y no dependen de suministro de materiales críticos

¹⁰ Principalmente para las aplicaciones domésticas, las instalaciones geotérmicas no necesitan un mantenimiento específico. Al tratarse de un sistema de circuito cerrado, la presión de los fluidos en las tuberías se mantiene de forma autónoma y el número de elementos eléctricos y mecánicos que pueden fallar es muy limitado

1.6. Potencialidades de la Energía Geotérmica frente a la Transición Energética

A escala mundial, la tierra emite continuamente alrededor de 12 TW de calor solo desde la superficie terrestre. Para toda Europa, el flujo de calor geotérmico, que transporta el calor desde debajo a las capas subterráneas en profundidades accesibles, se puede evaluar en un total de 814 GW. Esto equivale a 7100 TWh o 610 Mtep anuales para Europa, de los cuales 260 Mtep por año se producen bajo la superficie de la UE 27. Y en el subsuelo poco profundo, esta cantidad de calor se complementa con la irradiación solar y la infiltración de agua superficial.

Las potencialidades de la energía geotérmica permiten atribuirle un papel importante en la Transición Energética. Las tecnologías de calefacción y refrigeración geotérmicas tienen las características para desempeñar un papel crucial en un futuro sistema energético totalmente descarbonizado: estas aplicaciones son limpias, proporcionan energía asequible para la economía y las personas y permiten la competitividad de la industria europea.

Hasta la fecha, el **papel** de la geotermia ha sido **muy marginal** dentro del panorama energético mundial. Se estima, [7]. , que solamente se está aprovechando el 6-7 % del potencial geotérmico de alta entalpía accesible estimado del mundo.

Con base en la tecnología y el conocimiento geológico actual, la Asociación de Energía Geotérmica (GEA) estima que hasta ahora solo se ha aprovechado el 6,9% del potencial global total, mientras que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, IPCC informó que el potencial de energía geotérmica está en el rango de 35 GW a 2 TW

Por lo tanto, el potencial de la energía geotérmica en Europa es enorme: La energía geotérmica superficial se puede utilizar prácticamente en todas partes, principalmente en forma de bombas de calor de fuente geotérmica (BCFG / GSHP). En la actualidad, la tecnología geotérmica profunda ya se puede implementar en varias áreas, y la tecnología de sistemas geotérmicos estimulados (ECS), ya demostrada con éxito, puede abrir otras regiones para el uso geotérmico profundo. Para 2050, se considera posible un valor superior a 150 Mtep de producción de calor.

A nivel español, [11]. , los sistemas de **intercambio geotérmico para climatización** se posicionan como la mejor técnica disponible para climatización de edificios (tanto viviendas como servicios) y cuentan con capacidad para ser esenciales en la descarbonización de la edificación y en el suministro y la demanda energética de las ciudades, en su camino hacia una transición energética sostenible.

Según el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, la **geotermia para usos térmicos** tiene un potencial superior a los **50.000 MWt**. Se estima que la producción de energía a partir de geotermia se hará a partir de las bombas de calor, con un objetivo parcial de **40,5 ktep**, y de los usos de calor, con un objetivo de **9,5 ktep**.

En lo que respecta a **generación eléctrica**, a pesar de que la geotermia no se contempla en las subastas eléctricas, existe un interés creciente en impulsar proyectos de energía geotérmica como fuente de electricidad fundamentalmente en las Islas Canarias y también se vislumbran iniciativas en la península.

1.7. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Geotérmica

La plataforma GEOPLAT¹¹ ha determinado una serie de medidas necesarias para apoyar el sector de la energía geotérmica.

- Adecuación del marco legal para implementar sistemas de intercambio geotérmico masivamente en España:
 - Aumentar el conocimiento entre las administraciones públicas y otros agentes decisores (promotores, arquitectos, administradores de fincas, etc.)
 - Mejora / Optimización de la tramitación de las instalaciones: instrumentalización sencilla, coherente y homogénea entre CC.AA. de procedimientos administrativos, ambientales
- Instrumentos de fomento adecuados:
 - Subastas de capacidad aptas para tecnologías noveles en España
 - Desgravaciones / Beneficios fiscales
 - Ventanas de innovación
 - Compra pública de innovación
- Formación de profesionales cualificados
 - Este tipo de sistemas lleva asociado un estudio preliminar del terreno más o menos complejo que requiere una formación especializada¹².

¹¹ GEOPLAT. APTE 2018

¹² Actualmente se están desarrollando dos cualificaciones profesionales específicas con el Instituto Nacional de las Cualificaciones (INCUAL).

2. PERSPECTIVAS SOCIO-ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

2.1. Economía y Empleo

A nivel global, en el periodo 2015-2019, combinando la actividad en uso directo de la geotermia y en producción de electricidad con geotermia se perforaron aproximadamente 2647 pozos geotérmicos en 42 países, se asignaron 34.500 personas-años de esfuerzo en 59 países y se invirtieron US \$22.262 millones en proyectos por 53 países [5]. .

2.1.1. Contribución al PIB del sector de la Energía Geotermia en España

Según estimaciones de APPA, [11], la contribución directa de la Geotermia al PIB español fue de 26.79 M€ y la contribución inducida de 2.82 M€ (Figura 15).

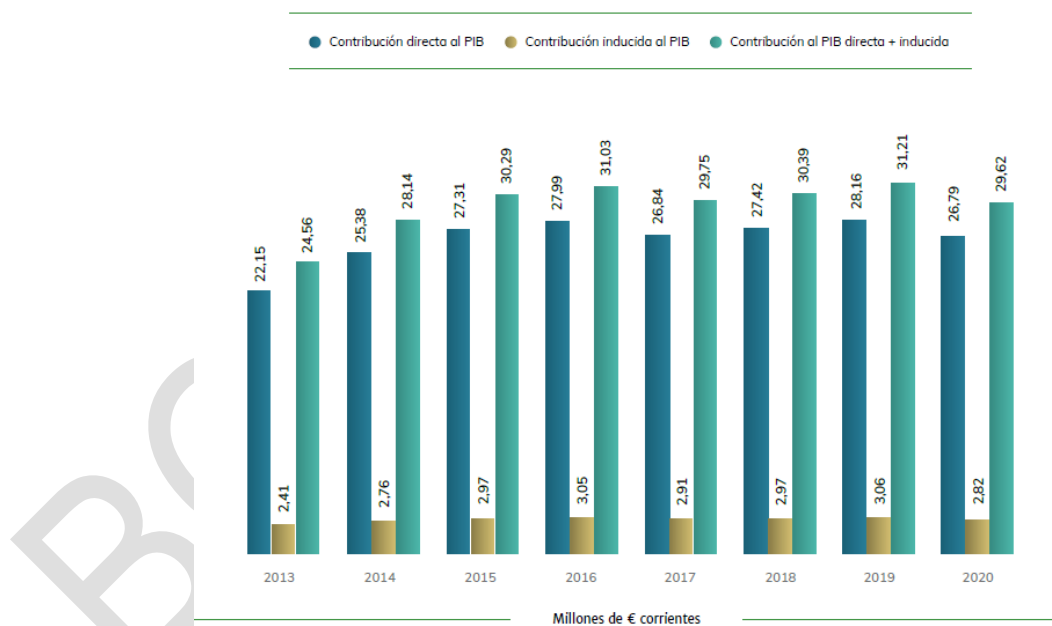


Figura 15. Evolución de la Contribución de la Energía Geotérmica de **Baja Entalpía** al PIB en España (Fuente: APPA, [11]).

Aunque el sector vinculado con la generación de energía geotérmica para usos eléctricos no dispone de instalaciones en funcionamiento en nuestro país y se encuentra fundamentalmente enfocado en actividades relacionadas con la exploración del recurso, análisis de riesgos, I+D+i, etc., en **2020**, el sector de la **geotermia de alta entalpía** aportó al **PIB** de España un total de **13,5 millones de euros**, prácticamente toda esta aportación fue directa (13,2 millones de euros), ya que la contribución indirecta suele aparecer cuando existen plantas en construcción o en fase de operación y mantenimiento.

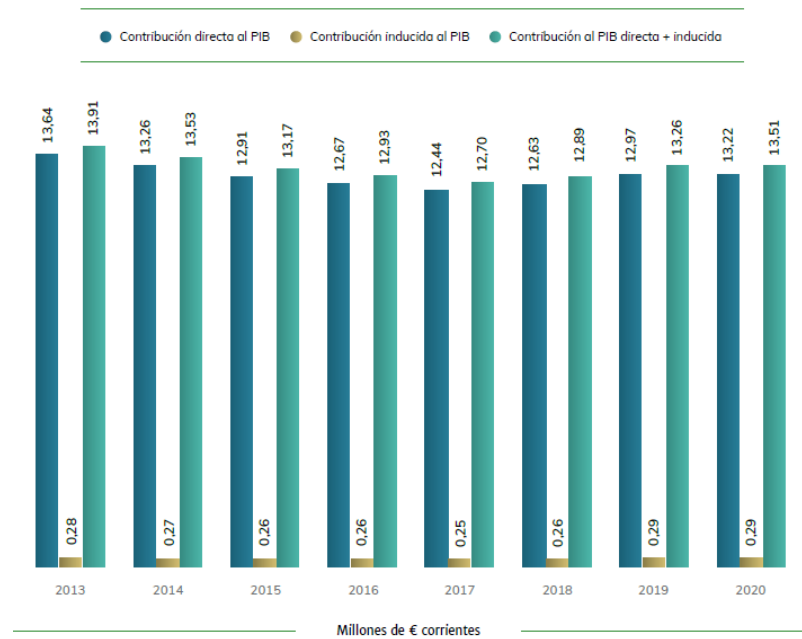


Figura 16. Evolución de la Contribución de la Energía Geotérmica de **Alta Entalpía** al PIB en España (Fuente: APPA, [11]).

La aportación de la Geotermioa de alta entalpía al PIB se ha mantenido estable en los últimos años.

En la estimación de la contribución de la Geotermia al PIB español realizada por GEOPLAT (en 2018) calculaba¹³ una contribución combinada de baja y alta entalpía de 40.4 M€ en 2019 y un crecimiento exponencial de la geotermia térmica, para alcanzar los 143 Me en 2030 y una aparición escalonada de la Geotermia eléctrica (Figura 17) estimándose una contribución de 43.9 M€ en 2030 de esta geotermia para generación eléctrica.

¹³ GEOPLAT: En base a las cifras de valor del mercado, se calcula el PIB de la siguiente forma: PIB = Inversiones + Exportaciones - Importaciones. Donde: + Inversiones = Valor total del mercado español; + Exportaciones = Valor de las exportaciones de empresas españolas en el extranjero; - Importaciones = Valor total del mercado español * (1 - porcentaje del mercado capturado por el sector español)

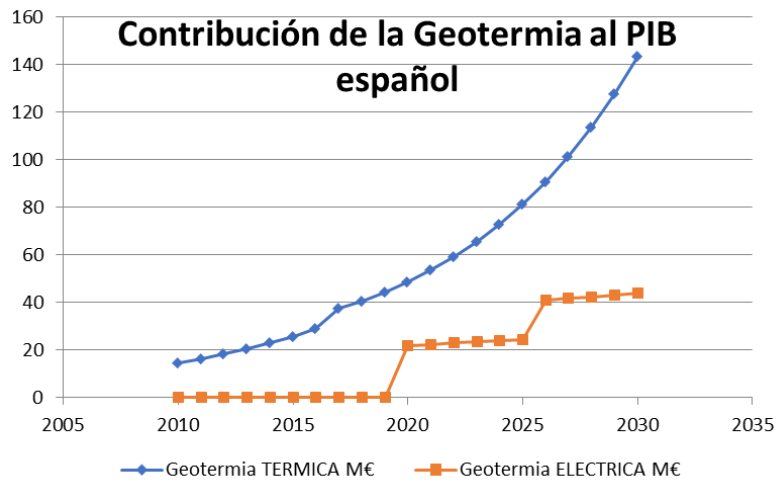


Figura 17. Evolución estimada de la contribución al PIB español de la Energía Geotermica (Fuente: GEOPLAT)

2.1.2. Creación de empleo

Según APPA, [11]. “En el año 2020, el **número de empleos totales** generados por el sector de la energía **geotérmica de baja entalpía** fue de **728 puestos de trabajo**, concentrados particularmente en empleos de operación y mantenimiento de las instalaciones. De éstos, 560 se correspondieron con empleos directos y 167 con empleos indirectos” (Figura 18).

[11]. “El sector de la **geotermia para usos eléctricos** generó en nuestro país a lo largo de **2020** un total de **202 empleos**, una **cifra** que se ha mantenido prácticamente **estable** con respecto al año anterior. Del número total de empleos generados, 144 corresponden a empleos directos (ingenieros, perforadores, fabricantes de equipos y directores de proyectos) y los 58 restantes corresponden a empleos indirectos, entre los que podemos encontrar proveedores de materias primas y otros trabajos inducidos” (Figura 19).

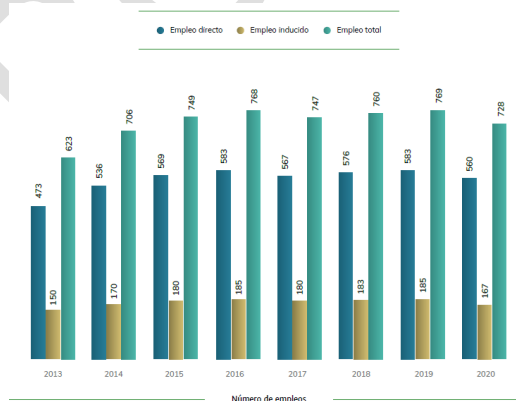


Figura 18. Empleo directo e inducido generado por la Geotermia de Baja Entalpía (Fuente: APPA, [11]).

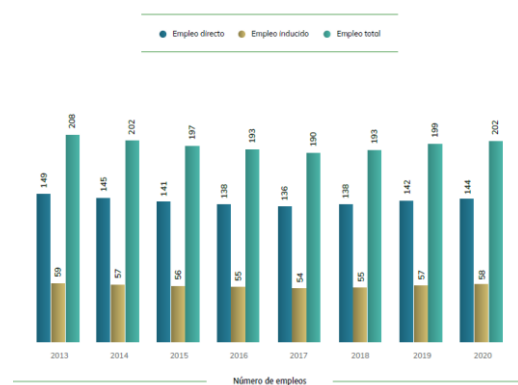
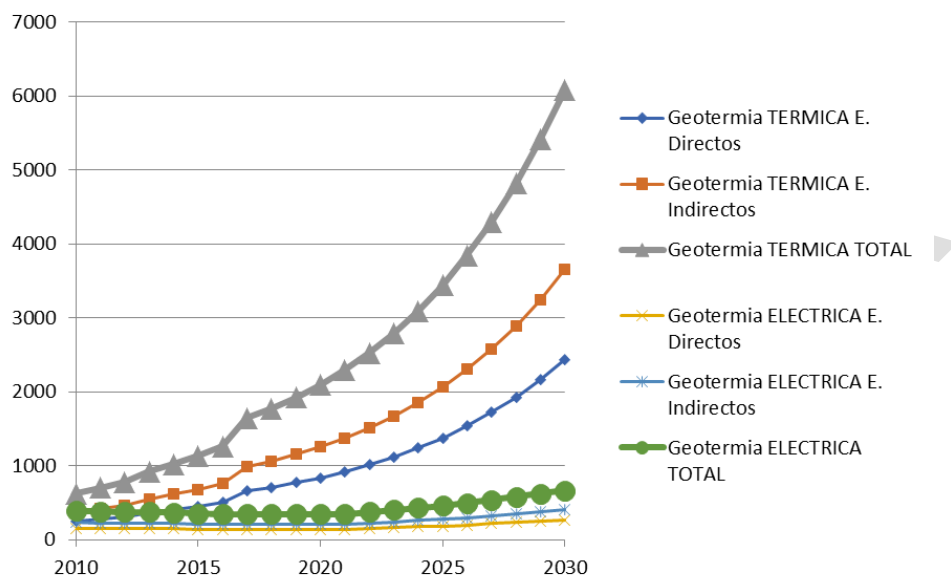


Figura 19. Empleo directo e inducido generado por la Geotermia de Alta Entalpía (Fuente: APPA, [11]).

La estimación del empleo asociado a las tecnologías de la geotermia en España realizada por GEOPLAT para este ejercicio de análisis se ha basado en los datos de APPA de 2016 y se han ajustado según las nuevas previsiones de capacidad instalada.

Generación de empleo en Geotermia



Para el año 2020 GEOPLAT estimaba (en 2018) una generación de empleo asociado a la Geotermia de baja temperatura o baja entalpía de 2092 empleos (837 directos y 1255 indirectos¹⁴) y de 345 empleos en geotermia de alta entalpía (138 directos y 345 indirectos).

2.1.3. Costes de las tecnologías de Energía Geotérmica

La estimación de la evolución de costes de la **Geotermia Térmica** realizada por GEOPLAT (en 2018) diferencia entre instalaciones con intercambiador geotérmico de circuito abierto¹⁵ (7.6 c€/kWht en 2020) e instalaciones con intercambiador geotérmico de circuito cerrado¹⁶ (13.6 c€/kWht en 2020).

¹⁴ Para el empleo indirecto se ha asumido un ratio del 150% respecto del empleo directo

¹⁵ El cálculo se ha realizado para una instalación de bomba de calor en el sector industrial: Intercambiador geotérmico: circuito abierto; Potencia: 300 kW; COP = 4; CAPEX bomba de calor = 500 EUR/kW; CAPEX intercambiador geotérmico = 600 EUR/kW; Factor de Capacidad = 30%; OPEX= 22 EUR/kW/año; Tasa de descuento= 8%; IPC= 2%; Precio de la electricidad = 10 c€/kWh; Un vida útil de la instalación de 20 años. **Para las estimaciones a futuro:** Se asume que la inversión inicial se reduce un 5% a 2030 para la bomba de calor y un 10% para el intercambiador geotérmico; Se asume que los gastos de operación y mantenimiento se actualizan anualmente según el IPC

¹⁶ El cálculo se ha realizado para una instalación de bomba de calor en el sector residencial: Intercambiador geotérmico: circuito cerrado; Potencia: 15 kW; COP = 4; CAPEX bomba de calor = 500 EUR/kW; CAPEX intercambiador geotérmico = 1.200 EUR/kW; Un factor de capacidad del 25%; OPEX= 10 EUR/kW/año; Tasa de descuento= 8%; IPC= 2%; Tarifa eléctrica = 22 c€/kWh; Un vida útil de la instalación de 20 años. **Para las estimaciones a futuro:** Se asume que la inversión inicial se reduce un 5% a 2030 para la bomba de calor y un 20% para el intercambiador geotérmico; Se asume que los gastos de operación y mantenimiento se actualizan anualmente según el IPC.

Costes de Generación con Geotermia Térmica

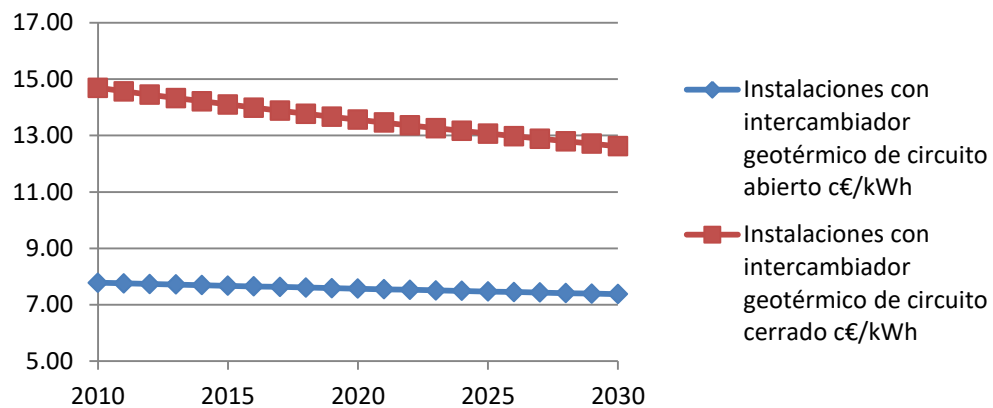


Figura 20. Estimación de la evolución de costes de la Geotermia Térmica (Fuente: GEOPLAT)

Geotermia eléctrica: Para la generación de electricidad, las plantas basadas en geotérmica son intensivas en capital. Hay costes iniciales significativos para el desarrollo del proyecto, la preparación del campo, los pozos de producción y reinyección, la planta de energía y la ingeniería civil asociada. Los proyectos geotérmicos también están sujetos a variaciones en los costes de perforación, (cuyas tendencias a menudo están influenciadas por el ciclo económico de la industria del petróleo y el gas). Estas fluctuaciones tienen un impacto directo en los costes de perforación y, por lo tanto, en los costes de ingeniería, adquisición y construcción (EPC).

Los costes de instalación de las plantas de energía geotérmica son altamente sensibles al emplazamiento estando fuertemente influenciados por la calidad del yacimiento, el tipo de planta de energía y la cantidad de perforaciones requeridas. También influyen significativamente en los costes la naturaleza y la extensión del yacimiento, las propiedades térmicas del yacimiento y sus fluidos, y a qué profundidad se encuentra.

Por otro lado la calidad del recurso geotérmico y su distribución geográfica determinarán el tipo de central. Esto puede variar desde flash, vapor directo, binario, mejorado o un enfoque híbrido para proporcionar el vapor que impulsará una turbina y generará electricidad. Por lo general, los costes de las plantas binarias diseñadas para explotar recursos de temperatura más baja tienden a ser más altos que los de las plantas de vapor directo y flash, ya que extraer la electricidad de los recursos de temperatura más baja requiere más capital.

Para la **estimación de costes** de la **generación de electricidad con Geotermia**, GEOPLAT diferencia entre tres opciones tecnológicas: i] plantas Flash¹⁷ (con una estimación de coste ponderado de la electricidad en 2020 de 5.6 c€/kWh_e), ii] plantas de ciclo binario¹⁸ (con una estimación de coste ponderado de la electricidad en 2020 de 10.2 c€/kWh_e), y iii] plantas basadas en sistemas geotérmicos estimulados (con una estimación de coste ponderado de la electricidad en 2020 de 18.5 c€/kWh_e), y con una **evolución de costes** estimada a 2030 según muestra la Figura 21.

Costes de Generación con Geotermia Eléctrica

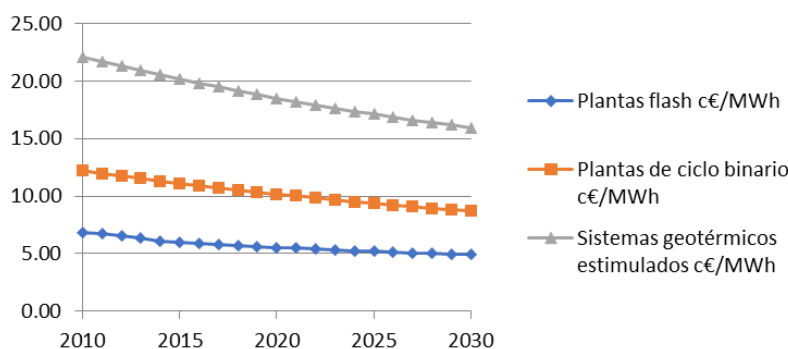


Figura 21. Estimación de la evolución de costes de la Geotermia Eléctrica (Fuente: GEOPLAT)

Según IRENA, [12]. , a nivel global, el coste ponderado de la electricidad (LCOE) promedio ponderado global de los proyectos encargados en 2020 fue de **0,071 USD/kWh**, ligeramente inferior al de 2019, pero en general en línea con valores vistos en los últimos cuatro años.

¹⁷ Plantas Flash: El cálculo se ha realizado para una instalación del tipo flash típica bajo las siguientes hipótesis: Potencia: 20 MW; CAPEX= 3.400 EUR/kW; Un factor de capacidad del 75%; OPEX= 80 EUR/kW/año; Tasa de descuento= 8%; IPC= 2%; Una vida útil de la instalación de 30 años; Tipo de recurso: Volcánico activo; Profundidad de la perforación 2.500 metros; **Para las estimaciones a futuro:** Se asume que la inversión inicial se reduce un 2% anual por mejoras tecnológicas, principalmente en las técnicas de perforación; Se asume que los gastos de operación y mantenimiento se actualizan anualmente según el IPC; Tomando como referencia el informe de IPCC, se utiliza un factor de capacidad de 75% en 2010, y 90% en 2030 (tomando evoluciones lineales para las fechas intermedias); Se asumen un deterioro de la instalación que reduce la producción neta en un 0,5% anual

¹⁸ Plantas de ciclo binario: El cálculo se ha realizado para una instalación del tipo binario típica bajo las siguientes hipótesis: Potencia: 20 MW; CAPEX= 6.450 EUR/kW; Un factor de capacidad del 75%; OPEX= 110 EUR/kW/año; Tasa de descuento= 8%; IPC= 2%; Un vida útil de la instalación de 30 años; Tipo de recurso: Hidrotermal; Profundidad de la perforación 3.600 metros. **Para las estimaciones a futuro:** Se asume que la inversión inicial se reduce un 2% anual por mejoras tecnológicas, principalmente en las técnicas de perforación; Se asume que los gastos de operación y mantenimiento se actualizan anualmente según el IPC; Tomando como referencia el informe de IPCC, se utiliza un factor de capacidad de 75% en 2010, y 90% en 2030 (tomando evoluciones lineales para las fechas intermedias); Se asumen un deterioro de la instalación que reduce la producción neta en un 0,5% anual.

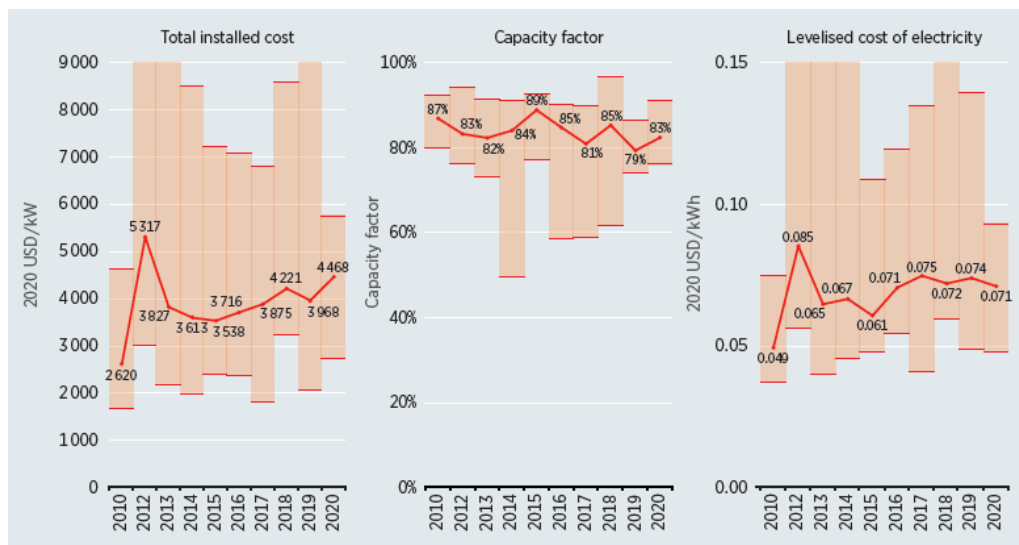


Figura 22. Costes totales instalados promedio ponderados globales, factores de capacidad y LCOE para la generación de electricidad con geotermia, 2010-2020 (fuente IRENA).

El LCOE promedio ponderado global aumentó de alrededor de 0,05 USD/kWh para los proyectos que se pusieron en marcha en 2010 a alrededor de 0,07 USD/kWh en 2020 [12]. .

2.1.4. Contabilidad de las externalidades de la Energía Geotérmica

Los riesgos potenciales asociados a la energía geotérmica se relacionan con la contaminación de las aguas subterráneas y la liberación de sulfuro de hidrógeno y otros gases a la atmósfera. Afortunadamente, el uso de géiseres naturales está libre de riesgos.

Los **efectos ambientales** del desarrollo de la geotermia para generación de electricidad y la generación de térmica incluyen:

- los cambios en el uso del suelo asociados con la exploración y la construcción de plantas,
- la contaminación acústica y visual,
- la descarga de agua y gases,
- la producción de malos olores y
- el hundimiento del suelo.

Sin embargo, la mayoría de esos efectos se pueden mitigar con la tecnología actual para que los usos geotérmicos no tengan más que un impacto mínimo en el medio ambiente.

Además, las bombas de calor geotérmicas (**BCFG**) tienen un **efecto mínimo sobre el medio ambiente**, porque utilizan recursos geotérmicos poco profundos (menores de 100 metros). Las BCFG solo provocan **pequeños cambios de temperatura en las aguas subterráneas**, rocas y tierra en el suelo¹⁹.

Según la Asociación de Energía Geotérmica (GEA) la energía geotérmica emerge como una de las formas de energía menos contaminantes y ambientalmente discretas. Las plantas de energía geotérmica de vapor seco y flash emiten alrededor del 5% del dióxido de carbono, el 1% del dióxido de azufre y menos del 1% del óxido nitroso emitido por una planta de carbón de igual tamaño; y las plantas geotérmicas binarias producen emisiones cercanas a cero.

Los beneficios adicionales de la energía geotérmica incluyen menos degradación de la tierra, menos emisiones al aire y menos daño ambiental; mayor diversidad de combustibles; y mejora de la seguridad nacional mediante el uso de una fuente de energía autóctona.

Entre las externalidades positivas identificadas por GEOPLAT, para la geotermia térmica y la geotermia eléctrica, se incluyen:

- Posibilidad de generar calefacción y aire acondicionado (calor y frío) en un mismo sistema, durante las 24 h del día los 365 días del año. Además de ser sistemas insonoros, sin impacto visual externo y sin torres de condensación (evitan problemas sanitarios por legionela)
- Al tratarse de sistemas de climatización inerciales que mantienen la temperatura durante todo el año, resultan perfectos para laminar las puntas de demanda de consumo eléctrico que se dan en picos de calor y de frío
- Producción a gran escala (instalaciones termoeléctricas que superan los 50 MW) de electricidad renovable 100% gestionable, aportación de capacidad firme al sistema eléctrico español
- Existencia de recurso geotérmico accesible y de tipología diversa para generación eléctrica tanto en Canarias como en la Península
- Creación de un sector industrial sostenible de difícil o imposible deslocalización, vinculando a grandes instalaciones geotérmicas para producción eléctrica (y también cogeneración)
- Reducción de la dependencia energética de combustibles fósiles, especialmente capacitada para sustituir a los combustibles fósiles que se han utilizado tradicionalmente para aportar firmeza al sistema
- Mejora de la balanza de pagos

¹⁹ En los sistemas de circuito cerrado, la temperatura del suelo alrededor de los pozos verticales aumenta o disminuye ligeramente; la dirección del cambio de temperatura depende de si el sistema está dominado por la calefacción (que sería el caso en las regiones más frías) o por el enfriamiento (que sería el caso en las regiones más cálidas). Con cargas equilibradas de calefacción y refrigeración, las temperaturas del suelo se mantendrán estables. Asimismo, los sistemas de circuito abierto que usan agua subterránea o agua de lago tendrán muy poco efecto sobre la temperatura, especialmente en regiones caracterizadas por altos flujos de agua subterránea.

- Incremento de la aportación de energía renovable con una disminución paralela del consumo de energía primaria
- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

2.1.5. Posicionamiento Tecnológico

Este indicador permite medir la fortaleza de las capacidades españolas respecto al mercado español de la tecnología, valorando la cuota captada por las tres primeras empresas con fábricas en España. La estimación/respuesta de GEOPLAT, **para la geotermia térmica**, a esta cuestión ha sido la siguiente:

- Considerando las empresas **instaladoras** españolas, se ha estimado que las 3 primeras empresas han instalado una potencia acumulada cercana a los 28 MW
- La capacidad instalada acumulada (casi exclusivamente geotermia de baja entalpía) hasta 2017 se ha estimado en 262 MW
- La cuota de las 3 primeras empresas españolas, estimada con estas cifras de capacidad, fué (en 2017) del 11%
- En 2018 dos empresas españolas que fabricaban bombas de calor geotérmicas mientras que el resto de distribuidores importaban los equipos
- No se ha proyectado el indicador a 2030 por no disponerse de información suficiente

Para la geotermia eléctrica (respuesta de GEOPLAT):

- Hasta 2026 se ha estimado que el valor del mercado español es 0€, por lo que no hay cuota de mercado que asignar a ninguna empresa
- De 2026 en adelante, se ha asumido que el 50% del mercado estará captado por empresas españolas, además, por tratarse de un mercado muy pequeño y nuevo, se asume que no más de 3 empresas estarán activas, por lo que tendrán toda la cuota del mercado español.

Atendiendo al sector industrial, **no existen empresas españolas destacadas en el ranking europeo** de fabricantes o desarrolladores de servicios EPC. Específicamente, el sector asegura que no hay ninguna empresa española entre los diez principales fabricantes o los diez principales proveedores de EPC europeos, tanto para el caso de la generación eléctrica como térmica [4].

2.1.6. Valor anual esperado del Mercado Español

Mediante entrevistas al sector (en 2018), GEOPLAT, ha estimado la evolución del mercado español resultando, para el subsector de **generación térmica (calor y frío) a partir de recursos geotérmicos** las siguientes conclusiones:

- Se estima que la capacidad instalada en España de bombas de calor geotérmicas en 2015 alcanzaba los 200 MW

- Expertos del sector estiman que en 2030 se podrían alcanzar los 1.250 MW de capacidad térmica instalada
- Se ha aplicado la tasa de variación lineal para los años intermedios

Mercado Español de Geotermia (evolución proyectada)

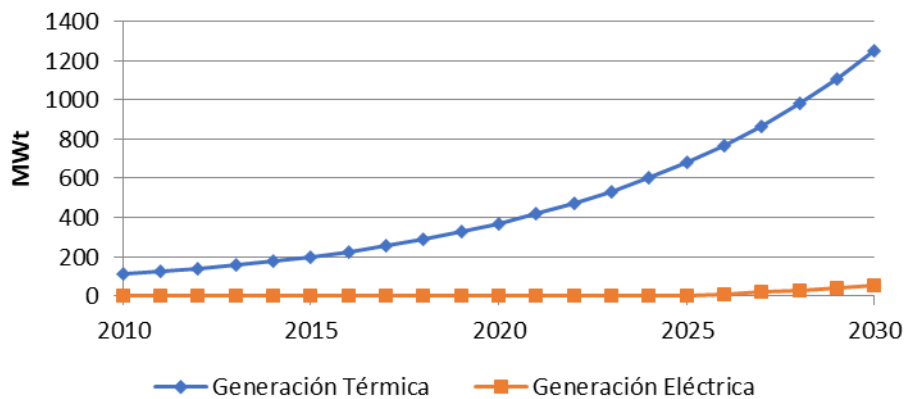


Figura 23. Estimación de la Evolución del Mercado Español de la Energía Geotérmica (Fuente: GEOPLAT)

Con estas cifras de capacidad la valoración²⁰ del mercado español y de las exportaciones de tecnologías de geotermia se muestra en la (Figura 24)

²⁰ Para la valoración del mercado se han empleado los datos de CAPEX y OPEX indicados en la metodología utilizada (por GEOPLAT) en la sección 2.1.3 (costes de las tecnologías de energía geotérmica); Además: se ha estimado que las empresas españolas captan el 75% del mercado español, porque muchos de los equipos deben ser importados; Las exportaciones se han estimado en base a la información recopilada en entrevistas con empresas; El factor de capacidad medio se ha estimado en el 25%

Geotermia. Mercado español y exportaciones

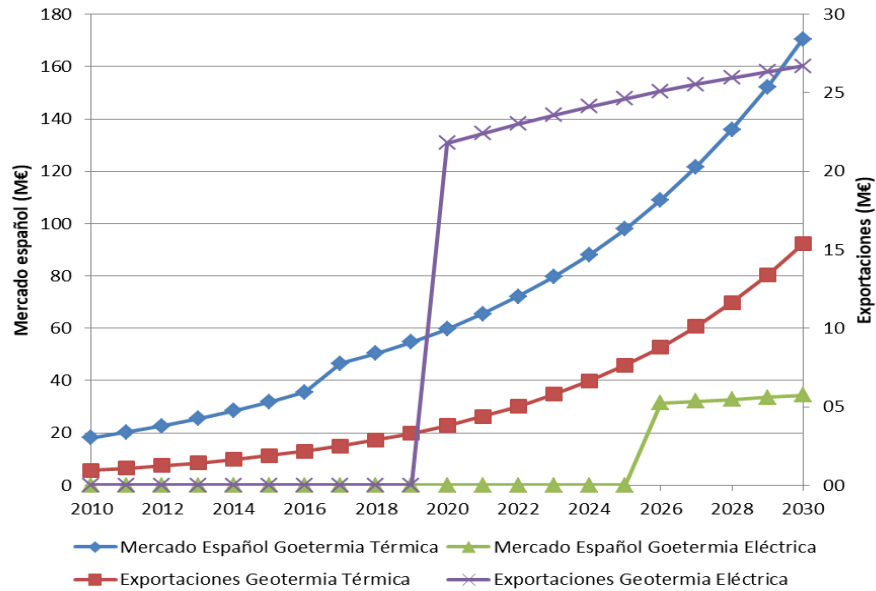


Figura 24. Estimación²¹ de la evolución del Mercado Español y de las Exportaciones de tecnologías de geotermia. (Fuente: GEOPLAT)

Con estas estimaciones, **en 2020, el mercado español de la geotermia térmica es de unos 59.7 M€, con una proyección de alcanzar los 170 M€ en 2030. La geotermia eléctrica en el mercado español pasaría de 0€ en 2025 a 34.4 M€ en 2030.**

Las **exportaciones** estimadas (GEOPLAT) son, **en 2020, de 3.8 M€ en geotermia térmica y 31.8 M€ en geotermia eléctrica.** Las proyecciones de estos mercados a 2030 alcanzarían exportaciones de **15.4 en tecnologías de geotermia térmica y de 26.7 M€ en geotermia eléctrica.**

²¹ Para la estimación del mercado de la **geotermia eléctrica** GEOPLAT también ha supuesto: i) Las primeras instalaciones de geotermia profunda se instalarán a partir de 2026, con un crecimiento modular anual de unos 10MW/año; ii) Se asume que el 100% de la capacidad instalada a 2030 será de tecnología flash en las Islas Canarias; iii) Para la valoración del mercado se han tomado los datos de CAPEX y OPEX de las plantas flash indicados en la metodología del cálculo del LCOE (sección 2.1.3); iv) Se espera que el mercado español se desarrolle gracias al trabajo de consorcios en los que el sector español tendrá una representación cercana al 50%; v) Para las exportaciones del sector español se asume que, a partir de 2020, se venden servicios de EPC de aproximadamente 20MW (~una planta de generación geotérmica al año) de los cuales las empresas españolas capturarían alrededor del 40% de cada proyecto

2.1.7. Valor anual esperado del Mercado Mundial

El **mercado mundial** de la geotermia, en 2020, se estima²² (GEOPLAT) en 14.800 M€ para la geotermia térmica (con una proyección de alcanzar los 31.000 M€ en 2030) y en 7.300 para la geotermia eléctrica (con una proyección de alcanzar los 17.000 M€ en 2030).

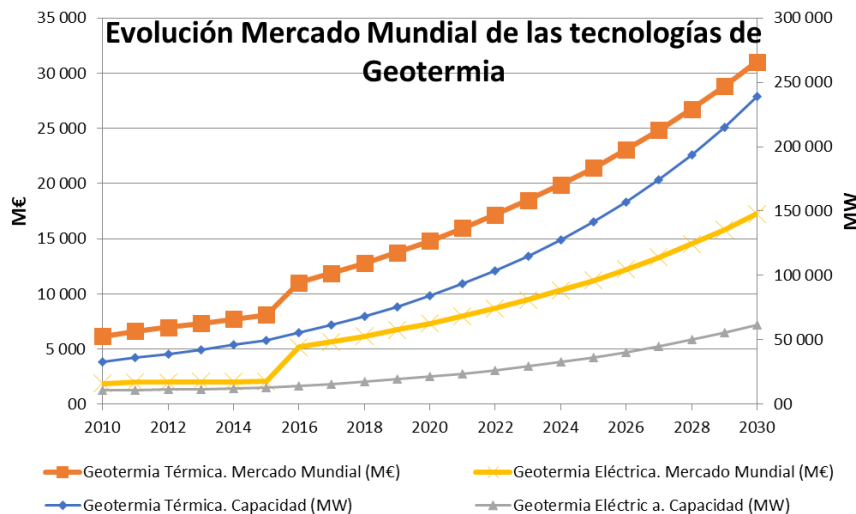


Figura 25. Estimación de la evolución del mercado mundial de las tecnologías de geotermia (Fuente: GEOPLAT)

La evolución de la **capacidad global** se estima para 2020 en 84 GW_t en geotermia térmica y 21.4 GW_e en geotermia eléctrica, con una proyección (GEOPLAT) a 2030 de 239 GW_t de geotermia térmica y de 62 GW_e con tecnologías de geotermia eléctrica.

2.2. Grado de Madurez de la Energía Geotérmica

La geotermia es una tecnología madura y comercialmente probada. Puede proporcionar capacidad "de carga base" a bajo coste en geografías con muy buenos a excelentes recursos geotérmicos convencionales de alta temperatura, cerca de la superficie de la Tierra.

Sin embargo, el desarrollo de recursos geotérmicos no convencionales, utilizando el enfoque de sistemas geotérmicos estimulados o "rocas secas y calientes", es mucho menos maduro. En este caso, los proyectos vienen con costes que suelen ser significativamente más altos, debido a la perforación profunda requerida, lo que hace que la economía de tales iniciativas en la actualidad sea mucho menos atractiva.

²² Para la capacidad instalada en 2010, 2015 y 2020, se han tomado los datos del World Geothermal Congress (tomando la evolución lineal para valores intermedios); Para la estimación de capacidad instalada a 2030, se ha proyectado a partir de la estimación a 2020 manteniendo la tendencia del periodo 2015-2020; Para cuantificar el valor del mercado de geotermia térmica se han tomado datos medios del IPCC (CAPEX= 2.300 EUR/kW; OPEX=30.000 EUR/GWh/año); Para cuantificar el valor del mercado de geotermia eléctrica se han tomado datos medios de la IEA (CAPEX= 3.300 EUR/kW; OPEX=2,5% del CAPEX)

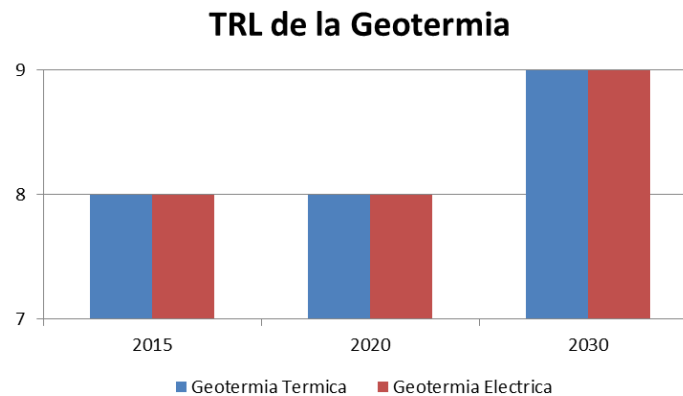


Figura 26 Estimación del grado de madurez de las tecnologías (TRL) de la geotermia (Para geotermia térmica: Se ha asumido el TRL de Bomba de calor= 9; Intercambiadores geotérmicos= 8; Para la geotermia eléctrica: Se ha indicado el TRL correspondiente a la tecnología flash, pues es la que se espera que sea instalada en España durante el periodo contemplado. En cuanto al resto de tecnologías, se han estimado los siguientes TRL: Vapor seco= 9; Ciclo Binario= 6; Sistemas Geotérmicos estimulados (EGS) = 6. Fuente: GEOPLAT)

2.3. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación

Según datos de GEOPLAT existen 38 agentes²³, de I+D+i en toda España que incluyen la investigación en energía geotérmica como una de sus líneas de actuación (esta cifra incluye todo tipo de geotermia, sin distinguir entre tecnologías de generación eléctrica y térmica).

Sin embargo, la dedicación de recursos es escasa y ninguno de los centros cuenta con más de 10 investigadores disponibles para esta tarea. En total se estima que el número total de trabajadores dedicados a tiempo completo a I+D+i en energía geotérmica en España ronda las 75 personas (50 en geotermia térmica + 25 en geotermia eléctrica), repartidos entre centros tecnológicos, universidades y empresas privadas.

Según entrevistas a expertos del sector, [4]. en el periodo comprendido entre 2009 y 2013 el número total de proyectos de I+D+i desarrollados conjuntamente entre empresas privadas y centros de I+D+i (incluyendo universidades) superó los 12. Asimismo, el número de publicaciones científicas españolas relacionadas con la geotermia alcanzó las 150 unidades entre el periodo 2009 y 2013.

²³ La plataforma GEOPLAT cuenta con 38 instituciones de I+D+i asociadas, que se dividen en: 13 centros tecnológicos y fundaciones; 20 universidades; 5 organismos públicos de investigación

2.3.1. Financiación obtenida por la tecnología

La mayor parte de la financiación empleada para el fomento de la I+D en geotermia de los últimos años tiene origen público. Entre todos los programas involucrados destacan el antiguo Subprograma Nacional INNPACTO y actualmente el Programa Estatal de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad, además de los instrumentos de financiación de CDTI. En cuanto a la financiación privada, se estima que las inversiones más significativas han sido impulsadas a través de dos fabricantes con presencia en el mercado español.

La estimación²⁴ de la financiación obtenida por el conjunto del sector de la geotermia en España, tanto para generación eléctrica como térmica para el impulso de I+D+i recibida de fuentes públicas varía entre 1 y 4 M€ al año y se espera una estabilización de unos 4 M€/año entre 2020 y 2030 (Figura 27).



Figura 27. Financiación Pública para I+D+i recibida por las tecnologías de Geotermia (Fuente: GEOPLAT)

2.3.2. Patentes españolas en Energía Geotérmica

El número de patentes²⁵ españolas en tecnologías de geotermia alcanza las **37 patentes** (para el conjunto de las tecnologías de geotermia).

²⁴ Se ha tomado el valor de la financiación obtenida a partir de la información recogida en Libro de la Energía publicados anualmente por el MINETAD (de 2010 a 2015). Para realizar la proyección a 2030, se ha tomado un valor de 4 millones de EUR anuales a partir de 2020

²⁵ Datos de 2018. Oficina Española de Patentes y Marcas (<http://invenes.oepm.es/InvenesWeb/faces/busquedaInternet.jsp>) y Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (<https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>)

3. RETOS GLOBALES Y DE I+D+I EN ENERGÍA GEOTÉRMICA

Hasta la fecha, el papel de la geotermia ha sido muy marginal dentro del panorama energético mundial. Y aunque es difícil prever el papel que podrá jugar geotermia entre las tecnologías para la transición energética – especialmente por la dificultad de acceder a yacimientos de calor subterráneo– la investigación y la innovación pueden facilitar un mayor desarrollo y una mayor aceptación de las tecnologías geotérmicas de calefacción, refrigeración y electricidad en el mercado.

3.1. Retos de I+D+i en Tecnologías de Energía Geotérmica

El desarrollo de la geotermia habrá de abordar y superar retos de diversa índole, desde retos tecnológicos a retos asociados a la integración de estos recursos en los sistemas energéticos actuales, la mejora en visibilización social y de capacitación en estas tecnologías así como encontrar apoyos normativos para jugar un papel significativo en la transición energética (al menos en las regiones con alto potencial geotérmico).

Los retos tecnológicos incluyen la investigación del subsuelo, evaluación y mapeo de los recursos geotérmicos²⁶, la optimización de la gestión del recurso en superficie²⁷, el desarrollo de tecnologías de perforación más baratas y rápidas^{28, 29}, la identificación de materiales, el desarrollo de nuevas bombas de calor híbridas de fuente de aire/tierra y de bombas de calor de alta temperatura, la reducción de costes de ejecución de los circuitos, etc.

Hay un interés creciente en los recursos geotérmicos disponibles a poca y gran profundidad debajo de las ciudades. Sin embargo, hasta ahora no existe un procedimiento general para cuantificar el potencial geotérmico de baja y alta temperatura en suelos urbanos y aguas subterráneas³⁰. Y aun está abierto el reto de ¿Cómo integramos estos sistemas geotérmicos superficiales y profundos en los sistemas de energía renovable existentes y futuros?.

²⁶ Por ej. mediante mejora de las tecnologías topográficas para apuntar con mayor precisión la ubicación de pozos geotérmicos productivos.

²⁷ La explotación de los recursos energéticos geotérmicos constituye una fuente renovable e inagotable (a escala humana) si se asegura la **sostenibilidad energética y medioambiental de los recursos geotérmicos** mediante el mantenimiento de presiones en los yacimientos, evitando la disminución del volumen de fluido disponibles, evitando interferencias en los recursos del subsuelo tales como acuíferos u otros yacimientos geotérmicos vecinos y evitando la saturación y sobreexplotación de los mismos

²⁸ En una planta geotérmica normal, el coste de las perforaciones representa el 30 o 35 por ciento de la inversión total

²⁹ Se necesita investigación y desarrollo de técnicas de perforación más innovadoras y de bajo costo y metodologías avanzadas de estimulación de yacimientos. Esto ayudaría a reducir los costos de desarrollo y aprovechar todo el potencial de los recursos geotérmicos mejorados, haciéndolos económicamente más viables.

³⁰ El desarrollo de una base de datos pública que detalle el potencial de recursos geotermicos sigue siendo una de los puntos pendientes y de gran importancia.

El desarrollo de los recursos de energía geotérmica en aplicaciones de calefacción y refrigeración ha proporcionado un número considerable de innovaciones en las últimas décadas. Las importantes innovaciones en el contexto del diseño de intercambiadores de calor terrestres, incluidos los materiales, así como la perforación y las metodologías de instalación utilizadas junto con estos, han contribuido al crecimiento del sector. El "estado del arte" en el contexto de los sistemas "geotérmicos superficiales" diferentes entornos subterráneos y en estrategias industriales y de integración de edificios son cada vez mayores.

La mejora continuada de las tecnologías geotérmicas existentes, el impulso de nuevas soluciones y aplicaciones o la hibridación con otros recursos renovables contribuirán a impulsar el despliegue y la penetración geotérmica en la UE en el contexto de los hitos de 2030.

3.1.1. Agendas Estratégicas de I+D+i

La plataforma tecnológica española de la geotermia, **GEOPLAT**, estableció, (en **2010**), sus objetivos para el despliegue de la geotermia en España en el documento "Visión a 2030"³¹ y desarrolló (en **2011**) una extensa y detallada **Agenda Estratégica de Investigación**, [9] en la que se revisan las dos cadenas de valor derivadas de la actividad en el ámbito geotérmico con sus características particulares en cuanto al recurso, tecnologías de aprovechamiento y aplicaciones asociadas a la **geotermia profunda** y a la **geotermia somera**. También se revisan otros aspectos estratégicos de tipo horizontal cuyo desarrollo apoyaría los avances de la geotermia. Las prioridades Estas prioridades recogidas por GEOPLAT en la Agenda Estratégica de 2011 son:

GEOTERMIA PROFUNDA:

- Investigación básica^{32,33}
- La investigación del subsuelo y gestión de los recursos geotérmicos³⁴.
- Optimización del recurso en superficie

GEOTERMIA SOMERA:

- Reducción de costes de ejecución de los circuitos.
- Mejora de los métodos de evaluación del terreno³⁵. Incremento de la productividad de los sondeos.

³¹ <https://www.geoplat.org/portfolio-items/vision-2030/>

³² Por ej. Uno de los puntos actuales de mayor relevancia en I+D sobre geotermia profunda son las plantas de ciclo binario ante la posibilidad de generar electricidad con recursos de 80-100°C, lo que abriría más posibilidades y aumentaría el nicho de mercado.

³³ Por ej. Diseños y materiales innovadores para pozos geotérmicos de alta temperatura y larga duración

³⁴ Por ej. El desarrollo de nuevas tecnologías para pozos a temperaturas de 400-600 °C, perforando hasta 4-5 km de profundidad para alcanzar un fluido supercrítico que aumentará la producción de energía

³⁵ Por ej. es importante mejorar la tecnología y metodología de evaluación del terreno, la creación de bases de datos que denoten el potencial geotérmico relacionando el recurso geotérmico somero con los elementos de demanda tales como los edificios residenciales, terciarios o la industria, y la reducción de costes mejora de eficiencia en las perforaciones e intercambiadores geotérmicos.

- Sistemas de superficie. Propuesta de áreas estratégicas horizontales.

ÁREAS HORIZONTALES DE SOPORTE AL DESARROLLO DE LA GEOTERMIA

- **Formación**, cuyas prioridades son:
 - Adaptación de perfiles profesionales a los requerimientos del sector de la geotermia.
 - Inclusión de contenidos de geotermia en titulaciones universitarias, ciclos FP y postgrado.
 - Incorporación de la geotermia al sistema de titulaciones de Formación Profesional
 - Potenciación y difusión de la geotermia en ámbitos escolares, pre-universitarios y a consumidores
- **Marco regulatorio:**
 - Análisis de la legislación vigente.
 - Propuesta de enmiendas en el ámbito legislativo del sector.

También **en 2011**, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) publicó una hoja de ruta tecnológica para las tecnologías de generación de calor y electricidad con energía geotérmica [1].

Más recientemente, **en 2020**, la plataforma tecnológica y de innovación europea (ETIP) en calefacción y refrigeración renovables (RHC), en la que participa GEOPLAT³⁶, ha publicado la actualización de su **Agenda Estratégica de Investigación e Innovación (SRIA)** [13]. en la que se definen los siguientes tópicos y retos tecnológicos:

T1.- TECNOLOGÍAS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR GEOTÉRMICOS DE MEDIA PROFUNDIDAD (500 M)

El **objetivo** principal sería desarrollar soluciones de intercambiadores de calor geotérmicos de profundidad media (**hasta 500 m**) de nueva generación para utilizar los recursos geotérmicos no explotados asociados a fuentes geotérmicas de temperatura media-baja (**30 a 150 °C**) [13]

La **estrategia** de este tema se basa en llenar la brecha tecnológica actual entre la geotermia poco profunda (baja temperatura, capacidad limitada) y la geotermia profunda (altos riesgos económicos y técnicos) alcanzando de manera confiable profundidades donde el nivel térmico y los gradientes pueden explotarse a tasas suficientemente económicas, lo que permite nuevas oportunidades para la producción de energía renovable en la UE. Otro objetivo se refiere a la perforación más profunda con costos lineales y no exponenciales, [13].

T2.- NUEVA GENERACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO SUBTERRANEO (UTES) DE ALTA TEMPERATURA

³⁶ La plataforma española GEOPLAT está muy vinculada con las Plataformas Tecnológicas Europeas relacionadas con su área tecnológica (GEOPLAT preside el Panel de Geotermia de la Plataforma Tecnológica Europea de Climatización Renovable, ETIP_RHC). En consecuencia, las líneas estratégicas de esta plataforma europea tanto para geotermia somera como para geotermia profunda están muy en línea con las de GEOPLAT.

Objetivo: Esta área temática tiene como objetivo desarrollar tecnologías para la aplicación exitosa de almacenamiento y recuperación de calor en acuíferos, para el almacenamiento temporal de calor a gran escala. El alcance es ir más allá del límite de temperatura de almacenamiento de 40°C, enfrentando las complicaciones que surgen con los problemas de densidad y calidad del agua en estas condiciones de temperatura más alta, [13].

T3.- TECNOLOGÍA COMBINADA DE CALOR, ELECTRICIDAD Y EXTRACCIÓN DE METALES (CHPM)

Objetivo: Optimizar la producción de energía geotérmica junto con la extracción de minerales. Por ejemplo, el litio y otros minerales de alto valor estratégico podrían extraerse en la construcción y explotación de estas instalaciones geotérmicas, creando un efecto de doble valor para estos sistemas. El objetivo principal incluiría el lanzamiento de los primeros proyectos CHPM de demostración y la evaluación de la conformidad técnica de la tecnología y las oportunidades técnicas, [13].

T4.- SOLUCIONES DE TECNOLOGÍA DE CIRCUITO CERRADO RENTABLES

Objetivo: Se puede esperar mucho de la reducción adicional del trabajo manual en la perforación y la instalación, mediante la automatización y la robótica. También se requiere I+D en tecnología de perforación geotérmica superficial específica para reducir aún más el impacto en el entorno (por ejemplo, arcillas sensibles, aguas subterráneas), proporcionar técnicas para controlar la desviación del pozo, etc. [13].

La eficiencia del intercambio de calor con los estratos geológicos puede incrementarse mediante I+D para la optimización de componentes tales como intercambiadores de calor de pozos (diseño, material de tubería, material de lechada), materiales de terminación de pozos, compresores, bombas. Una preocupación más es sobre la identificación/desarrollo de un líquido anticongelante ("fluido de transferencia térmica") de baja viscosidad ambientalmente benigno para sistemas geotérmicos BC de circuito cerrado con el fin de tener características térmicas que sean iguales o mejores que las del monoetilenglicol, [13].

T5.- GEO-ESTRUCTURAS INNOVADORAS

Objetivo: Las "geoestructuras termoactivas" consisten en la integración de intercambiadores de calor geotérmicos en elementos de infraestructura del subsuelo que interactúan con el suelo. Las geoestructuras como pilas de energía, muros pantalla, túneles y muros de contención reforzados con geosintéticos pueden utilizar el suelo para calentar y enfriar estructuras, almacenar calor o disipar el calor residual. Esto es particularmente atractivo debido al ahorro de costes inherente que implica combinar un elemento estructural requerido con la recolección de energía geotérmica, [13].

Al igual que los intercambiadores de calor terrestres convencionales, se pueden utilizar como vías para extraer calor en invierno e inyectar calor en verano, aunque aprovechando el proceso de construcción, proporcionando un enfoque sostenible para transferir energía térmica hacia y desde el suelo. por un coste de instalación más bajo que los intercambiadores de calor geotérmicos tradicionales tipo pozo, [13].

Ademas de estos retos tecnológicos, esta agenda, [13].

Integracion de los sistemas Geotérmicos:

IG1.- MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DE LA SUB-SUPERFICIE E INTEGRACIÓN

Objetivo: Reducir la incertidumbre de la caracterización del subsuelo mediante la adquisición de datos espaciales y de alta resolución. Reducir los costes de exploración al combinar diferentes métodos de exploración que se pueden aplicar para la identificación de objetivos y futuras operaciones de monitorización, [13].

IG2.- GESTIÓN DE RECURSOS EN ENTORNOS DE INSTALACIÓN DENSOS

Objetivo: Identificar métodos de diseño y conceptos organizativos que den como resultado el uso más eficaz y sostenible del espacio subterráneo mediante sistemas geotérmicos indirectos, directos y de almacenamiento, como los sistemas UTES, ATES y BTES³⁷ en áreas urbanas densas. Evaluación de la interacción entre otros usos urbanos del subsuelo (por ejemplo, subterráneos, servicios públicos subterráneos, edificios), incluidos los elementos de cimentación estructural de edificios, túneles, losas, muros de pilotes de energía, etc., con potencial geotérmico de calefacción, refrigeración y sumideros u opciones de almacenamiento, [13].

IG3.- MODELOS DE CO-SIMULACIONES DE CONSTRUCCIÓN DE CIUDADES Y SUBSUELO (MODELOS HÍBRIDOS)

Objetivo: Mejorar y desarrollar herramientas de simulación que puedan abordar la planificación urbana con herramientas de simulación de edificios integrando herramientas de simulación del subsuelo (como modelos de transporte de calor de acuíferos u otras herramientas de planificación del subsuelo) para sistemas geotérmicos cerrados y abiertos. El objetivo clave es desarrollar modelos híbridos que puedan simular la planificación energética de manera integrada que incluya la ciudad, los distritos de la ciudad, los edificios individuales y el subsuelo, [13].

IG4.- INTEGRACIÓN DE SISTEMAS DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA Y OTRAS RENOVABLES

³⁷ UTES: underground thermal energy storage ; ATES: acuífer thermal energy storage; BTES: Borehole Thermal Energy Storage

Objetivo: El objetivo clave es la combinación de tecnologías geotérmicas existentes y recientemente desarrolladas con otras tecnologías renovables a nivel de edificios, distritos y ciudades para una integración inteligente del sector. En la integración de sistemas es a menudo la combinación o hibridación entre diferentes fuentes de Energía Renovable lo que ofrece soluciones óptimas en términos de coste y eficiencia. (Por ejemplo, la demanda de electricidad para el compresor y las bombas de circulación puede cubrirse con fuentes de electricidad renovables, pero para hacerlo a gran escala, esto debe planificarse cuidadosamente teniendo en cuenta el potencial de almacenamiento de la nueva movilidad eléctrica), [13].

IG5.- INTEGRACIÓN Y GESTIÓN INTELIGENTES DEL SISTEMA DE ENERGÍA

Objetivo: La optimización de las diferentes partes del sistema de superficie es clave para descarbonizar el sistema energético. Incluye crear un diseño estandarizado que incluya cabezas de pozo, tuberías, protección contra la corrosión activa y pasiva, intercambiadores de calor, filtros y manejo de agua, así como sistemas de telecomunicaciones y control remoto. También se debe determinar los puntos débiles en diferentes tipos de emplazamientos, tamaños y tipos de salmuera y determinar los puntos débiles en la implementación de proyectos nuevos y novedosos. Se necesitan mejoras en diseños específicos para lograr menores costes de implementación y operación. (La operación y el mantenimiento son dos tipos de costos diferentes en estas tecnologías), [13].

Retos no técnicos:

Los temas técnicos propuestos en esta SRIA, [13]., se centran específicamente en un enfoque de uso final y una consideración del sistema energético más amplio en el que se pueden aplicar las tecnologías geotérmicas. La integración de la energía geotérmica ha de abordar, además, barreras no técnicas, ya sean normativas y legislativas, o la aceptación pública de la geotermia como tecnología y su inclusión en iniciativas energéticas locales y en estrategias de planificación, [13].

NT1.- LEGISLACIÓN AMBIENTAL, REGLAMENTOS DE LICENCIAS Y PERFORACIONES

Objetivo: El objetivo del tema es alinear la tecnología geotérmica y las innovaciones en perforación (colectores híbridos y de circuito cerrado, nuevos materiales y compuestos, nuevas metodologías de perforación e instalación) con la legislación ambiental y las regulaciones de perforación al demostrar la aplicabilidad en diferentes marcos legislativos. Los procesos regulatorios y de concesión de licencias/permisos para estas nuevas tecnologías y sistemas de energía geotérmica (incluidos el enfriamiento y el almacenamiento de energía) junto con los "sistemas de profundidad intermedia" y temperatura media deben evaluarse y demostrarse que no representan una barrera para el desarrollo, [13].

El despliegue de tecnologías geotérmicas innovadoras también debe considerarse en el contexto del sistema energético más amplio y donde las tecnologías de acoplamiento al suelo constituyen una parte integral de la infraestructura del edificio (geoestructuras). En el contexto de las normas de construcción, la aplicación de tecnologías geotérmicas innovadoras nuevas y existentes debe considerarse en el contexto de la implementación de edificios de energía casi nula (NZEB) en edificios históricos y de renovación donde es probable que las regulaciones actuales aumenten la contribución de las tecnologías de energías renovables. como parte de las medidas de renovación, [13].

NT2.- INTEGRACIÓN DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS EN LOS SISTEMAS DE DISEÑO Y EN LOS ESQUEMAS NACIONALES DE CERTIFICACIÓN DE EDIFICIOS

Objetivo: La implementación de la EPBD³⁸ requiere que los Estados miembros implementen estrategias con una mayor eficiencia energética y una mayor adopción de tecnologías de energía renovable tanto en edificios nuevos como en escenarios de remodelación profunda. El diseño de estos y la implementación de los estándares nZEB se están volviendo más críticos como parte de este proceso. En el sector no doméstico es cada vez más común la implementación de diseños que logran sistemas internacionales de certificación energética y de rendimiento, tales como BRE Environmental Assessment Method (BREEM), Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) y otros esquemas nacionales de certificación, [13].

³⁸ Ecbd: Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD: Energy Performance of Buildings Directive)

3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por GEOPLAT

3.2.1. ITP: Climatización con intercambio geotérmico - Mejor Técnica Disponible (MTD) para la generación de calefacción, refrigeración y ACS en todo tipo de edificios: residencial, terciario e industrial.

Descripción: La energía geotérmica someros, o de muy baja entalpía, está disponible en todo el territorio, las 24 horas del día y los 365 días del año. El terreno se mantiene a una temperatura estable, en la mayor parte de la Península entre 14 y 20°C, independientemente de la estación del año o de las condiciones meteorológicas facilitando la producción de calor y frío habitualmente mediante el uso de bombas de calor.

Se trata de una energía renovable que puede utilizarse en edificios e industrias de todo tipo mediante la instalación de sistemas de climatización con intercambio geotérmico. Estos sistemas generan energía térmica (calor, ACS y frío) con la misma instalación. Están basados en un intercambiador geotérmico (sistema de captación localizado en el subsuelo) conectado a una bomba de calor. Las tecnologías desarrolladas para aprovechar esta energía se clasifican en función de la tipología del circuito en:

- Circuito de intercambio geotérmico abierto: se capta agua, normalmente subterránea, y se reinyecta en el acuífero o se emplea en cascada para otros usos tras su aprovechamiento térmico.
- Circuito de intercambio geotérmico cerrado: emplea un fluido caloportador (normalmente agua en ocasiones con anticongelante) que circula a través de un intercambiador instalado en el terreno para extraer o disipar el calor.

El circuito de intercambio geotérmico capta la energía del subsuelo a una temperatura relativamente baja. Mediante el uso de una bomba de calor se incrementa la temperatura hasta el nivel requerido por el uso. En verano el proceso se invierte inyectando en la tierra el calor procedente de la refrigeración. El rendimiento estacional (SPF) de un sistema de intercambio geotérmico con bomba de calor bien diseñado y operado alcanza un valor promedio en torno a 4, es decir, por cada unidad de energía eléctrica que usa el sistema geotérmico, se obtienen 4 o más unidades de energía final en forma de calor o frío. Estos valores pueden incrementarse sustancialmente en el supuesto de que existan demandas simultáneas de frío y calor para cubrir.

En función del aprovechamiento de energía renovable que logra, la alta eficiencia del sistema, la reducción de emisiones y otras fortalezas ambientales los sistemas de intercambio geotérmico han sido calificados (EPA 1993) como la tecnología de climatización de espacios más eficiente y menos contaminante por lo que se le puede atribuir la condición de Mejor Técnica Disponible.

Objetivos Generales: Generar calor, frío y ACS durante las 24h del día los 365 días del año en una misma instalación altamente eficiente, con un importante aprovechamiento de energía renovable y distribuida, que puede funcionar en edificios de todo tipo: viviendas individuales, bloques, conjuntos de edificios y edificaciones del sector terciario/servicios: centros comerciales, hoteles, etc.

Conseguir aumentar la instalación de sistemas de climatización con intercambio geotérmico en Andalucía, tanto en nuevas edificaciones como en rehabilitación.

Oportunidades detectadas para el desarrollo de la ITP en Andalucía y en España: Andalucía cuenta con recurso geotérmico somero (o de muy baja entalpía) en todo su territorio. Dicho recurso es susceptible de ser aprovechado mediante sistemas de climatización con intercambio geotérmico que se instalen en edificaciones.

Las condiciones climáticas de Andalucía, con temperaturas extremas en buena parte del territorio interior y puntas de calor cada vez más comunes y extendidas, son idóneas para la implantación masiva de estos sistemas con objeto de asegurar el cumplimiento de los requerimientos de energías renovables y eficiencia energética en la edificación que figuran en la Directiva Europea de eficiencia energética en los edificios que va a ser transpuesta en el nuevo Código Técnico de la Edificación y RITE (ambos de obligatorio cumplimiento). La estabilidad térmica del foco, la capacidad de almacenamiento del terreno y la mayor

eficiencia del ciclo frigorífico intercambiando con agua frente al intercambio con aire otorgan a esta tecnología una superioridad inherente frente a cualquier otros sistemas de bomba de calor.

IMPORTANTE: a partir de la Directiva Europea de Renovables (2009/28/CE) el documento del IDAE: Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para la producción de calor en edificios <https://bit.ly/2K6l96Y>, establece el método de cálculo para determinar el rendimiento de las bombas de calor, a efectos de considerar si la producción de energía térmica se produce mediante fuentes renovables. Para el cálculo del rendimiento estacional (SPF Seasonal Performance Factor) el COP nominal, proporcionado por el fabricante en la ficha técnica de la bomba de calor y calculado para unas condiciones de temperatura determinadas, debe de multiplicarse por dos factores de acuerdo con la expresión:

$$\text{SPF} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC}$$

donde:

FP es un factor de ponderación que tiene en cuenta la zona climática.

FC es un factor de corrección entre la temperatura de uso y la temperatura para la cual se ha obtenido el COP de ensayo.

La producción de energía se considera renovable cuando el SPF obtenido es superior a 2,5.

Se trata de un sistema de climatización que puede instalarse tanto en nuevas edificaciones como en rehabilitación. No genera impacto visual alguno (por lo que es ideal para edificios históricos). Reduce los ruidos asociados y elimina las molestias por esta causa y por los reflujos de aires que provocan las tecnologías convencionales. Puede evitar el empleo de torres de refrigeración (reduciendo el riesgo asociado a la legionella). Además, no requiere ninguna combustión contribuyendo, de esta forma, a mantener una óptima calidad del aire en núcleos urbanos.

Dada la importancia del sector turístico en Andalucía, debe ponerse de manifiesto el papel que estos sistemas pueden representar para el sector hotelero en las proximidades de costa como ya ocurre en los territorios insulares y en otras zonas costeras, ya que en esas instalaciones resulta muy favorable el uso de sistemas abiertos que captan agua subterránea muy próxima a la costa. Los ahorros energéticos para los hoteles resultan muy sustanciales y la imagen para los clientes muy positiva, al suponerles un activo importante al tratarse de sistemas medioambientalmente sostenibles, que son valorados positivamente por la sociedad.

Horizonte Temporal Las tecnologías de climatización con intercambio geotérmico son relativamente noveles en España aunque pueden considerarse maduras al haber sido ampliamente probadas en países norte europeos y en USA, por lo que puede disponerse de las mismas en la actualidad. Asimismo, existen empresas españolas (entre ellas, andaluzas) con capacidad de llevar a cabo la ejecución de este tipo de sistemas de manera solvente.

Recursos Financieros necesarios para su desarrollo [1]: Deberían articularse ayudas a la inversión para la instalación de este tipo de sistemas (con un coste de instalación superior a los sistemas tradicionales fósiles, aunque se comience a ahorrar desde la primera factura y el periodo de recuperación de la inversión se va acortando progresivamente) o bien desgravaciones fiscales que favorezcan a los promotores inmobiliarios u hoteleros que opten por los mismos.

Aspectos No Financieros, Legales y Regulatorios Necesarios [2]: Resulta fundamental que la tramitación de estos permisos sea posible. Actualmente en Andalucía resulta prácticamente imposible tramitarlos, fundamentalmente por desconocimiento de los técnicos municipales competentes que interpretan que debe regularse mediante la Ley de Minas (Ley 22/1973) como si se tratara de un recurso geotérmico tradicional comprendido en la sección D de la misma. Este error supone en la práctica la paralización de los proyectos y los plazos se alargan de tal manera al no saber cómo resolverlo que resulta inasumible.

Con objeto de desbloquear esta situación, otras CC.AA. (como el País Vasco, Madrid) han optado por considerar que, en aplicación del apartado 2 del artículo 3º, estos sistemas quedan fuera del ámbito de la Ley de Minas, tramitándose los aspectos de seguridad de acuerdo al RD 863/1985 RGNBSM o, incluso, de acuerdo al 1627/1997, de seguridad y salud en las obras de construcción, en caso de que se engloben en una obra mayor y de manera análoga a lo que ocurre con otras perforaciones de menor entidad como anclajes, micropilotes, pilotes, etc.

4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL

El Grupo de Evaluación del Comité de Estrategia de ALINNE (GEVAL) se reunió el 29 de mayo de 2018 con GEOPLAT para realizar un ejercicio de subjetividad compartida que permitiera definir su opinión sobre el posicionamiento tecnológico español en tecnologías de geotermia, el valor intrínseco de éstas a nivel global y nacional, las bases de la I+D+i de esta materia en España, así como las barreras a afrontar para el desarrollo y despliegue en el mercado.

La plataforma GEOPLAT expuso, mediante presentación ante el GEVAL (**Apéndices III y IV**) su visión sobre la situación y perspectivas de tres áreas tecnológicas de geotermia (tanto para aplicaciones térmicas como para generación eléctrica), así como sus valoraciones sobre Indicadores solicitados por ALINNE para estas áreas tecnológicas cuyos resultados habían sido remitidos previamente a la reunión por GEOPLAT a ALINNE (**Apéndices I y II**).

En la reunión, GEOPLAT expuso claramente la situación perspectivas y potencialidades de esta área tecnológica y respondió de manera exhaustiva a las cuestiones del GEVAL relacionadas con los indicadores comunes del ejercicio APDTE (5 indicadores cuantitativos y 2 de posicionamiento tecnológico) además de todas aquellas cuestiones aclaratorias suscitadas por los participantes en la reunión.

Adicionalmente se llevó a cabo el ejercicio de subjetividad compartida, siguiendo la metodología de cuestiones con votación presencial de las alternativas a las 40 cuestiones comunes (de este ejercicio APDTE sobre 13 áreas tecnológicas) cuyos resultados se recogen en el **Apéndice V**.

El conjunto de la información facilitada por GEOPLAT (previamente y durante la reunión) junto con las opiniones de GEVAL y la revisión de los documentos que se incluyen en las referencias son la base de este documento de análisis sobre el potencial de desarrollo de las tecnologías de geotermia en España, con especial atención a los retos de I+D+i.

El GEVAL reconoce que la geotermia ofrece soluciones maduras especialmente en sus aplicaciones en edificios y que, puede jugar un papel significativo para la descarbonización en sectores industriales y en la generación eléctrica en determinados emplazamientos y regiones (en función de la accesibilidad a los recursos geotérmicos).

Aunque en España no disponemos aún de instalaciones geotérmicas para generación de electricidad de alta entalpía, **las aplicaciones térmicas de la energía geotérmica** se han utilizado durante muchos años y siguen desarrollándose.

Los sistemas de **intercambio geotérmico para climatización** (bombas de calor geotérmicas) se posicionan como la mejor técnica disponible para climatización de edificios (tanto viviendas como servicios) y cuentan con capacidad para ser esenciales en la descarbonización de la edificación y en el suministro y la demanda energética de las ciudades, en su camino hacia una transición energética sostenible. Según el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, la **geotermia para usos térmicos** tiene un potencial superior a los 50 GW térmicos.

Tras la presentación y discusión establecidas entre el GEVAL y los representantes de GEOPLAT, el GEVAL, en sus votaciones, opina que la industria española “tiene un nicho de mercado interesante” (43%) pero que, aún, el mercado nacional es “marginal” y que está parcialmente cubierto por tecnólogos españoles (21.4%) y por tecnólogos extranjeros (29% de las votaciones de GEVAL).

Una mayoría (56.3%) de los miembros de GEVAL reconoce a las tecnologías de geotermia ha generado un desarrollo de tejido empresarial –en términos de actividad y empleo- aun muy moderado, con ventas inferiores a 100 M€/año.

Existió acuerdo mayoritario (62.5%) en que existen mas de 10 empresas españolas o filiales españolas de empresas internacionales asociadas a las tecnologías de geotermia con adecuado posicionamiento. La cuota de mercado nacional integrada de los últimos 10 años para las empresas nacionales, se estima entre el 30% y el 50% en opinión de la mayoría de GEVAL (56.3%), mientras que mientras que un 31.3% de GEVAL opta por la opción de una cuota de mercado entre 10% y 30%³⁹.

Ha habido opinión casi unánime en el GEVAL (93.8%) en que existen “empresas españolas capaces de dar respuesta en el corto y largo plazo a los desarrollos tecnológicos necesarios”, aunque la tecnología no esté del todo desarrollada (como la geotermia de alta entalpía), con el fin de llevarlos a la cadena productiva”.

La visión de futuro del GEVAL sobre las tecnologías de geotermia es optimista, como demuestra su opinión afirmativa (81.3% de los votos) sobre la cuestión de si ya existen en España empresas preparadas para dar respuesta a los retos tecnológicos y sobre la cuestión de “creación esperada de nuevas empresas industriales españolas (incluidas nuevas ramas de actividad en industrias ya existentes) asociadas a la tecnología”: Para el año 2022 las respuestas del grupo dan un valor medio de creación de 8 nuevas empresas, y en el periodo 2022-2030 (las votaciones de GEVAL) prevén más de 11 nuevas empresas.

³⁹ En este punto del ejercicio de subjetividad compartida los representantes de GEOPLAT dicen estar “convencidos de que en la mayoría de las instalaciones de climatización con geotermia que se hacen en España, la parte del intercambiador geotérmico (los pozos) larealizan empresas españolas, aunque la bomba de calor sea, a menudo, extranjera”

La visión positiva anterior es corroborada por el GEVAL al estimar que las empresas españolas del sector alcanzarían para el período 2021-2030 cuotas de mercado nacional por encima del 30% y algo menos del 10% en el mercado internacional.

Mayoritariamente (56.3% de los votos), el GEVAL considera que las tecnologías de geotermia merecen atraer un mayor apoyo de las políticas públicas de I+D+i, concentrándolo en “proyectos de desarrollo tecnológico de colaboración público-privada, a realizar por consorcios de empresas y agentes de I+D”, un 6.3% opta por la opción de concentrar mayor apoyo en “proyectos de investigación realizados por agentes de I+D” y un 25% por la opción de atraer apoyo a los “proyectos de innovación empresarial”.

El GEVAL estima que el mercado de las tecnologías de geotermia será, para el periodo 2022-2030, de entre 10 y 500 M€/año para la tecnología española, considerando mercado nacional e internacional.

La importancia de los mercados exteriores de las tecnologías de geotermia para la industria española en el periodo 2022-2030, se dirige principalmente a Latinoamérica (81% de los votos) y a Oriente Medio y Norte de África (69% de los votos) en opinión de GEVAL (opciones no excluyentes).

Al preguntar al GEVAL sobre la orientación preferente para establecer alianzas estratégicas en terceros países **para potenciar la innovación**, se identificó a Europa como la principal región con un 100% de los votos, seguida de Latinoamérica con un 77 % y de América del Norte con un 46%.

La región de mayor interés para establecer alianzas estratégicas para la conquista del **mercado** por las empresas españolas dedicadas a geotermia, en opinión mayoritaria de GEVAL es Latinoamérica (100% de votos no excluyentes) seguida de Oriente Medio y Norte de África (93%) y de Europa (43%).

Ante la cuestión de si las tecnologías de geotermia “merecen que el país concentre un mayor esfuerzo inversor, el apoyo de otras políticas y la generación de normativa e instrumentos adecuados para que España disponga de una ventaja diferencial a medio plazo” GEVAL opina “sí, claramente”, con un 44% de sus votos, frente al 37 % que opta por “sí, con alguna reserva sobre su evolución”, lo que ratifica la opinión mayoritaria de que el país tiene ante sí una importante oportunidad en este campo.

Sobre la cuestión a GEVAL de si se considera oportuno que la geotermia disponga de mas recursos dedicados a la innovación que otras tecnologías, la opinión de GEVAL se manifestó dividida: 40% optó por el “sí”; 47% optó por el “no”, el restante 13% optó por la opción “indiferente”⁴⁰.

⁴⁰ En este punto, ante los comentarios y cuestiones de GEVAL los representantes de GEOPLAT quisieron matizar que “hay un tipo de fortalezas inherentes a la tecnología, como la energía distribuida, la captación de energía y el uso del terreno como acumulador”. ...”. Y en relación a la refrigeración, se contribuye a suavizar los picos de demanda y a bajar los consumos de manera importante”

Sobre la cuestión de si las tecnologías de geotermia se enfrentan a “retos de aceptación social”, la mayoría de GEVAL (62.5%) piensa que “sí”, mientras que un 31.5% piensa que “no” o que es “dudoso” (6%). Al mismo tiempo, también la mayoría de GEVAL (56%) opina que es factible la superación de estos problemas de aceptación (o de falta de conocimiento) social sobre la tecnología.

Las opciones elegidas para abordar problemas de aceptación social se concentran mayoritariamente (69%) en el desarrollo de “proyectos de demostración locales”.⁴¹

La plataforma tecnológica y las empresas dedicadas a las tecnologías de geotermia han identificado las barreras regulatorias que deben reformarse para la acelerar su implantación y un 70% de los miembros del GEVAL opina que es factible que se realicen estas reformas a corto plazo.

Las plantas de demostración son elementos clave para superar las etapas de investigación y avanzar de forma eficaz hacia la innovación, siendo crucial un plan eficaz y eficiente de plantas de demostración, identificando las mismas, y las fórmulas realistas para su financiación. La información suministrada por GEOPLAT en este ámbito es considerada suficiente por el 70 % del GEVAL.

Por la naturaleza y tamaño de los proyectos de demostración necesarios, se ha preguntado al GEVAL si estos son viables para ser desarrollados en España en el corto plazo. La respuesta mayoritaria de GEVAL (63%) es que “debe existir una estrategia para, combinando capacidades nacionales existentes o nuevas y externas de I+D+i, financiar su desarrollo porque existe potencial importante de maximizar el beneficio industrial en España”.

Ante la cuestión de si, en España, ¿hay una base sólida de investigación en geotermia, competitiva a nivel internacional (personal cualificado, instalaciones punteras, grupos de renombre en la generación de conocimiento y en la transferencia del mismo a la tecnología) con capacidades en los centros de I+D+i, disponiendo de masa crítica de recursos económicos, equipamientos y personal adecuado para asegurar niveles de eficiencia para alcanzar objetivos y su desarrollo nacional e internacional?” la opción elegida mayoritariamente por GEVAL (62.5%) es que “existen vínculos entre centros nacionales que se pueden potenciar a través de alianzas, acuerdos,, contratos bilaterales, etc. para alcanzar crecientes niveles de eficiencia en el desarrollo de la I+D+i y lograr alcanzar una masa crítica o una focalización de esfuerzos adecuada”.

Se considera (en opinión del 56% de GEVAL) que se debe hacer un esfuerzo especial para dotar de infraestructuras de I+D+i necesarias para el desarrollo de la geotermia en España.

⁴¹ GEOPLAT ya está abordando esta aproximación como muestra la segunda parte de la presentación (centrada en proyectos de demostración, Apéndice II) que realizó ante el GEVAL

En opinión de la mayoría de GEVAL (75%) , la capacidad de los centros de I+D+i en tecnologías de geotermia NO recogen las áreas de homologación y certificación adecuadamente las necesidades de homologación y certificación y que es necesario que se desarrollen.

Para una “adecuada organización de la I+D+i en estas tecnologías, que favorezca la consecución de los objetivos”, en opinión del 44% de GEVAL “estaría justificado crear líneas de priorización o programas de financiación” y otro 44% opina que “deberían proponerse cambios en los planes de acción y coordinación”. La mayoría de GEVAL considera que los apoyos a la I+D+i en estas tecnologías son mucho mas “generales” (94%) que prioritarios (6%).

La opinión del GEVAL en cuanto a si los desarrollos tecnológicos en el sector de la geotermia, llevados a cabo en España por empresas y centros de investigación, son conocidos y valorados fuera de nuestro país es, en un 56%, que “no mucho” y un 38% opta por la opción de “algo conocida”. GEVAL también considera mayoritariamente que los centros de I+D+i españoles con actividad en geotermia no son muy conocidos.

Como en otros campos de la investigación de nuestro país, la actual capacidad de transferir conocimiento desde la Ciencia y la Tecnología y mercado se considera aceptable por un 56% de GEVAL, mientras que se considera más una asignatura pendiente (en opinión del 44%). No obstante, la penetración de los nuevos desarrollos tecnológicos en el mercado, en opinión del 63% de GEVAL, “requerirá de apoyos públicos vía instrumentos de financiación y empuje privado”.

La Plataforma tecnológica GEOPLAT, ha identificado y definido Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs), que identifican, con probabilidad de éxito, productos o servicios con potencial mercado y creación de actividad económica, lo cual sería muy deseable para defender la importancia de estas tecnologías para la economía del país, claramente defendida por el GEVAL a lo largo de este ejercicio. No obstante estas ITPs necesitarían apoyos (financieros, normativos, etc.) para su desarrollo.

El GEVAL considera mayoritariamente (93%) “que sería útil, para acelerar la entrada en el mercado de estas tecnologías, que la Administración defina líneas prioritarias y propuestas de financiación específicas para las tecnologías de geotermia después de consultar con los expertos”.

Finalmente, a la pregunta de si se considera que las tecnologías de geotermia pueden ser claves para la transición energética en el marco de la UE, la respuesta del GEVAL fue mayoritariamente (56%) afirmativa asignándole un papel de tecnología de apoyo (como parte de la solución) en la transición energética.

5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES

5.1. Contribuciones y Expertos Participantes

Redactor(es) del Anexo:

Félix M. Téllez

Contribución y Revisión desde la PTE-GEOPLAT, Ciemat y ALINNE:

Íñigo Arrizabalaga (GEOPLAT),
Celestino García (GEOPLAT),
Margarita de Gregorio (GEOPLAT).

Ramón Gavela
Juan Avellaner

Miembros de GEVAL-ALINNE que han participado en el ejercicio de análisis de este ANEXO:

Marta Llinás (ACS), Luisa Revilla (CDTI), Enrique Soria (CIEMAT), Félix Téllez (CIEMAT), Fernando Recreo (CIEMAT), Ignacio Cruz (CIEMAT), José Antonio Ferrer (CIEMAT), Nieves Vela (CIEMAT), Silvia Soutullo (CIEMAT), Sonsoles Egulior (CIEMAT), Maximiano Bernabé (CNH2), Javier Alonso (GAS NATURAL FENOSA), Diego García (IMDEA Energía), Ana Lancha (MEIC), Unai Búrdalo (REE), Íñigo Urra (TECNALIA) y Emilio Cerdá (UCM).

Secretaría Técnica de ALINNE:

Felix Téllez (CIEMAT), Jorge de Berenguer (CIEMAT)

5.2. Agradecimientos

Las actividades de ALINNE cuentan con **patrocinio público y privado**. Desde el sector público colaboran: **CIEMAT, CRUE, CSIC, IDAE, Mº de Ciencia, Innovación y Universidades (Agencia Estatal de Investigación, Dirección General de Política de la I+D+i y Dirección General de Industria y de la PYME), Mº para la Transición Ecológica (Subdirección General de Eficiencia Energética y Oficina Española de Cambio Climático) y la Universidad de Zaragoza**. Desde el sector privado se cuenta con la participación de ocho empresas: **ACS-SCE; ALBUFERA ENERGY STORAGE; ESTEYCO; GEOTER; IBERDROLA; NATURGY; REE y SIEMENS-GAMESA**.

Actualmente, estas actividades cuentan, además, con la financiación pública del proyecto **“Red de Excelencia ENE2017-90816-REDE”**

5.3. Referencias Bibliográficas

- [1]. IEA (2011), "[Technology Roadmap. Geothermal Heat and Power](#)"
- [2]. IDAE (2008), "[Manual de Geotermia](#)"
- [3]. CORDIS (2020), "[CORDIS Results Pack on geothermal energy: A new and viable alternative energy source to help achieve Europe's climate ambitions](#)"
- [4]. GEOPLAT (2015), "[Análisis del sector de la energía geotérmica en España](#)"
- [5]. John W. Lund and Aniko N. Toth (2021), "[Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review](#)". Proceedings World Geothermal Congress 2020+1, Reykjavik, Iceland, April - October 2021
- [6]. Global Geothermal Alliance & IRENA (2021), "[TAP INTO GEOTHERMAL INSIGHTS AND EXPERIENCE](#)"
- [7]. JRC-EU (2019), "[Geothermal Energy. Technology Market Report](#)". Low Carbon Energy Observatory, EUR 29933 EN
- [8]. ETP-RHC (2012). European Technology Platform-Renewable Heating and Cooling" [Strategic Research Priorities for Geothermal Technology](#)"
- [9]. GEOPLAT (2011). "[Agenda Estratégica de Investigación](#)"
- [10]. Fleuchaus et al. (2018) "[Aplicación mundial del almacenamiento de energía térmica en acuíferos: una revisión](#)"
- [11]. APPA (2021) "[Estudio del impacto macroeconómico de las energías renovables 2020](#)"
- [12]. IRENA (2021), "[Renewable Power Generation Costs in 2020](#)"
- [13]. ETIP-RHC (2020). European Technology and Innovation Platform-Renewable Heating and Cooling" [Strategic Research Innovation Agenda for Geothermal Technologies](#)"

5.4. Abreviaturas

ACS	Agua Caliente Sanitaria
ASC / HSA	Acuífero Sedimentario Caliente / Hot Sedimentary Aquifer
ASET / UTE	Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica / Underground Thermal Energy Storage
ATA / ATES	Almacenamiento Térmico en Acuífero / Aquifer Thermal Energy Storage
BC	Bomba de Calor
BCFA / ASHP	Bomba de Calor de Fuente Aerotérmica / Aerothermal Source Heat Pump
BCGT o BCFG / GSHP	Bomba de Calor Geotérmica o de Fuente Geotérmica / Geothermal Source Heat Pump
BTES	Borehole Thermal Energy Storage (Almacenamiento de energía térmica en pozos)
CHPM	Combined Heat, Power and Metals (calor, electricidad y extracción de metals combinados)

EE.RR.	Energías Renovables
EPC	Costes de ingeniería, adquisición y construcción (del inglés: engineering, procurement and construction)
ETIP	European Technology and Innovation Platform (Plataforma Europea en Tecnología e Innovación)
ETS /SGE	Enhanced Geothermal System / Sistemas Geotérmicos Estimulados
GEA	Geothermal Energy Association
geoDH	Geothermal District Heating (Calefacción geotérmica de Distrito)
GEVAL	Grupo de Evaluación (en ALINNE)
GGA	Global Geothermal Alliance
GSHP	Ground Source Heat Pump (Bomba de calor de fuente terrestre)
GWHP	Groundwater Heat pump (Bomba de calor de agua subterránea)
GW _t , GW _e	Gigavatio térmico, gigavatio eléctrico
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
LCOE	Coste ponderado de la electricidad (del inglés: levelized cost of electricity)
NZEB	Net Zero Energy Building (Edificio de Energía neta cero)
RCS / HDR	Roca Caliente Seca / Hot Dry Rock
RHC	Renewable Heating and Cooling (Calefacción y Refrigeración Renovable)
SGE / EGS	Sistemas Geotérmicos Estimulados / Enhanced Geothermal Systems
UTES / ATES	Underground Thermal Energy Storage (Almacenamiento Térmico Subterráneo)

5.5. Apéndices

- **Apéndice I:** Valoración **Indicadores** solicitados por ALINNE sobre **Generación Térmica con Geotermia**. (libro Excel, 15 hojas de datos + 4 hojas de introducción/explicación. Fecha: 11/04/2018) realizada por GEOPLAT
- **Apéndice II:** Valoración **Indicadores** solicitados por ALINNE sobre **Generación Eléctrica con Geotermia**. (libro Excel, 15 hojas de datos + 4 hojas de introducción/explicación. Fecha: 11/04/2018) realizada por GEOPLAT
- **Apéndice III** Presentación de la PTE GEOPLAT ante GEVAL sobre “**CRITERIOS DE ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS** de Geotermia, 30/05/2018:
- **Apéndice IV** Presentación de la PTE GEOPLAT ante GEVAL sobre (proyectos) de “**Demostradores**” de Implementación de Geotermia en España, 30/05/2018:
- **Apéndice V:** Resultados del ejercicio de subjetividad compartida de GEVAL sobre las 40 cuestiones (comunes a todas las tecnologías) y notas de la reunión realizado tras la presentación de GEOPLAT. 29/05/2018

Historial de Cambios

(Este historial solo aparecerá en el Borrador)

Version	Fecha	Modificado por	Cambio realizado
0	4/6/2019	ALINNE (FT)	Plantilla y propuesta contenidos del Anexo (Inclusion de los resúmenes de las ITPs de GEOPLAT).
1	30/3/2022	ALINNE (FT)	Redaccion Secciones 1 y 2
2	6/5/2022	ALINNE (FT)	Borrador completo