INFORME FINAL 2013

GEO-ELEC

1 Introducción 6
2 Tecnología: Situación actual y evoluciones 7
2.1 Tecnologías 7
2.2 Beneficios de la producción de electricidad con energía geotérmica 9
2.3 Evolución del mercado 12
3 Análisis de la base de recursos geotérmicos en Europa 15
3.1 Definiciones básicas y buenas prácticas 15
3.2 Metodología de análisis de recursos en GeoElec 20
3.3 Potencial económico de la energía geotérmica para generación eléctrica en Europa 26
3.4 WebSIG 32
3.5 Código de elaboración de informes para recursos y reservas 32
4 Financiación de proyectos geotérmicos 38
4.1 Desarrollo de proyectos geotérmicos: Fases y conocimientos 39
4.2 Financiación de un proyecto geotérmico 42
4.3 Parámetros y escenarios para un Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico (EGRIF) 47
- La fase de exploración 52
- El riesgo a corto plazo 53
- El riesgo a largo plazo 53
4.4 Análisis de costes 53
4.5 Ingresos 55
4.6 Software para preevaluar la viabilidad financiera 58
5 Mercado y tecnología de perforación 61
5.1 Análisis del mercado de perforación de energía geotérmica profunda en Europa 61
5.2 Base de datos de compañías de perforación profunda 64
5.3 Manual de buenas prácticas 64
6 Regulaciones: Situación y recomendaciones 68
6.1 Resumen del marco regulatorio geotérmico en Europa 68
6.2 Propuestas para la mejora del marco regulatorio 71
7 Impacto/beneficios medioambientales y aceptación social 74
7.1 Resumen de los impactos medioambientales y medidas de mitigación 74
7.2 Potencial de mitigación de CO_2 75
7.3 Aceptación pública 78
8 Déficit de formación y Plan de acción para establecer un sistema educativo y crear empleos con la energía geotérmica 84
8.1 Plan de formación existente para la energía geotérmica en Europa 84
8.2 Actividades de formación de GeoElec 86
8.3 Recomendaciones sobre la educación y formación en energía geotérmica 87
8.4 Empleo en energía geotérmica en Europa 88
8.5 Recomendaciones para la creación de empleos en Europa 89
Conclusiones: Un plan de acción para la generación de electricidad con energía geotérmica para Europa 92

Listado de abreviaturas y principales acrónimos empleados

AGEA	Asociación de Energía Geotérmica de Australia
CanGEA	Asociación de Energía Geotérmica de Canadá
CHP	Combinación de electricidad y calor
EIA	Evaluación de impacto medioambiental
EGEC	Consejo Europeo de la Energía Geotérmica
EGRIF	Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico
EGS	Sistemas geotérmicos estimulados
EU	Unión Europea
GHG	Gas de efecto invernadero
SIG	Sistema de información geográfica
HIP	Calor in situ
HSA	Acuífero caliente asociado a cuencas sedimentarias profundas
LCoE	Coste normalizado de la energía
PANER	Planes de acción nacionales de energía renovable
ORC	Ciclo Orgánico de Rankine
PPA	Acuerdo para la compra de energía
FER	Fuentes de energías renovables
Directiva FER	Directiva 2009/28/EC sobre la promoción del uso de energía de fuentes renovables
RoI	Retorno de la inversión
SPV	Entidad de propósito especial
TC	Capacidad teórica
TP	Capacidad potencial
TPLCoE_p	Potencial técnico económico
WFD	Directiva marco sobre el agua

Listado de figuras

Figura 2.1: Evolución de los precios de la energía en Alemania 10
Figura 2.1: Número de plantas de generación eléctrica con energía geotérmica en Europa 12
Figura 2.3: Desglose de la capacidad instalada en Europa por país 13
Figura 3.1: Diagrama de McKelvey que indica la terminología de reservas y recursos geotérmicos en el contexto de la seguridad geológica y la viabilidad económica 16
Figura 3.2: Ejemplo de diferentes tipos de emplazamientos para sistemas geotérmicos 17
Figura 3.3: Posicionamiento relativo en gradientes de temperatura y profundidad de los distintos tipos de emplazamiento, y posicionamiento del desarrollo de EGS. 17
Figura 3.4: Eficiencias de conversión alcanzadas en diversas instalaciones de producción geotérmica, incluyendo sistemas binarios y flash 18
Figura 3.5: Márgenes de incertidumbre para estimaciones de recursos y reservas, y eje de comercialidad de proyectos que las hace pasar de recursos potenciales a recursos contingentes y, posteriormente, a reservas 19
Figura 3.6: Representación de los diversos niveles de categorización de recursos, avanzando desde global, a basado en prospecto, hasta perforación y producción. 20
Figura 3.7: Flujo de trabajo esquemático que va desde el potencial teórico hasta el potencial técnico real 23
Figura 3.8: Costes de pozos y sensibilidades del LCoE previsto según los parámetros de entrada para el escenario de 2030 con una ubicación potencial de EGS a una profundidad de 5 km con una temperatura prevista de recursos de 200°C. 24
Figura 3.9: Temperatura modelada a 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 km de profundidad 25
Figura 3.10: LCoE mínimo para 2020 (en €/MWh) 31
Figura 3.11: LCoE mínimo para 2030 (en €/MWh) 31
Figura 3.12: LCoE mínimo para 2050 (en €/MWh) 31
Figura 3.13: Vista previa y descripción del visualizador de potencial online de GeoElec 32
Figura 4.1: Fases de un proyecto geotérmico 39
Figura 4.2: Participantes en el desarrollo de un proyecto geotérmico 41
Figura 4.3: Parámetros esenciales para el éxito económico 42
Figura 4.4: Instrumentos financieros empleados para financiar las distintas fases de un proyecto geotérmico 43
Figura 4.5: Financiación de proyecto de una entidad de propósito especial 44
Figura 4.6: La estrategia de riesgo adecuada 46
Figura 4.7: Concepto de cobertura de seguro para proyectos de geotermia profunda 46
Figura 4.8: Riesgo e inversión acumulada a medida que avanza el proyecto 47
Figura 4.9: Coste de inversión acumulada y riesgo en proyectos geotérmicos 49
Figura 4.10: Desglose de los costes de capital en un proyectos de EGS de 5 MWe en Alemania 54
Figura 4.11: Ejemplo de una planta eléctrica binaria de baja entalpía de 5MWe en Europa Central 54
Figura 4.12: Sistemas de tarifas en Europa. 56
Figura 4.13: Ingresos de un proyecto geotérmico: calor y electricidad 57
Figura 5.1: Costes de perforación frente a precios de crudo 62
Figura 6.1: Condiciones clave de GeoElec para alcanzar normas efectivas de concesión de licencias geotérmicas 71
Figura 6.2: Descripción del proceso de concesión de licencias recomendado por GeoElec 72
Figura 7.1: El triángulo de aceptación social de la innovación de la energía renovable 79
Figura 7.2: Cuadrado/triángulo de generación de energía 80

Figura 7.3: Implementación de energías renovables 81
Figura 8.1: Resumen de la industria geotérmica 89

Listado de tablas

Tabla 3.1: Tipos de mapas potenciales en el sistema de información.....23
Tabla 3.2: Mapas adicionales basados en los cálculos de la malla en 3D.....23
Tabla 3.3: Consideraciones para el estudio de la posible ubicación 27
Tabla 3.4: Resumen de los valores límite para los escenarios definidos 27
Tabla 3.5: Resumen de mapas disponibles en el informe.....27
Tabla 3.6: Potencial económico por país.....29
Tabla 4.1: Descripción de los sistemas de seguro nacionales en Europa.....50
Tabla 7.1: Resumen del posible impacto de los proyectos geotérmicos en las distintas fases de desarrollo.....74
Tabla 7.2: Potencial de ahorro neto de CO_2 de la energía geotérmica en la Unión Europea comparado con el sector del carbón y el gas.....78

1 INTRODUCCIÓN

Pese a que la energía geotérmica lleva más de un siglo proporcionando una electricidad de carga base al mundo, es algo normalmente desconocido en proyecciones nacionales y europeas de suministro de energía. Esto podría deberse a la extendida interpretación errónea de que el recurso geotérmico está únicamente relacionado con sistemas hidrotérmicos de alto grado que son demasiado escasos y limitados en su distribución en Europa como para causar un gran impacto a largo plazo a nivel europeo/nacional.

Esta interpretación ha provocado la infravaloración del potencial a largo plazo de la energía geotérmica, pues se ha perdido la oportunidad para desarrollar tecnologías para la extracción de calor de grandes volúmenes de roca caliente accesible en cualquier lugar de Europa. De hecho, muchos de los atributos de la energía geotérmica como, por ejemplo, su amplia distribución, disponibilidad las 24 horas del día todo el año, su capacidad de proporcionar carga base sin necesidad de almacenamiento y flexibilidad, tamaño reducido, y prácticamente cero emisiones de gas invernadero, son deseables para obtener un futuro de energía sostenible para la UE.

Para desarrollar el potencial geotérmico se necesita también un marco regulatorio adecuado y una mayor implicación del sector privado; sin embargo, no todas las instituciones financieras y los inversores privados están familiarizados con la complejidad de la tecnología geotérmica, sus desafíos y las ventajas medioambientales y económicas.

En este contexto, el objetivo de GeoElec, un proyecto cofinanciado por la Unión Europea a través del Programa de energía inteligente, es informar a los encargados de tomar decisiones del potencial de generación eléctrica con energía geotérmica en Europa, animar a bancos e inversores a financiar las instalaciones de energía geotérmica y, en última instancia, atraer a potenciales inversores clave como compañías de petróleo y gas y servicios públicos de electricidad para invertir en el sector.

El consorcio (el Anexo II contiene un listado complete de los socios de GeoElec) incluye a 7 Estados miembros de la UE (Bélgica, Francia, España, Alemania, Países Bajos, Italia y Grecia) e Islandia. No obstante, el objetivo es crear un impacto más allá de los países del proyecto.

Este informe final pretende, entre otras cosas, mostrar la contribución potencial de generación eléctrica con energía geotérmica en toda la UE y en otros países como Turquía, Islandia y Suiza a corto y medio plazo. Asimismo, presenta todos los demás resultados principales obtenidos a lo largo de los treinta meses de trabajo entre 2011 y 2013, y ofrece recomendaciones para un plan de acción que elimine las barreras financieras, legales, sociales y medioambientales y promueva una mano de obra suficiente y adecuada. En otras palabras, allana el camino para el desarrollo pleno del potencial de generación eléctrica con energía geotérmica en Europa.

2 TECNOLOGÍA: SITUACIÓN ACTUAL Y EVOLUCIONES

2.1 Tecnologías

Hasta hace poco más de un siglo, la explotación de recursos geotérmicos se realizaba principalmente con un fin lúdico; aguas termales y baños geotérmicos. Fue al comienzo del siglo XX cuando se inició el desarrollo activo de los recursos geotérmicos para fines de suministro eléctrico. La primera producción con éxito de electricidad a partir de calor geotérmico se consiguió en Larderello, Italia, en 1904.

Desde este periodo, la producción de electricidad con energía geotérmica ha ido aumentando de manera constante, aunque se ha concentrado en zonas donde hay disponibles recursos hidrotérmicos a alta temperatura. Los sistemas tecnológicos para la producción de electricidad con geotérmica pueden subdividirse en tres grandes categorías, vinculadas a los intervalos de temperatura:

Temperatura mínima de producción: 80°C - 150°C (Recursos de media entalpía): este intervalo de temperatura es adecuado para el empleo con plantas binarias (Ciclo Orgánico de Rankine o Kalina), con una potencia típica en el rango 0,1-10 MWe. Estos sistemas son aptos también para la generación combinada de calor y electricidad, normalmente para la calefacción de edificios o ciudades pequeñas;

Temperatura mínima de producción: 150°C - 390°C (Recursos de alta entalpía): las temperaturas de este intervalo pueden explotarse con plantas híbridas, flash y de vapor seco, con una potencia típica en el rango 10-100 MWe. Estos sistemas permiten también la generación combinada de calor para la calefacción de distritos de ciudades grandes. Por encima de 200°C, estos recursos suelen limitarse a zonas volcánicas.

Temperatura mínima de producción: 390°C (Recursos súper críticos no convencionales): las temperaturas de este intervalo, limitadas a zonas volcánicas, suelen ir asociadas a plantas de vapor seco sobrecalentado, con una potencia por unidad de volumen de fluido de hasta un orden de magnitud mayor que en recursos convencionales.

Además del intervalo de temperatura, los métodos de explotación pueden subdividirse a su vez en dos categorías: electricidad geotérmica convencional (turbinas de vapor flash y vapor seco) y de baja temperatura (binaria).

- **Electricidad geotérmica convencional: turbinas de vapor flash y vapor seco**

Esta tecnología, que opera con grandes reservas hidrotérmicas a temperaturas altas (esto es, por encima de 150°C), como las que se encuentran en la Toscana (Italia) e Islandia, existe desde hace ya

100 años y sigue siendo plenamente competitiva con un coste total aproximado de 0,07 €/kWh, externalidades y costes de sistemas incluidos.

Flash: El agua, a una temperatura y presión altas, sube a la superficie, donde accede a una cámara de baja presión y se 'proyecta' en forma de vapor. La presión creada por este vapor se canaliza a través de una turbina que gira para generar energía eléctrica. Una vez que el vapor sale de la turbina, se libera a la atmósfera como vapor de agua o vuelve a enfriarse para convertirse en agua líquida y se inyecta de nuevo en el subsuelo.

Vapor seco: las plantas de vapor seco emplean directamente un vapor que se canaliza por tuberías desde los pozos de producción hasta la planta, y que luego se dirige a las hojas de las turbinas. Las turbinas de vapor seco convencionales requieren fluidos de al menos 150°C y están disponibles con escapes atmosféricos (contrapresión) o de condensación.

Lamentablemente, es muy poco probable que se descubran nuevas reservas geotérmicas de gran tamaño en Europa. Por este motivo, los nuevos proyectos deberán adaptarse a recursos más pequeños y de menor temperatura.

- **Electricidad geotérmica hidrotérmica de baja temperatura: Binarias: Ciclo Kalina y ORC**

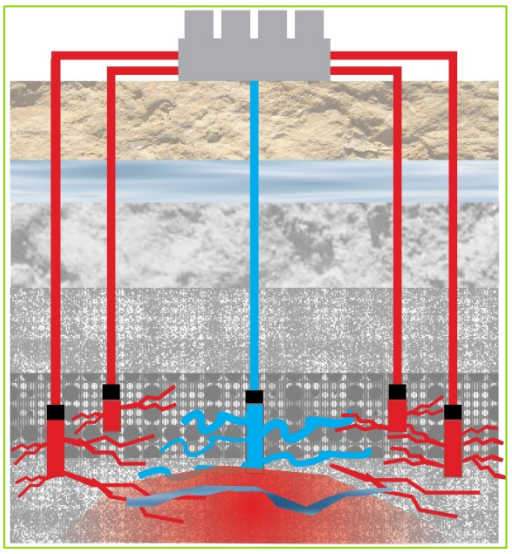
Las plantas binarias, también conocidas como Ciclo Orgánico de Rankine (ORC) o Ciclo Kalina, operan normalmente con aguas a intervalos de temperatura de 100 a 180°C. La selección del fluido de trabajo, combinada con condiciones beneficiosas como el acceso a una refrigeración efectiva, puede permitir la producción con temperaturas a partir de 80°C.

En un sistema binario, el calor del agua se transfiere a otro líquido con una temperatura de ebullición más baja. Este otro líquido se denomina 'fluido de trabajo'. Cuando el agua geotérmica caliente sube a la superficie desde el subsuelo profundo, pasa a través de un 'intercambiador de calor' que transfiere el calor del agua geotérmica al fluido de trabajo líquido. Dado que el fluido de trabajo hierve a una temperatura baja, se vaporiza fácilmente con menos calor geotérmico, y esta vaporización produce la presión suficiente para activar una turbina. Lo que diferencia al sistema binario es que opera dos ciclos cerrados (por consiguiente, binario); ni el agua geotérmica ni el fluido de trabajo se exponen el entorno de la superficie. Toda el agua subida a la superficie debe ser reinyectada y, tras la vaporización, el fluido de trabajo se enfría hasta pasar a estado líquido para poder repetir el proceso. No hay emisiones en el ciclo geotérmico binario.

- **Más allá de la energía hidrotérmica: sistemas geotérmicos estimulados – EGS**

La energía geotérmica tiene el potencial para realizar una contribución más significativa al mix eléctrico europeo a través del desarrollo de tecnologías avanzadas, especialmente el desarrollo de recursos de piedra caliente mediante el empleo de técnicas de EGS que permitirían la recuperación de energía térmica desde fuera de regiones tradicionalmente favorables.

Un EGS es una reserva subterránea que ha sido creada o evolucionada artificialmente. El concepto de EGS va a incrementar en gran medida el potencial geotérmico, pues permite la producción de electricidad con energía geotérmica prácticamente en cualquier lugar de Europa con temperaturas medias y bajas.



Sistema geotérmico estimulado (EGS)

Este concepto requiere:
- Emplear sistemas de fracturas naturales en el basamento
- Aumentar la permeabilidad mediante la estimulación
- Instalar un sistema de pozos múltiples
- Mediante bombeo y elevación, forzar la migración del agua a través del sistema de fracturas de permeabilidad mejorada ("reservar") y emplear el calor para la producción de energía.

2.2 Beneficios de la producción de electricidad con energía geotérmica

- **Una fuente de energía renovable gestionable que proporciona carga base (sin intermitencia)...**

La energía geotérmica posee muchas cualidades evidentes. Una de las más destacadas es que no depende de las condiciones climáticas, a diferencia de la energía eólica o solar. En consecuencia, puede proporcionar carga base. Esta característica hace que la energía geotérmica sea una de las más fiables entre todas las energías renovables, pues las plantas pueden operar hasta el 95 por ciento del tiempo. Este factor de carga hace que algunas plantas de energía geotérmica sean ya competitivas con centrales nucleares y de combustibles fósiles.

Pero la electricidad generada con energía geotérmica es también gestionable, ya que puede aumentarse o disminuirse a demanda, contribuyendo así a la estabilidad de la red. Asimismo, las plantas geotérmicas pueden mantener su productividad durante muchos años. Normalmente, tienen una vida útil de 30 a 50 años hasta que el equipo se desgasta. De hecho, la primera planta geotérmica del mundo, establecida en Larderello, Italia, fue inaugurada en 1913 y sigue siendo productiva.

- **Garantiza la estabilidad de los precios…**

El desarrollo y el empleo de recursos geotérmicos para producir electricidad pueden ayudar a proteger frente a la volatilidad y el aumento de los precios de la electricidad (Figura 2.1). El coste de los combustibles que se emplean para generar la electricidad influyen en el precio final de la electricidad producida. Por una parte, los combustibles fósiles han tenido tradicionalmente un precio bajo, pero sus costes van en aumento. Por otra parte, el coste de la energía geotérmica depende principalmente de los costes de capital, ya que el combustible es gratuito y los costes de operación y mantenimiento son muy limitados. Las tecnologías geotérmicas emergentes poseen un potencial significativo de reducción de costes y alcanzarán la competitividad plena en 2030.

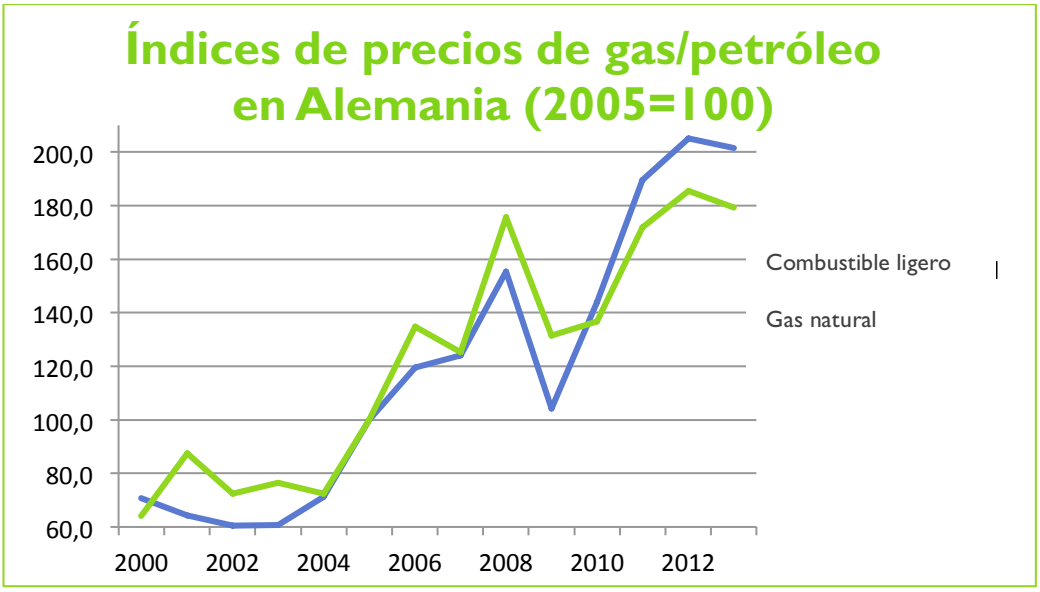


Figura 2.1: Evolución de los precios de la energía en Alemania (Fuente: Destatis)

- **Aumenta la seguridad de suministro…**

Como recurso renovable y doméstico, la energía geotérmica permite la diversificación del mix eléctrico. El empleo de esta fuente de energía local reduce la cantidad de combustible que deben importar los países y, por lo tanto, aumenta su seguridad de suministro.

- **Es escalable…**

La producción de energía geotérmica es escalable. Es posible que se cuente con un proyecto geotérmico muy pequeño, que pertenece y está dirigido, por ejemplo, por un municipio, por lo que es necesario disponer de políticas de escalado específicas.

- **Ofrece una electricidad limpia…**

Todas las actividades humanas tienen impacto sobre la naturaleza. Sin embargo, comparada con otras fuentes de energía, la geotérmica tiene un impacto medioambiental insignificante (véase el informe de GeoElec "Estudio medioambiental sobre la energía geotérmica"). De hecho, los sistemas de energía geotérmica no necesitan combustión. Por ello, emiten únicamente una pequeña cantidad de gases de efecto invernadero; si tomamos el CO_2 como referencia, las plantas geotérmicas binarias

de ciclo cerrado tienen cero emisiones de CO_2. Asimismo, las plantas geotérmicas producen solo una pequeña cantidad de emisiones a la atmósfera, en comparación con los combustibles fósiles, y, a diferencia de otras energías renovables como la solar o la biomasa, tienen un impacto ecológico muy pequeño.

- **O electricidad y calor combinados…**

En un proceso combinado, los recursos geotérmicos pueden emplearse para generar electricidad y calor. Al producir calor y electricidad se optimiza el factor de eficiencia de la producción de energía y se aumenta el flujo de efectivo. Existen muchos tipos de aplicaciones de uso directo para el calor geotérmico: invernaderos, acuicultura, procesos industriales, procesos agrícolas, baños y spas, y calefacción y refrigeración urbana.

- **… y fomenta el desarrollo económico sostenible a nivel local**

El empleo de recursos geotérmicos puede ofrecer oportunidades económicas a países en forma de impuestos, regalías, exportación de tecnología y empleo. Debido a las condiciones geológicas específicas, estos trabajos requieren un conocimiento exhaustivo de las condiciones locales y no pueden exportarse. Por lo tanto, las inversiones en energía geotérmica pueden impulsar las economías locales y mejorar las condiciones medioambientales urbanas.

CUADRO I

BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA

- ✓ UNA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE GESTIONABLE QUE PROPORCIONA CARGA BASE
- ✓ GARANTIZA LA ESTABILIDAD DE LOS PRECIOS
- ✓ AUMENTA LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO
- ✓ ES ESCALABLE
- ✓ OFRECE UNA ELECTRICIDAD LIMPIA
- ✓ O ELECTRICIDAD Y CALOR COMBINADOS
- ✓ Y FOMENTA EL DESARROLLO ECONÓMICO SOSTENIBLE A NIVEL LOCAL

2.3 Evolución del mercado

La generación de electricidad con energía geotérmica en Europa está en constante evolución, no solo en áreas tradicionales, sino también en áreas con recursos de temperaturas bajas-medias mediante la utilización de tecnologías de plantas binarias. De hecho, tras varios años evolucionando a un ritmo más lento en Europa, el mercado de la energía geotérmica para generación eléctrica ha disfrutado de un nuevo impulso en los cinco últimos años.

Actualmente hay 68 plantas geotérmicas en 6 países europeos (Italia, Islandia, Turquía, Portugal, Francia, Alemania y Austria) que, en conjunto, suman un total aproximado de 1,8 GWe, produciendo alrededor de 11 teravatios-hora (TWh) de energía eléctrica cada año (*EGEC Market Report 2013/2014*).

De acuerdo con el Informe del mercado geotérmico de EGEC 2013, actualmente hay 74 proyectos en marcha en Europa, los cuales aumentarían la capacidad total instalada hasta los 2,7 GWe en 2017. Asimismo, se están analizando 144 proyectos en estos momentos. En la Figura 2.2 se muestran las plantas de energía geotérmica instaladas y proyectadas en Europa hasta 2020.

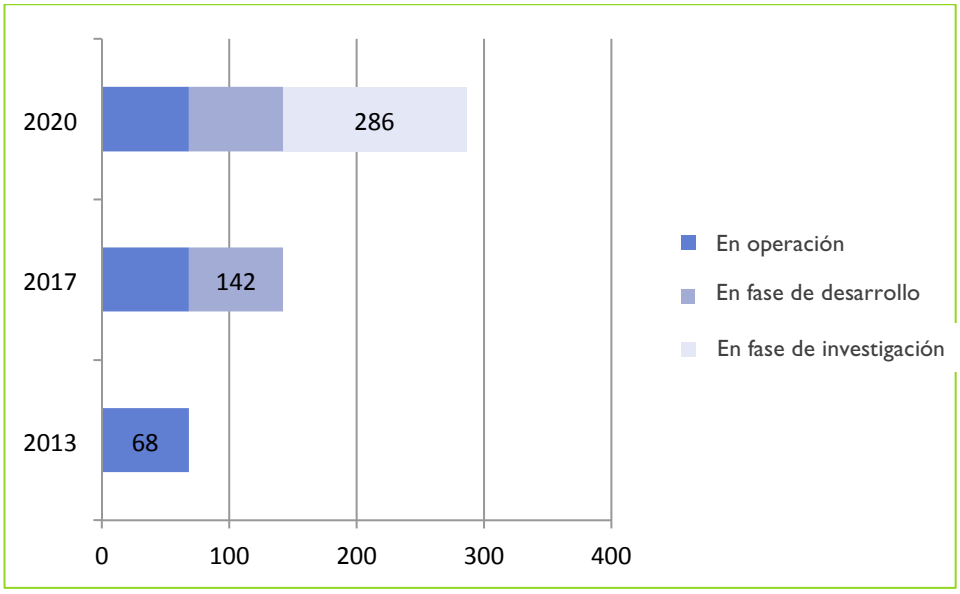


Figura 2.2: Número de plantas de energía geotérmica en Europa.
Fuente: Informe del mercado geotérmico de EGEC 2013/2014.

Italia domina el mercado con más del 50% de la capacidad europea; esto es, 875 MWe. Tras la liberalización del mercado geotérmico italiano (Decreto Legislativo n. 22, 2010), se han remitido más de 130 solicitudes de permisos de investigación para la explotación y el desarrollo de la energía geotérmica. Muchos de los nuevos partícipes operan ahora en actividades de explotación, preparándose para el desarrollo futuro de la energía geotérmica en el país.

Islandia ha instalado 7 plantas eléctricas, que aúnan una capacidad de 662 MWe. Actualmente, se están desarrollando cerca de 300 MWe con 5 nuevos proyectos. Asimismo, se están investigando otros 5 proyectos; entre ellos destaca uno especialmente, el proyecto de perforación profunda de Islandia, que podría proporcionar una enorme cantidad de electricidad en caso de lograr explotar con éxito los recursos súper críticos.

En **Turquía**, el mercado está en pleno auge. De acuerdo con los proyectos bajo desarrollo e investigación, la capacidad instalada debería aumentar de los 242 MWe actuales (10 plantas) al triple para 2017, hasta alcanzar 1 GWe en 2020.

Francia (Guadalupe) y **Portugal** (Azores) llevan desarrollando plantas de generación eléctrica con energía geotérmica en las islas del Atlántico desde los años ochenta; esta evolución sigue su curso con la 3ª unidad en Geothermie Bouillante y la planta Pico Vermelho para 2016. Francia alberga el primer proyecto piloto de EGS (Soultz), que fue inaugurado en 2008. Al menos otros 12 proyectos de EGS están siendo estudiados, y el gobierno cada vez concede más permisos para investigación y exploración. La Figura 2.3 muestra un desglose de la capacidad instalada actual y esperada en Europa por país.

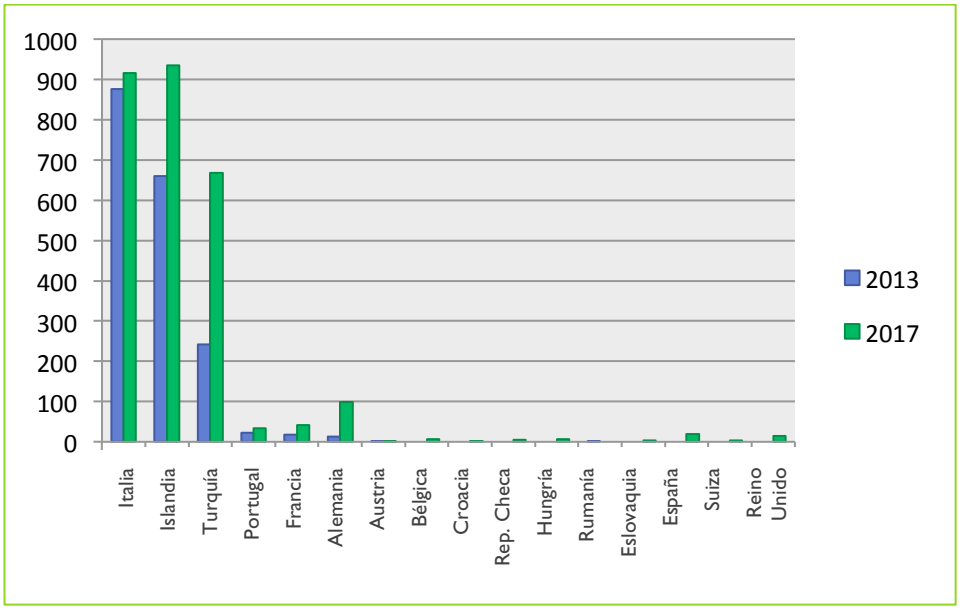


Figura 2.3: Desglose de la capacidad instalada en Europa por país (MWe). Fuente: Informe del mercado geotérmico de EGEC 2013/2014.

Sin embargo, lo que cabe destacar es que la generación eléctrica con energía geotérmica está evolucionando más allá de los países con tradición en energía geotérmica. En Alemania, con la inauguración de 3 nuevas plantas geotérmicas en 2013, hay ahora 8 plantas en funcionamiento, con una capacidad conjunta de 28 MWe. Se espera la puesta en marcha de varios proyectos de energía

geotérmica en los próximos años. Hay un total de 15 proyectos en desarrollo y 28 en estudio, la mayoría de los cuales están concentrados en Baviera y la zona del Alto Rin. Según el *EGEC Market Report 2013/2014*, se estima que el desarrollo de la energía geotérmica en Alemania alcance alrededor de los 180-190 MWe de capacidad instalada para finales de 2020.

Grecia es otro de los recién llegados importantes en el mercado de la geotermia para generación eléctrica con 13 proyectos en estudio, principalmente en las islas griegas. Se espera que estén operativos para 2019.

Por último, se están desarrollando o estudiando unos 40 proyectos de EGS en Bélgica, Croacia, República Checa, Alemania, Hungría, Letonia, Rumanía, Eslovenia, España, Suiza y el Reino Unido.

REFERENCIAS:

- *EGEC Market Report 2012*
- *EGEC Market Report 2013/2014*

Materiales de GeoElec:

- Guía de inversión

3 ANÁLISIS DE LA BASE DE RECURSOS GEOTÉRMICOS EN EUROPA

Este capítulo incluye una definición del análisis de recursos y constituye la base para un mapa paneuropeo que muestra los recursos geotérmicos que podrían desarrollarse en 2020, 2030 y 2050.

El protocolo de análisis de recursos se basa en los conceptos de análisis de recursos desarrollados en la industria del gas y el petróleo, que han sido adoptados con ciertas correcciones para la elaboración de informes y el análisis de recursos geotérmicos. Este protocolo se ha basado en el siguiente trabajo:

- Beardsmore et al., 2010. Un protocolo para la estimación y la esquematización del potencial global de EGS.
- AGEA, 2010. Código australiano para la elaboración de informes y el estudio de resultados, recursos geotérmicos y reservas geotérmicas: el código de elaboración de informes de energía geotérmica
- CanGEA, 2010. El código geotérmico canadiense para la elaboración de informes públicos

Estos documentos describen un protocolo para la clasificación y estimación de reservas y recursos geotérmicos. Asimismo, se adoptaron aportaciones de los criterios de clasificación de recursos desarrollados en la industria del gas y el petróleo (Etherington et al., 2007).

En el capítulo 3.2 se definen las directrices para la estimación del potencial teórico y técnico (TP) para la elaboración al detalle de sistemas de alta entalpía y baja permeabilidad estimulados para las distintas etapas del flujo de trabajo (emplazamiento, posible reserva, posible ubicación, recursos de contingencia, y reservas) y para los distintos tipos de emplazamiento.

3.1 Definiciones básicas y buenas prácticas

McKelvey (Figura 3.1) y **enfoque de proyectos:** La clave para el análisis y la clasificación de recursos es el concepto del diagrama de McKelvey, así como un enfoque orientado al proyecto donde los recursos se desarrollan de manera progresiva, desde que son inferidos en una fase temprana de exploración hasta que son descubiertos tras la perforación y finalmente son recuperables económicamente en la etapa de producción. En la exploración, la transición de un recurso inferido (no descubierto) a un recurso descubierto está determinada por la perforación del yacimiento, donde es posible demostrar la presencia del recurso y valorar la productividad.

Emplazamientos, posibles reservas y posibles ubicaciones (Figura 3.2): En el flujo de trabajo de exploración geotérmica previo a la perforación, la identificación de una posible reserva se inicia con el denominado concepto de emplazamiento. Un **emplazamiento** geotérmico es un *zona delimitada* geográficamente (y en profundidad) donde las *condiciones subterráneas específicas* permiten obtener una velocidad de flujo o una temperatura lo suficientemente, con unas condiciones

químicas y una presión adecuadas. Una **posible reserva** es una *reserva subterránea concreta* que ha sido identificada mediante estudios de exploración de la superficie (por ej. MT). Un **posible ubicación** es un lugar que ha sido estudiado exhaustivamente mediante exploración de la superficie y ha sido asignado para su perforación.

Potencia y eficiencia de conversión (Figura 3.3)

$$Eficiencia(\eta) = \frac{Tx-Ts}{Tx+Ts+2*273.15K}\eta_c$$

Tx = temperatura de producción [C]
Ts = temperatura media de superficie [C]
η_c= eficiencia relativa comparada con la eficiencia de Carnot [-]

$$Potencia\ (E) = \ Q\ \rho_{fluid}\ c_{fluid}(Tx - Tr)10^{-6} \quad \text{(en MW)}$$

Q = velocidad de flujo [m3/s]
Tr = temperatura de reinyección [C]
ρ_{fluid}= densidad del fluido [kg/m³]
c_{fluid}= calor específico del fluido [J/kg/K]

La primera ecuación se basa en Tester et al. (2006) y Di Pippo (2008). Su análisis demuestra que para una amplia variedad de diseños de conversión que abarcan un espectro que va desde el empleo de vapor producido directamente para accionar turbinas (flash) hasta sistemas binarios, donde η_c= 0,6 (Figura 3.4).

En los sistemas binarios, Tr está alrededor de 8°C por encima de la temperatura media de superficie (Beardsmore eflexiblet al., 2010).

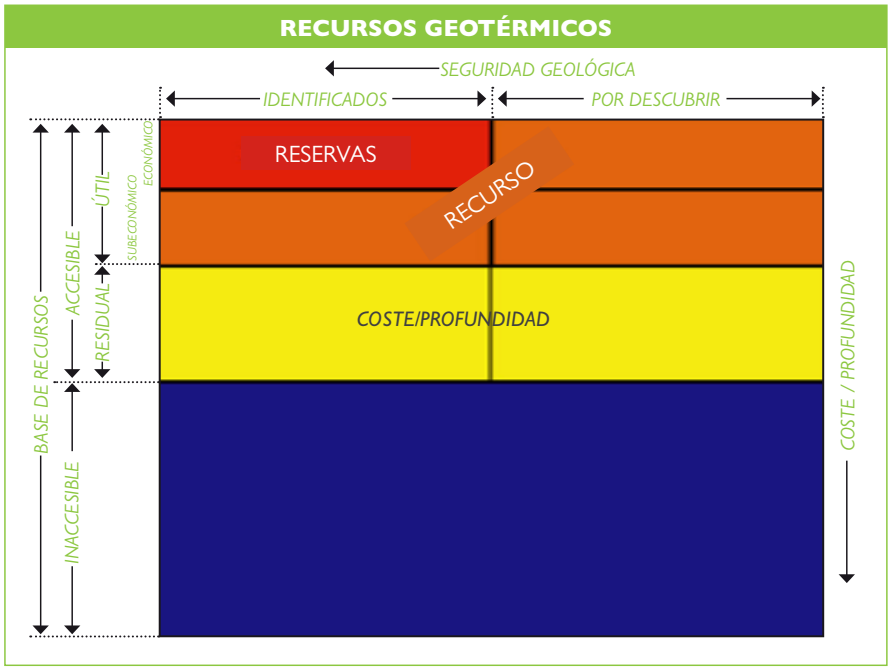


Figura 3.1: Diagrama de McKelvey que indica la terminología de reservas y recursos geotérmicos en el contexto de la seguridad geológica y la viabilidad económica (de Williams et al., 2008)

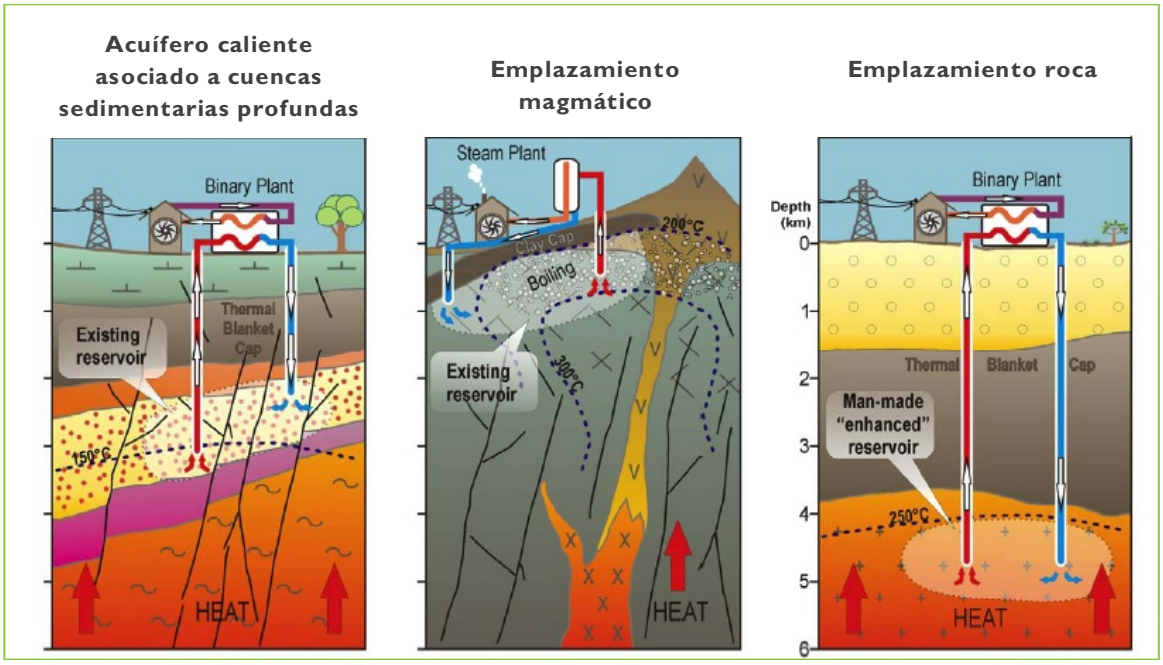


Figura 3.2: Ejemplo de distintos tipos de emplazamientos para sistemas geotérmicos (modificado desde Hot Rock ltd). Los acuíferos calientes asociados a cuencas sedimentarias profundas (*Hot Sedimentary Aquifer* - HSA) y los emplazamientos magmáticos pueden desarrollarse en su mayoría sin mejorar la reserva, dependiendo de la permeabilidad de la fractura y los acuíferos naturales. Los emplazamientos magmáticos pueden generar normalmente temperaturas muy altas en profundidades poco considerables. Los emplazamientos de rocas poco permeables están ubicados en regiones de temperaturas elevadas (causadas por la producción de calor radiogénico, flujo de calor tectónico elevado o avección de calor vertical en zonas de fallas profundas).

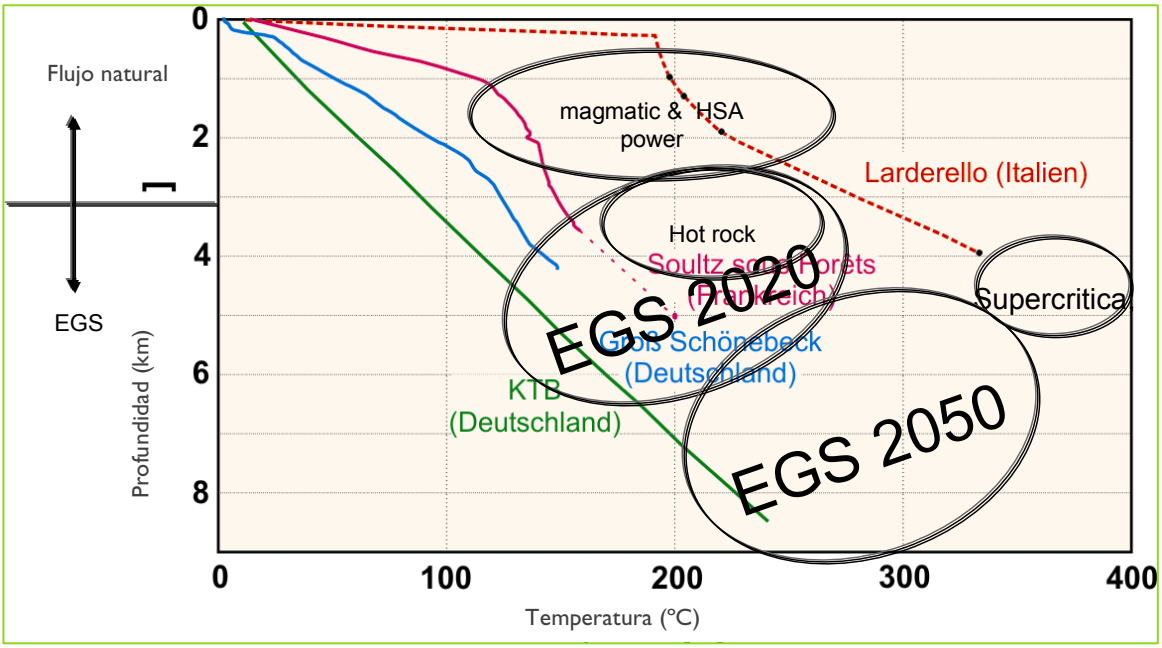


Figura 3.3 Posicionamiento relativo en gradientes de temperatura y profundidad de los distintos tipos de emplazamiento, y posicionamiento del desarrollo de EGS (piedra caliente/EGS se corresponden con piedras de baja permeabilidad). De HSA a sedimentos acuíferos calientes (que pueden estar ubicados a más profundidad, hasta 4 km).

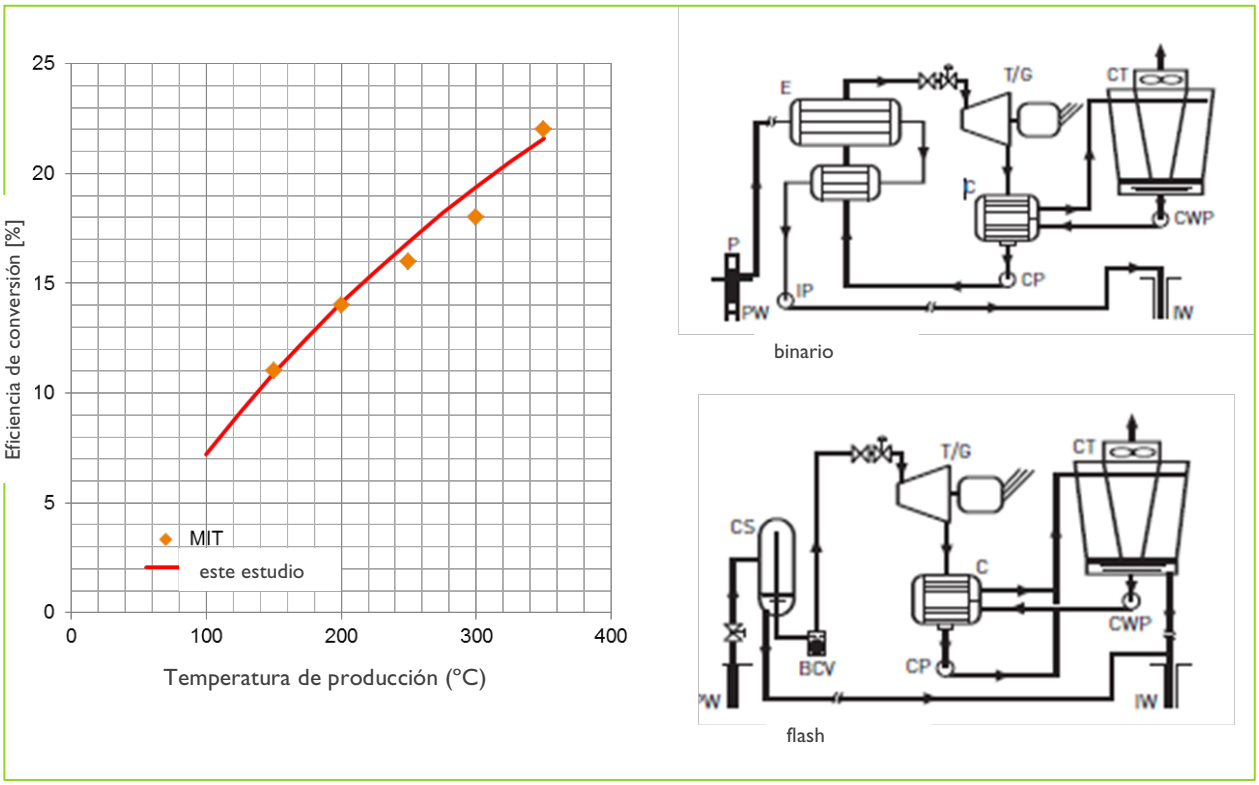


Figura 3.4: Eficiencias de conversión alcanzadas en diversas instalaciones de producción geotérmica (izquierda), incluyendo sistemas binarios y flash (derecha) (tras Tester et al., 2006). La curva que mejor se ajusta a la ec.1 para Ts =10C se consigue con η_c =0,6.

Buenas prácticas para los hidrocarburos

La clasificación de recursos en la industria de los hidrocarburos está muy avanzada y sirve como un excelente punto de partida para la elaboración de informes y la clasificación de energía geotérmica. La publicación de Etherington y Ritter (2007; Figura 3.5.8) constituye la última ampliación del sistema de gestión de recursos de petróleo aceptada por la industria del gas y el petróleo. Aquí resumimos los aspectos principales del esquema de clasificación que puede utilizarse para la energía geotérmica. Es necesario hacer hincapié en que los recursos geotérmicos de los sistemas geotérmicos si diferencian de los recursos de los minerales y el petróleo en que son renovables mediante recarga, aunque normalmente a un ritmo más lento del que se extrae la energía. La velocidad de esta recarga puede variar en gran medida de un sistema a otro, y puede ser estimulada hasta cierto punto por la producción.

Los ***Recursos potenciales*** son aquellas cantidades estimadas que pueden ser recuperables comercialmente a partir de acumulaciones aún por explorar, suponiendo que se confirme un descubrimiento. Aunque siempre hay un espacio incierto, se considera un descubrimiento en la industria del petróleo y el gas cuando los resultados de uno o más pozos de exploración confirman la existencia de una cantidad significativa de hidrocarburos potencialmente movibles. Los recursos geotérmicos también se confirman mediante perforación. Las cantidades descubiertas deberían

clasificarse inicialmente como *Recursos de contingencia*. A su vez, la parte de estas cantidades que pueden recuperarse mediante un *proyecto comercial definido* puede clasificarse como *Reservas*. Para que sea comercial, es necesario que el proyecto forme parte de un emprendimiento económico y que una organización que pretende esta comercialidad tenga la firme intención de desarrollar y producir estas cantidades. Una firme intención implica que haya una alta confianza en que se superen las contingencias y que la fase de desarrollo se inicie dentro de un plazo razonable. El plazo razonable para el inicio del desarrollo depende de las circunstancias específicas y varía en función del ámbito del proyecto. En la industria del gas y el petróleo se recomienda un plazo de cinco años como referencia, aunque en el desarrollo de la energía geotérmica y, especialmente en sistemas EGS, podría aplicarse un plazo más largo.

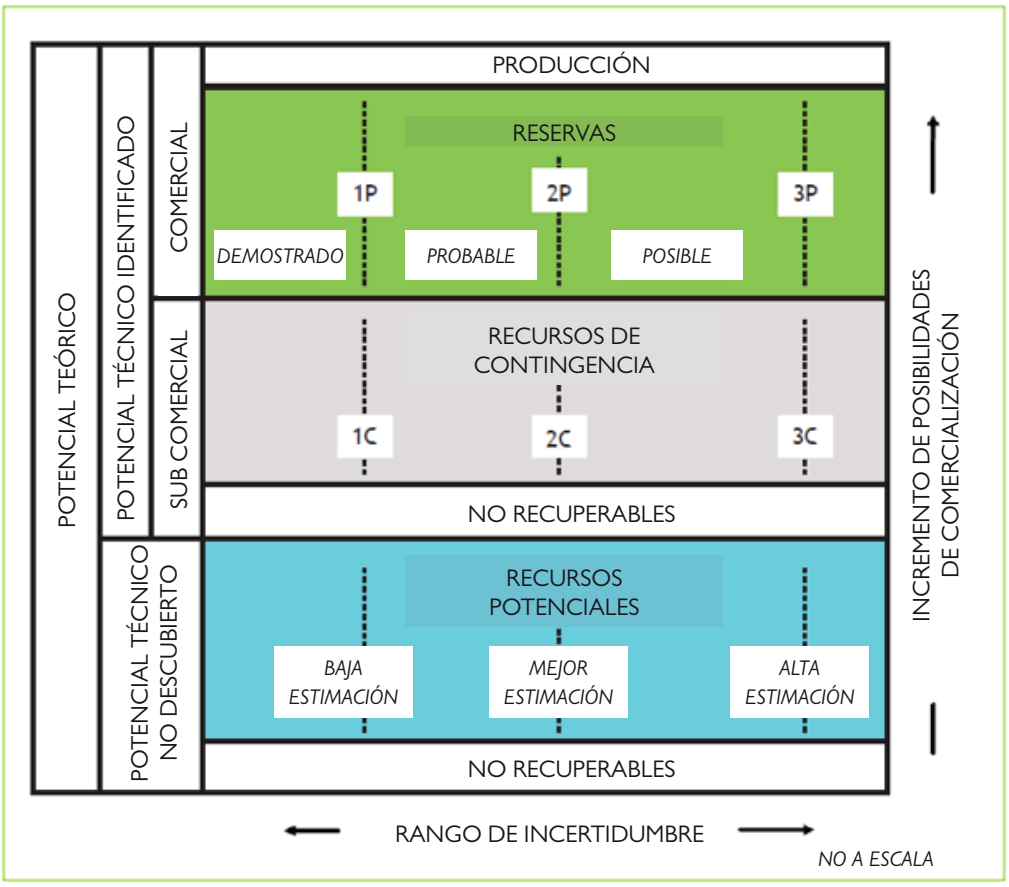


Figura 3.5: Márgenes de incertidumbre para estimaciones de recursos y reservas, y eje de comercialidad de proyectos que las hace pasar de recursos potenciales a recursos contingentes y, posteriormente, a reservas (de Etherington y Ritter, 2007). 1, 2, 3 hacen referencia a niveles de incertidumbre referidos a estimaciones bajas, medias y altas, respectivamente.

3.2 Metodología de análisis de recursos en GeoElec

El análisis de recursos en GeoElec se centra en recursos potenciales. La elaboración de informes puede subdividirse en tres niveles (Figura 3.69):

- *Nivel 1: Análisis de recursos a nivel global europeo para la producción de electricidad*
- *Nivel 2: Análisis de recursos potenciales por descubrir para los distintos tipos de emplazamientos*
- *Nivel 3: Recursos y reservas contingentes (descubiertos)*

1. Análisis de recursos a nivel global europeo para la producción de electricidad	Análisis a nivel europeo (cf. Beardsmore et al., 2010). Determinar el potencial técnico de los distintos intervalos de profundidad para EGS, siendo datos clave los mapas base de temperatura y el tipo de roca para identificar el TP. Filtrar mapas con información sobre áreas de reservas naturales, etc. Suponer una recuperación relativamente baja en última instancia, de acuerdo con la columna de profundidad completa (cf. IPCC, 2011). Distinguir el atractivo relativo y las estimaciones baja, media y alta en función de la profundidad de perforación necesaria para alcanzar la temperatura.
2. Análisis de recursos potenciales por descubrir para los distintos tipos de emplazamientos	Identificar áreas delimitadas con un tipo de emplazamiento concreto (por ej., acuífero caliente asociado a cuencas sedimentarias profundas, HSA), magmático y de baja permeabilidad). Incluir datos relevantes para la exploración de tipos de emplazamiento y resultados de exploración concretos (cf. AGEA-AGEC, 2010) y el análisis de recursos.
3. Recursos y reservas contingentes (descubiertos)	A partir de los informes de la industria y el gobierno, obtener información sobre prospectos perforados y la producción de reservas, tipos de emplazamiento y tipo de desarrollo[1]

Figura 3.6: Representación de los diversos niveles de categorización de recursos, avanzando desde global (nivel 1), a basado en prospecto (nivel 2), hasta perforación y producción (nivel 3).

En términos de profundidad, el análisis de recursos está limitado a 5 ó 6,5 km para los desarrollos actuales, pero puede aumentarse en el futuro. Por lo tanto, se propone la elaboración de dos calendarios, uno basado en 7 km para 2020 y 2030, y otro basado en 10 km para 2050.

GeoElec realizó un análisis global de nivel 1. La recopilación de información para el análisis se realizó mediante talleres de información y una hoja de solicitud de datos. Se concluyó que no había datos suficientes para un análisis de nivel 2 o 3 y, por lo tanto, no se efectuó ninguno.

El análisis de recursos de nivel 1 se ha realizado sobre una malla hexaédrica en 3D normal con una resolución horizontal de 20 km y una resolución vertical de 250 m. Las áreas cubiertas por este voxet abarcan los 28 países de la UE e incluyen a otros países de Europa del Este. El área está delineada en la siguiente Figura que muestra el modelo de temperatura.

[1] Sin embargo, puede resultar problemático recabar y revelar al público información confidencial de la industria privada.

Para cada subvolumen se calcula el potencial teórico y práctico, que se ilustra esquemáticamente en la Figura 3.7 del flujo de trabajo esquemático que va de potencial teórico a TP real. Estos cálculos se realizan para cada subvolumen de la malla. A continuación se detallan los cálculos.

Calor in situ (HIP, por sus siglas en inglés): El calor in situ se calcula como la energía disponible en el subsuelo. El cálculo de un subvolumen V:

$$HIP\ [PJ\ ] = V\ * \rho_{roca}\, c_{roca} * (Tx - Ts) * 10^{-15}$$

donde

V=volumen [m³] del subvolumen del subsuelo

ρ_{rock} = Densidad = 2500 kg m-3

C_{rock} = Calor específico = 1000 J kg-1 K-1

Tx = temperatura a la profundidad del subvolumen

Ts = temperatura en la superficie

El mapa de HIP [PJ/km²] se calcula como la suma vertical de los subvolúmenes apilados verticalmente, dividido por el área de superficie de las cuadrículas en km²

Capacidad teórica (TC): la *capacidad teórica* [TC] está en consonancia con la energía térmica in situ multiplicada por un factor de conversión (electricidad) que depende de la aplicación:

TC=H *η

Donde

$$H = V\ * proca * Croca * (Tx - Tr) * 10^{-15}\ \text{(in PJ)}$$

El HIP tiene en cuenta también el hecho de que no puede utilizarse toda la energía. Se emplea una temperatura de retorno (Tr), que equivale a la temperatura de producción límite mencionada anteriormente para la aplicación. Para la producción de electricidad, según Beardsmore et.al. (2010):

Para obtener un mapa de potencial teórico, se suman verticalmente los valores de la malla en 3D.

Para la producción de calor, Tr es mucho más bajo que para la producción de electricidad

Potencial técnico:

El potencial técnico (TP) denota la energía geotérmica recuperable esperada [MW] (e.g. Williams et al., 2008). El TP da por hecho que el recurso será desarrollado en un periodo de treinta años. Por lo tanto, la conversión de *Capacidad teórica* a *Potencial técnico* es:

$$TP\ [MW/km^2] = 1.057 * TC[PJ/km^2] * R.$$

Donde R es el factor de recuperación, que depende de varios pasos, así como de la delineación del volumen para el TC. Para un análisis global, como el realizado para el capítulo 4 sobre energía geotérmica de IPCC (2011) y Beardsmore et al. (2010), el TP tiene en cuenta el HIP de todos los sedimentos y cortezas que sobrepasan un umbral, de acuerdo con una temperatura límite para sistemas de producción de electricidad. En Beardsmore et al., 2010, la recuperación (R) en última instancia se corresponde con:

$R=R_{av}\ R_f\ R_{TD}$,

e incluye terrenos disponibles, la recuperación técnica limitada en última instancia de la reserva basada en la recuperación de calor a partir de una red de fracturas (R_f) y la limitación de las operación debido a una disminución de temperatura (R_{TD}). En términos globales, puede resultar en una recuperación aproximada del 1% de la capacidad teórica (IPPC, 2011). El factor de recuperación de EGS demostrado por Beardsmore et al. (2010) no delinea la reserva en profundidad más allá del umbral de temperatura. Para una delineación volumétrica basada en emplazamientos, posibles reservas y posibles ubicaciones (por ej., un acuífero), el factor de recuperación es generalmente mucho más alto, del orden del 10-50%, mientras que el TC subyacente implica una cantidad mucho menor de volumen de roca.

Proponemos el uso de tres niveles distintos de TP:

- TPtheory: es el potencial técnico (teórico) máximo posible (R=1.00)
- TPreal: Potencial técnico subterráneo real de acuerdo con los planteamientos predictivos de reserva típicos y las prácticas empíricas. Es el equivalente de R_f*R_{TD} en Beardsmore et al., 2012. De acuerdo con Beardsmore, R_f está en un promedio de 0,14. R_{TD} se estima en el 90%, resultando en R=0,125. Para los acuíferos geotérmicos de los Países Bajos, R se estima en el 33%
- TPbm: Potencial técnico según Beardsmore et al., 2010 (R=0,01)

Potencial técnico económico: El potencial económico (TPLCoE_p) se calcula a partir del TPreal, que acepta únicamente aquellos subvolúmenes donde el coste normalizado de la energía (LCoE) sea inferior a un umbral en cuestión. El LCoE depende de la aplicación (*energía, combinación de energía y calor*). Los parámetros económicos toman como dato la velocidad de flujo esperada. En TPLCoE _p, p denota la probabilidad acumulada (0..100%) de superar la velocidad de flujo y las temperaturas utilizadas. La evaluación económica considera la velocidad de flujo alcanzable como la principal incertidumbre técnica

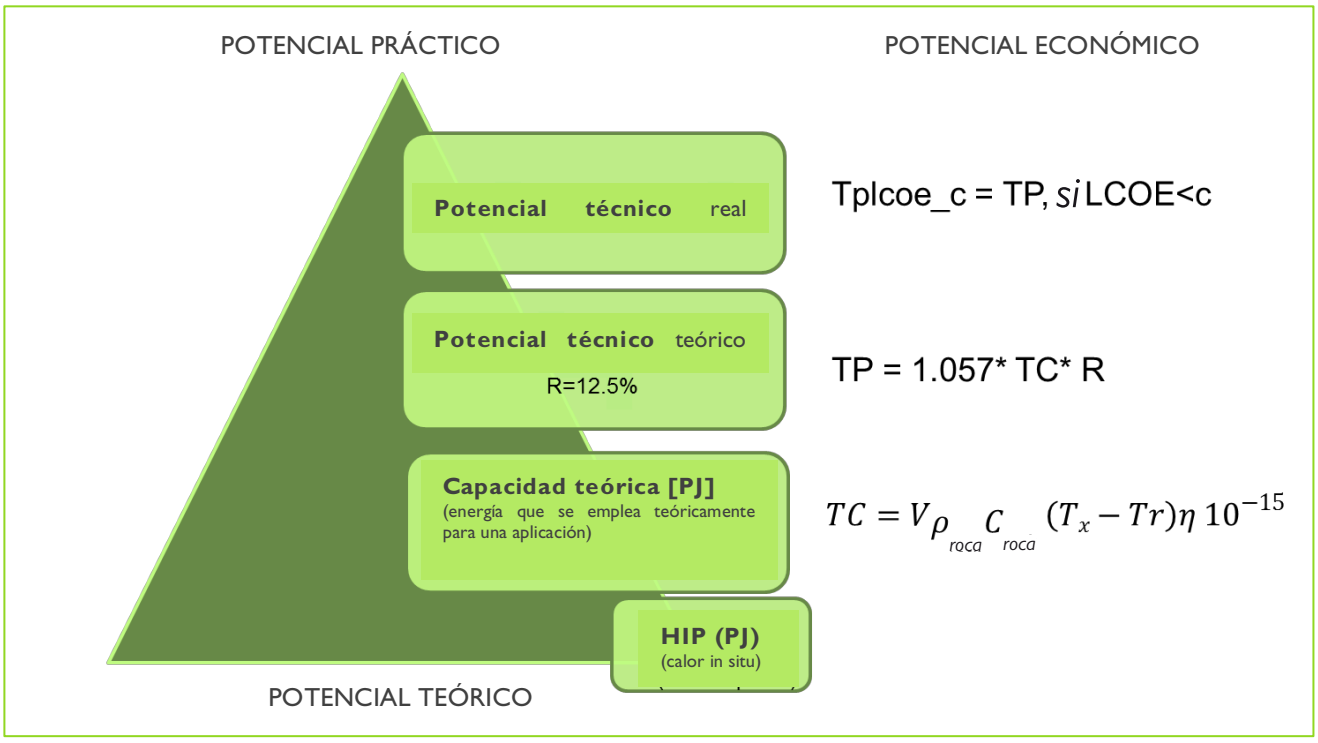


Figura 3.7: Flujo de trabajo esquemático que va desde el potencial teórico hasta el potencial técnico real.

En el caso de los mapas, los resultados de subvolumen se suman verticalmente, y posteriormente si dividen por el área de cuadrículas en km². Se han calculado los siguientes mapas

Tabla 3.1: Tipos de mapas potenciales en el sistema de información

MAPA	NOMBRE	UNIDAD
HIP	Calor in situ	PJ/km²
TC	Capacidad teórica	PJ/km²
TPtheory	Potencial técnico teórico (R=1)	MW/km²
TPbm	Potencial técnico según Beardsmore et al., 2010 (R=0,01)	MW/km²
TPreal	Potencial técnico (R=0,125)	MW/km²
TPLCoE_c	Potencial técnico real (LCoE<c) adoptando TPreal	MW/km²

Tabla 3.2: Mapas adicionales basados en los cálculos de la malla 3D

MAPA	NOMBRE	UNIDAD
LCoE	Coste normalizado de la energía mínimo en un apilado vertical de la malla 3D	€/MWh
LCOEDEPTH	Profundidad del LCoE mínimo en un apilado vertical de la malla 3D	km

Para las previsiones de los países, se da por sentado que puede instalarse el 25% del potencial económico (técnico real) en MWe por país, debido a las restricciones en el uso del terreno. Para la conversión de capacidad instalada a TWh, se adopta un factor de carga del 90%.

Análisis y sensibilidades del LCoE

Para el análisis económico del LCoE se efectúa un cálculo del flujo de caja. Uno de los elementos de coste principales en el análisis es el coste de la perforación y la simulación. Para los costes de perforación, asumimos tres escenarios distintos para los calendarios de 2020, 2030 y 2050, de acuerdo con un modelo de coste de pozos exponencial y lineal. En el capítulo 3.3 se incluye información más detallada sobre pozos, estimulación y aspectos de rendimiento y costes de las plantas.

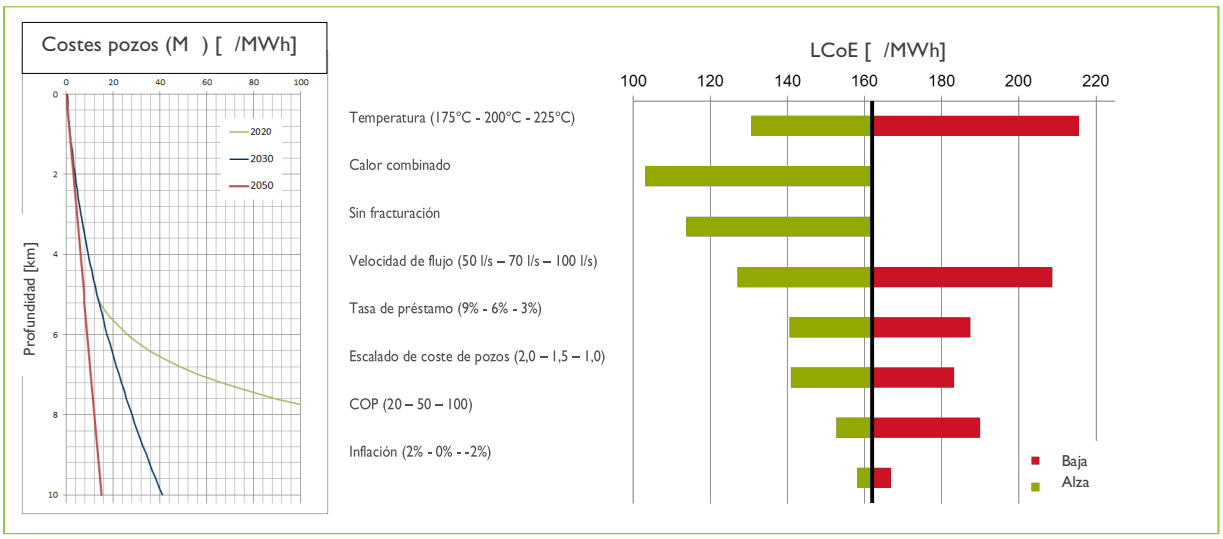


Figura 3.8. Costes de pozos (para EGS se han tenido en cuenta 2 pozos) y sensibilidades del LCoE previsto según los parámetros de entrada para el escenario de 2030 con una ubicación potencial de EGS a una profundidad de 5 km con una temperatura prevista de recursos de 200°C.

Incertidumbre y CHP

Dentro del escenario de 2030, hemos tenido en cuenta el efecto de la incertidumbre sobre la velocidad del flujo y los efectos de la combinación de energía y calor (CHP, por sus siglas en inglés) sobre la base de recursos.

Para la incertidumbre en la velocidad de flujo, hemos considerado una desviación de +-30% de la velocidad de flujo predeterminada y sus efectos. Para la CHP, se ha dispuesto que las ventas de calor son de 9 €/GJ y representan la potencia térmica que puede generarse a partir de Tr con una temperatura de reinyección de 35°C. La CHP puede promover una reducción del LCoE de aproximadamente 50 €/MWh, mientras que una aumento en las velocidades de flujo (50 l/s – 70 l/s – 100 l/s) puede reducir el LCoE normalmente en 10-50 €/MWh.

Mapas de temperaturas

Los cálculos potenciales toman como entrada un nuevo modelo de temperaturas de subsuelo de hasta 10 km de profundidad. La metodología para elaborar estas temperaturas se ha descrito en Limberger y Van Wees (2013). El modelo adoptado en GeoElec se corresponde con su modelo C.

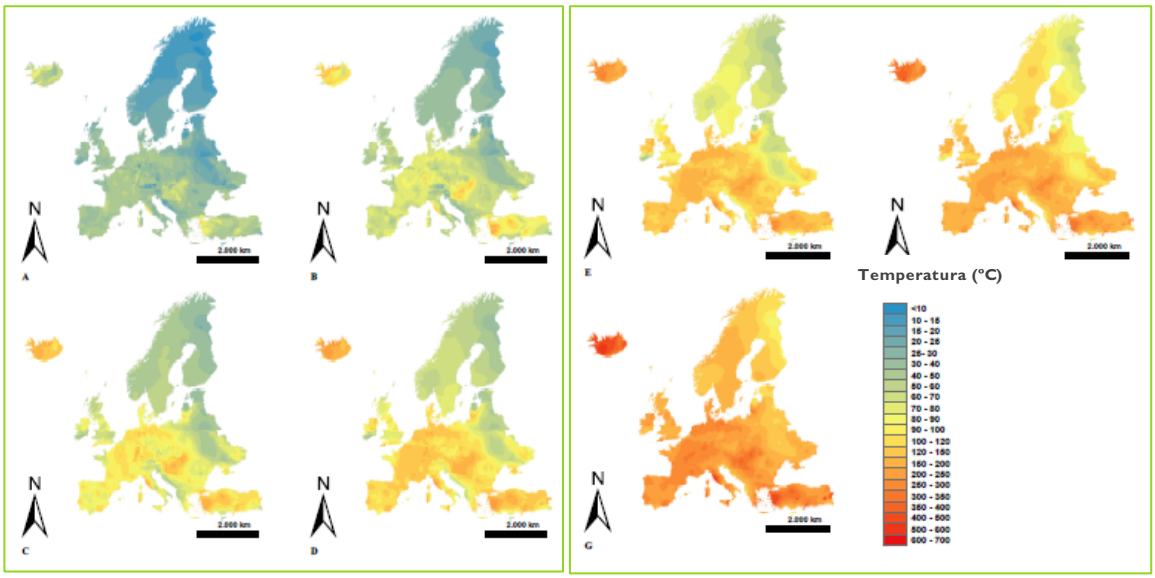


Figura 3.9: Temperatura modelada a 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10 km de profundidad

3.3 Potencial económico de la energía geotérmica para generación eléctrica en Europa

Para poder describir fielmente el potencial de generación eléctrica con energía geotérmica, es esencial seleccionar los escenarios adecuados. El ajuste de los escenarios modifica en gran medida el resultado de la capacidad potencial. El parámetro que más influye en el potencial económico es el valor límite seleccionado; por ej., la tarifa o prima regulada, el precio de la electricidad, incluyendo las primas. Con un valor límite muy alto, todos los objetivos pueden acabar por desarrollarse económicamente.

Para obtener la descripción más fiel posible, se han seleccionado los siguientes escenarios. Para los años 2020, 2030 y 2050 se reduce el valor límite. En otras palabras, se reducen las tarifas/primas reguladas. Para el futuro cercano (2020), suponemos un valor límite de 200 €/MWh, lo cual equivale a 0,2 €/kWh. Diez años después, asumimos que las tarifas o las primas serán menos necesarias que en 2020. En este caso, se ha seleccionado un valor límite de 150 €/MWh. Para 2050, éste se reduce hasta los 100 €/MWh.

Estos valores límite sólo representan las barreras económicas de las posibles ubicaciones. Sin embargo, en el apartado técnico también se han definido desarrollos que favorecen las posibles ubicaciones. Las consideraciones se muestran en la siguiente tabla. El intervalo de profundidad máximo aumenta debido a la mejora supuesta en las técnicas de perforación, 7 a 10 kilómetros de profundidad en 2050. Asimismo, las velocidades de flujo aumentan gracias a las mejores técnicas de estimulación, de 50 L/s a 100 L/s en 2050. Dado que el efecto de la estimulación aumenta en la velocidad de flujo, los costes de la estimulación de un proyecto permanecen inamovibles: 10 M€. Para alcanzar las profundidades máximas de perforación, las mejoras en las técnicas de perforación llevan a un modelo de coste de pozos distinto más beneficioso. Mientras que el modelo de coste de pozos aumenta exponencialmente con la profundidad en 2020, se supone que dependerá menos de la misma en 2050, dando lugar así a una relación más lineal. Aumenta la eficiencia tanto en el sistema como en la conversión. El coeficiente de rendimiento aumenta de 30 en 2020 a 50 en 2030, y a 100 en 2050. La eficiencia Carnot relativa aumenta del 60% en el futuro cercano a 70% en 2050. Asimismo, el empleo del calor para convertir la electricidad es más eficiente[2] y la salida de la CHP sigue siendo la misma.

[2] Un ciclo termodinámico teórico propuesto por Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1823. Puede demostrarse que es el ciclo más eficiente para convertir una cantidad determinada de energía en trabajo. Una eficiencia carnot relativa es un porcentaje comparado con la eficiencia carnot con alrededor de 150 °C

Tabla 3.3: Consideraciones para el estudio de la posible ubicación (COP = Coeficiente de rendimiento | CHP = Combinación de calor y electricidad)

PARÁMETRO	UNIDAD	2020	2030	2050
Profundidad máxima	km	7	7	10
Velocidad de flujo	L/s	50	70	100
COP	-	30	50	1000
Modelo de coste de pozos	-	Escalado de coste de pozos 1.5 + Exponencial	Escalado de coste de pozos 1.5	Lineal 1500€/m
Costes de estimulación	M€	10	10	10
Eficiencia Carnot relativa	-	0,6	0,6	0,7
Tinc por Tr (Tr=Tsurface + Tinc)	^{0}C	80	80	50
Salida de CHP	^{0}C	35	35	35

Los valores límite (por ej., las tarifas o primas) pueden variar según el país y adaptarse a las circunstancias del mismo o de acuerdo con la madurez de la tecnología y/o el mercado. Por lo tanto, se representa más de un valor límite. Asimismo, se incluye una tabla que muestra un intervalo de valores límite, acumulando el potencial ganado con el aumento de los valores límite:

Tabla 3.4: Resumen de los valores límite para los escenarios definidos

ESCENARIO	INTERVALO LÍMITE	PASOS
2020	Menos de 100 €/MWh hasta un máximo de 300 €/MWh	100 – 150 – 200 – 300
2030 y **2050**	Menos de 50 €/MWh hasta un máximo de 200 €/MWh	50 – 100 – 150 – 200

Los valores límite sólo se aplican a la energía, y no incluyen la CHP. Finalmente, el potencial económico de la energía geotérmica para la producción de electricidad se presenta en forma de mapas del LCoE y del nivel al que pueden llegar estos valores límite. A continuación, presentamos un resumen de todos los mapas y escenarios disponibles:

Tabla 3.5: Resumen de mapas disponibles en el informe. Para ver todos los mapas elaborados en este proyecto, visite www.thermogis.nl/geoelec (TP = Potencial técnico)

ESCENARIO	2020	2030	2050
Mapas	LCoE	LCoE	LCoE
	LCoEDEPTH	LCoEDEPTH	LCoEDEPTH
	TP para un valor límite inferior a 300 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 200 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 150 €/MWh
	TP para un valor límite inferior a 200 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 100 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 100 €/MWh
	TP para un valor límite inferior a 100 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 50 €/MWh	TP para un valor límite inferior a 50 €/MWh

Perspectivas por país

En este punto, hemos descrito los escenarios y presentado los mapas de Europa. La pregunta que puede plantearse por lógica es lo que eso supone para cada país. Por ello, presentamos la perspectiva por país en un cuadro que muestra el potencial de cada país para 2020, 2030 y 2050.

La siguiente tabla muestra el potencial por país en TWh para los escenarios de 2020, 2030 y 2050. Este es el potencial económico basado en las consideraciones mencionadas anteriormente y sin aplicación de combinación de calor (para los efectos de la aplicación de combinación de calor, consulte el siguiente capítulo). Para los escenarios seleccionados, suponemos un LCoE inferior a 200 €/MWh para 2020, un LCoE inferior a 150 €/MWh para el escenario de 2030 y un LCoE inferior a 100 €/MWh para 2050.

Dado que el apoyo financiero actual y proyectado puede variar según el país, presentamos a continuación el potencial económico de la energía geotérmica con el potencial acumulado de todos los valores límite analizados. Los intervalos se muestran en la Tabla 3.6. **Un valor límite muy bajo da como resultado un potencial económico mínimo, mientras que unos valores límite altos dan lugar a más recursos geotérmicos dentro de las posibilidades económicas.**

Tabla 3.6: Potencial económico por país (2020 = LCoE < 200 €/MWh; 2030 = LCoE < 150 €/MWh; 2050 = LCoE < 100 €/MWh)

PAÍS	POTENCIAL ECONÓMICO (EN TWH)		
	2020	2030	2050
ANDORRA	0	0	1
AUSTRIA	0	0	67
BIELORRUSIA	0	0	2
BÉLGICA	0	0	22
BOSNIA HERZEGOVINA	0	0	25
BULGARIA	0	0	72
CROACIA	1	3	50
CHIPRE	0	0	0
REPÚBLICA CHECA	0	0	31
DINAMARCA	0	0	29
ESTONIA	0	0	2
FINLANDIA	0	0	0
FRANCIA	0	0	653
ALEMANIA	0	1	346
GRECIA	0	0	81
HUNGRÍA	9	17	174
ISLANDIA	73	74	322
IRLANDA	0	0	27
ITALIA	11	12	226
LETONIA	0	0	3
LITUANIA	0	0	19
LUXEMBURGO	0	0	3
MACEDONIA	0	0	10
MOLDAVIA	0	0	2
MONTENEGRO	0	0	2
NORUEGA	0	0	0
POLONIA	0	0	144
PORTUGAL	0	0	63
RUMANÍA	0	0	105
SERBIA	0	1	92
ESLOVAQUIA	0	1	55
ESLOVENIA	0	0	8
ESPAÑA	0	1	349
SUECIA	0	0	1
SUIZA	0	0	43
PAÍSES BAJOS	0	0	52
TURQUÍA	50	62	966
UCRANIA	0	0	71
REINO UNIDO	0	0	42

Combinación de calor y electricidad (CHP)

En el capítulo anterior, puede encontrar un diagrama de sensibilidad que muestra los efectos de las distintas variables en el LCoE. La mayoría de los parámetros tienen un efecto tanto positivo como negativo; por ej., la temperatura necesaria puede ser tanto más baja como más alta. Una temperatura necesaria más alta supone un pozo con una mayor profundidad y, por lo tanto, costes de perforación más altos, lo que da lugar a un LCoE más elevado. Hay dos parámetros que pueden reducir indudablemente el LCoE: cuando no se necesita estimulación o cuando se aplica combinación de calor.

La aplicación de combinación de calor requiere un sistema en cascada de primera generación de electricidad que use la fuente geotérmica de alta temperatura, seguido por el empleo de calor residual de temperatura más baja para el uso de calor directo (calefacción de espacios, invernaderos, etc.).

El diagrama de sensibilidad muestra en el mejor escenario una reducción del LCoE de 50 euros. En el diagrama, el LCoE baja de 160 €/MWh a aproximadamente 110 €/MWh. El mismo principio puede aplicarse a las perspectivas por país y a los mapas. Si suponemos un escenario de combinación de calor puede aumentar el potencial en cada país, del escenario de < 150 €/MWh a un escenario de < 100 €/MWh.

Mapas

En el análisis de recursos se generaron mapas de la distribución geográfica y la magnitud del potencial, que se muestran en las siguientes páginas. Si desea ver un desglose completo de todos los mapas producidos, visite www.thermogis.nl/geoelec.

Los mapas están clasificados por escenario (de 2020 a 2050) y muestran primero la distribución de los LCoE, seguidos de las profundidades mínimas correspondientes a las que pueden obtenerse los LCoE, y finalizan con los mapas de TP para un LCoE determinado. Los valores límite utilizados están en consonancia con los valores indicados en la Tabla 3.6 y en la captura de pantalla.

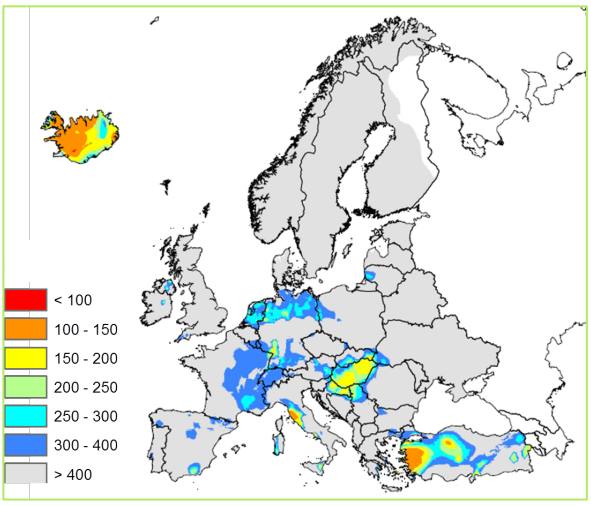


Figura 3.10: LCoE mínimo en 2020 (en €/MWh)

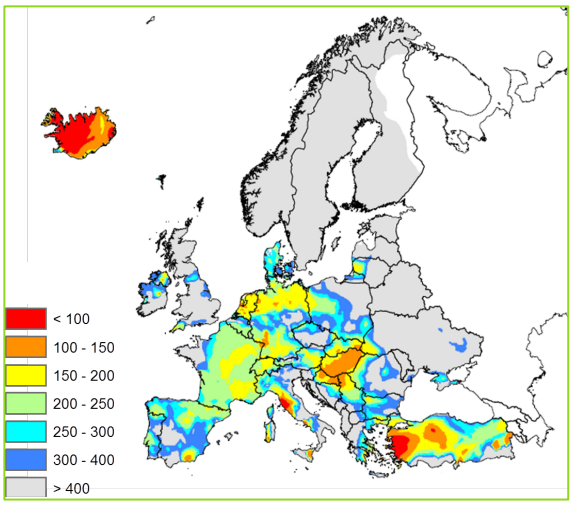


Figura 3.11: LCoE mínimo en 2030 (en €/MWh)

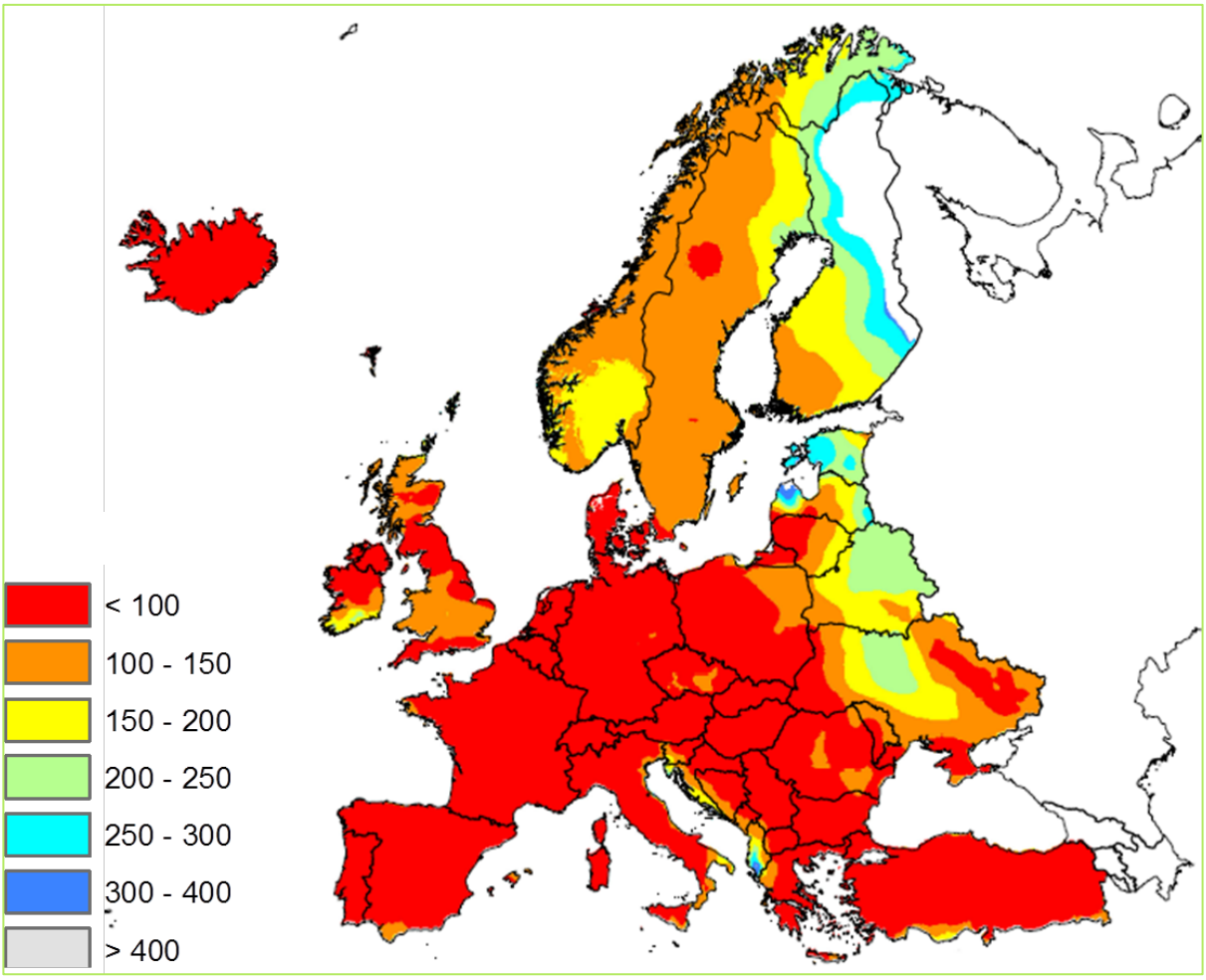


Figura 3.12: LCoE mínimo en 2050 (en €/MWh)

3.4 WebSIG

Como se ha indicado en el capítulo anterior, todos los mapas elaborados están disponibles en el portal de webSIG: www.thermogis.nl/geoelec . A continuación puede ver una vista previa del visualizador, acompañada de instrucciones sobre cómo usar el mismo.

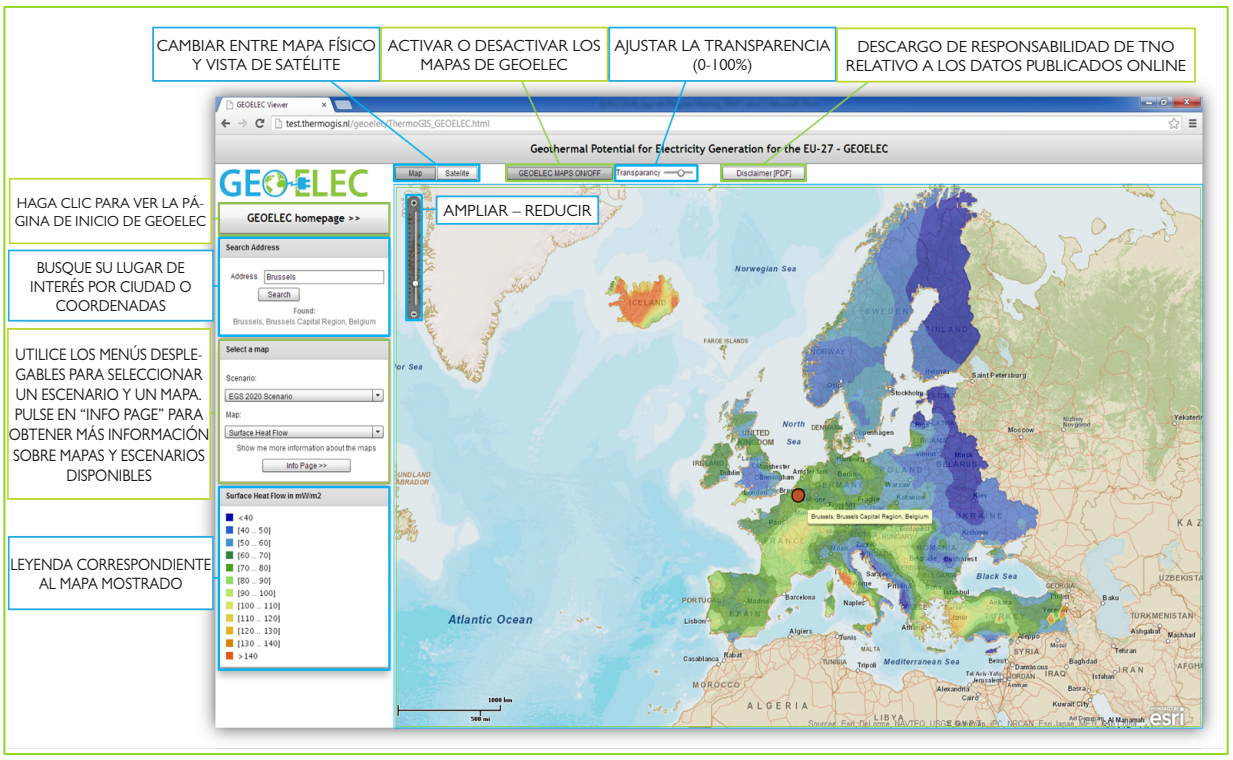


Figura 3.13 Vista previa y descripción del visualizador de potencial online de GeoElec

3.5 Código de elaboración de informes para recursos y reservas

La conveniencia de tener o no un Código europeo de elaboración de informes sobre energía geotérmica es algo que se está debatiendo actualmente en la industria de la energía geotérmica en Europa. Esta sección incluye la historia, la base y una descripción de los Códigos de elaboración de informes sobre energía geotérmica; asimismo, incluye un debate sobre los objetivos, pros y contras de contar con un Código europeo de elaboración de informes sobre energía geotérmica y, por último, presenta la recomendación de GOELEC para Europa.

Situación actual y debate sobre los pros y contras

Los Códigos de elaboración de informes sobre energía geotérmica actuales de Australia y Canadá se basan en la Plantilla internacional de elaboración de informes del Comité para la elaboración de informes internacionales sobre reservas minerales (CRIRSCO, por sus siglas en inglés), publicada por primera vez en 2006. El código canadiense adoptó elementos clave del código australiano, que conforma la base del primero.

Un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica puede tener los siguientes fines:

- Facilitar la comprensión, la confianza y la reputación en el mercado con inversores, reguladores y el público general
- Proporcionar una base estándar para la elaboración de informes sobre información de energía geotérmica que satisfaga a inversores, accionistas y mercados de capital
- Ser de aplicación para todos los emplazamientos geotérmicos en el mercado local e internacional

Estos códigos deberán respetar los siguientes principios:

Transparencia: el lector de cualquier informe público debe recibir información suficiente, presentada de manera clara y sin ambigüedades; un informe que sea comprensible y no lleve a engaño.

Trascendencia: un informe público debe contener toda la información relevante que los inversores y asesores profesionales puedan requerir y esperar encontrar de manera razonable en el mismo, con el fin de emitir un juicio razonado y equilibrado sobre la información que se aporta.

Competencia: el informe público debe estar basado en un trabajo elaborado por personas debidamente cualificadas y experimentadas que pertenecen a organizaciones profesionales reconocidas y relevantes, y sometido a rendición de cuentas y a un Código ético profesional.

El Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica es un código que abarca el modo en que se clasifican y se comunican públicamente los análisis de recursos y reservas y los resultados de exploración de energía geotérmica. No abarca el modo en que se realizan los análisis.

En concreto, abarca:

- todas las formas de energía geotérmica; por ejemplo, la energía basada en energía volcánica convencional, los acuíferos hidrotérmicos y las rocas calientes (EGS)
- todos los usos de la energía geotérmica, incluida la energía térmica geotérmica para la generación de electricidad, el uso directo en procesos industriales o la calefacción de espacios, o como energía complementaria
- el conjunto mínimo y obligatorio de requisitos para la elaboración de informes públicos sobre resultados de exploración, recursos geotérmicos y reservas geotérmicas

Los códigos de elaboración de informes de la industria geotérmica son relativamente recientes y su efecto sobre el mercado, hasta donde saben los autores, aún no ha sido medido. Además, no existen informes escritos conformes al código, de modo que se desconoce la cantidad exacta de informes actuales y ninguno de los códigos existentes ha sido avalado aún por ningún mercado u órgano regulador.

El consorcio GeoElec ha evaluado los argumentos a favor y en contra del desarrollo de un código de elaboración de informes sobre energía geotérmica para Europa.

Los argumentos en contra del desarrollo de un código europeo específico son los siguientes:

- Los requisitos por parte del mercado europeo para establecer una plantilla de informes o un código de elaboración de informes son similares o los mismos que los requisitos internacionales, y los dos códigos de elaboración de informes sobre energía geotérmica indican que son aplicables tanto a nivel local como internacional.

- El propósito de un código de elaboración de informes es contar con informes comparables para los distintos emplazamientos geotérmicos en el mercado internacional. Dado que no hay ninguna asociación matriz internacional, añadir un tercer código de elaboración de informes podría mermar este fin comparativo.

- Los códigos de elaboración de informes existentes no parecen estar regulados ni supervisados; todo depende de la integridad de la persona cualificada, y no se efectúa ningún control sobre su efecto.

- Se han realizado informes no elaborados según el código que citan igualmente el código. No indican que los informes se basan en el código pero insinúan que el trabajo se realiza de manera similar. Esto puede debilitar el código y no está contemplado en las normas. Ninguna parte de los códigos de elaboración de informes sobre energía geotérmica actuales prohíben este uso.

- Se espera que únicamente unas cuantas compañías sean incluidas en mercados europeos de valores en los próximos años. Actualmente hay 3 compañías conocidas que cotizan en bolsa, y se cree que hay 2 en proceso de ser incluidas. Por ello, los usuarios de un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica son muy pocos.

A continuación, se incluyen argumentos a favor de desarrollar un código de elaboración de informes sobre energía geotérmica para Europa:

- Los códigos de elaboración de informes actuales pueden servir de marco y principios para establecer un formato de elaboración de informes estándar internacional que sea aceptable para inversores, reguladores y el público general. Lo que falta es la autoridad regulatoria y la supervisión del uso del código. Si el código es utilizado de un modo que pueda socavar su fiabilidad, no existe ningún mecanismo de supervisión ni instrumentos a los que recurrir para buscar una solución. Si hubiera un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo, se podría establecer un modo para su regulación y supervisión. Para ello, se necesitaría financiación.

- En caso de contar con un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo independiente, la Industria geotérmica europea podría plantear el debate sobre el Código con más fuerza y presionar para la creación de una asociación matriz internacional con definiciones de terminología y requisitos de códigos de elaboración de informes comparables.

Recomendaciones

Se considera que el Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica sería mucho más provechoso si se creara a nivel internacional y estuviera regulado y supervisado. De este modo, se garantizarían los mismos principios en todo el mundo dentro de la industria geotérmica.

La publicación, regulación y supervisión de un código de elaboración de informes sobre energía geotérmica podría realizarse de manera similar a como se está haciendo en la industria de reservas minerales. Para ello, se necesita una organización matriz similar a CRIRSCO para la industria geotérmica. El Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica sería igual en todos los principios, pero adaptado a las regiones, de manera parecida a como se hace en la industria de reservas minerales. Los códigos de elaboración de informes australiano y canadiense pueden considerarse documentos pioneros dentro del sistema internacional.

Podría establecerse como relevante y necesario contar con un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo independiente con el fin de participar en el debate internacional para crear una asociación matriz internacional poco a poco. De este modo, podría agilizarse el proceso de contar con un código de elaboración de informes sobre energía geotérmica internacional y cubrir esta necesidad hasta entonces con el código de elaboración de informes europeo actual, que puede ser regulado y supervisado. Se necesitaría financiación para componer un organismo que pueda escribir el código, actualizarlo según corresponda, participar en el debate internacional y, lo que es más importante, regular y supervisar el uso del Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo.

Por otra parte, podría argumentarse que no es necesario establecer para Europa un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica especial hasta que haya sido acordada y formalizada esta organización matriz. En primer lugar, porque los códigos existentes son internacionales y pueden utilizarse hasta entonces. En segundo lugar, se esperan muy pocos usuarios de un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo específico y, en tercer lugar, la emisión de un tercer código independiente para la elaboración de informes sobre energía geotérmica no cumpliría el propósito del código de elaboración de informes, que es establecer un contexto que facilite la comparación.

Puede pasar un tiempo hasta que un organismo europeo desarrolle un código de elaboración de informes sobre energía geotérmica para Europa. Hasta entonces, un documento similar al publicado por la GEA o los glosarios publicados a modo de guía para los Códigos de elaboración de informes sobre energía geotérmica podría ser de gran utilidad para la industria geotérmica. Este documento, guía o glosario, debería ser adaptado específicamente al mercado europeo. Podría optarse por esta solución en lugar de crear un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica menos regulado. Un documento que sirva de guía en situaciones específicas del ámbito europeo podría resultar de gran utilidad para los profesionales durante el análisis de los emplazamientos geotérmicos en esta región. Esta terminología y definiciones deberían elaborarse en estrecha colaboración con la sociedad geotérmica internacional. Esto implica que debería consultarse con los comités de ambos códigos existentes durante su elaboración. Los informes, a su vez, podrían ser desarrollados de acuerdo con un código de elaboración de informes internacional, como el código australiano o el canadiense, si es necesario que se sigan las directrices de un código.

Se considera que esta opción es aceptable para, al menos, los próximos años. Para entonces, podrá revisarse la decisión cuando hayan accedido más usuarios al mercado y exista la necesidad de crear un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo específico.

Por lo tanto, **el consorcio de GeoElec no recomienda la inversión inmediata en un Código de elaboración de informes sobre energía geotérmica europeo, sino una estrategia de esperar y analizar apoyada en glosarios y directrices hasta que hayan accedido más usuarios al mercado.**

Materiales de GeoElec:

- Una metodología para el análisis de recursos.
- Base de datos de servicio Web sobre el análisis de recursos.
- Ficha técnica sobre el potencial geotérmico.
- Estudio prospectivo sobre el potencial de generación eléctrica con energía geotérmica en la UE.
- Revisión del código de elaboración de informes sobre energía geotérmica.

REFERENCIAS

- AGEA-AGEG, 2008. Código australiano para la elaboración de informes sobre resultados de exploración, recursos geotérmicos y reservas geotérmicas, edición de 2008, p. 26.
- AGEA-AGEG, 2010. Código australiano para la elaboración de informes sobre resultados de exploración, recursos geotérmicos y reservas geotérmicas, Segunda edición, p. 28.
- CanGEA, 2010. El Código geotérmico canadiense para la elaboración de informes sobre resultados de exploración, recursos geotérmicos y reservas geotérmicas, edición de 2010, p. 32.

- IPCC, 2011. Informe especial del IPCC sobre fuentes de energía renovables y la mitigación del cambio climático – Energía geotérmica, Grupo intergubernamental sobre el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés), Grupo de trabajo III – Mitigación del cambio climático, p. 50.

BIBLIOGRAFÍA

- Beardsmore, G.R., Rybach, L., Blackwell, D., y Baron, C., 2010. Protocolo para la estimación y asignación del potencial global de EGS, edición de julio de 2010, 11 p.
- Cloetingh, S., v. Wees, J.D., Ziegler, P.A., Lenkey, L., Beekman, F., Tesauro, M., Förster, A., Norden, B., Kaban, M., Hardebol, N., Bonté, D., Genter, A., Guillou-Frottier, L. Voorde, M.T., Sokoutis,, D. Willingshofer, E., Cornu, T., y Worum, G., 2010. Placas tectónicas de la litosfera y propiedades termomecánicas: Un enfoque de modelado integrado para el análisis de sistemas geotérmicos estimulados en Europa. Revisiones de ciencias de la Tierra, vol. 102, p. 159-206.

- Davies, J.H. y Davies, D.R., 2010. Flujo de calor de la superficie de la Tierra. Tierra sólida, 1, 5–24.
- Etherington, J.R., y Ritter, J.E., 2007. Clasificación, definiciones y directrices sobre reservas y recursos de SPE/AAPG/WPC/SPEE de 2007: Definición del estándar, Simposio sobre la evaluación y la economía de los hidrocarburos de SPE de 2007, Dallas, Texas, EE.UU., 1-3 de abril de 2007. SPE 107693, p. 9.
- Hurtig, E., Cermak, V., Haenel, R., y Zui, V.(eds.), 1992. Atlas geotérmico de Europa, Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra, Comisión Internacional del Flujo Térmico, Instituto Central de Física de la Tierra, Escala 1:2.500.000.
- Williams, C.F., Reed, M.J., y Mariner, R.H., 2008. Revisión de los métodos aplicados por el Servicio Geológico de EE.UU. para el análisis de los recursos geotérmicos identificados, Departamento del Interior de EE.UU., Servicio Geológico de EE.UU., Informe de archivo abierto 2008-1296, p. 27.
- Williams, A.F., Lawless, J.V., Ward, M.A., Holgate, F.L., y Larking, A., 2010. Código para la elaboración de informes sobre reservas y recursos geotérmicos, Sesión del Congreso Mundial sobre Energía Geotérmica 2010, Bali, Indonesia, 25-29 de abril de 2010, p. 7.
- Consejo Mundial del Petróleo. Sistema de gestión de recursos de petróleo, SPE-AAPG-WPC-SPEE, p. 47.

4 FINANCIACIÓN DE PROYECTOS GEOTÉRMICOS

Pese a contar con recursos geotérmicos disponibles a gran escala, la producción neta de electricidad con enrgía geotérmica en Europa sólo alcanzó alrededor de los 11,5 TWh en 2012. Se trata únicamente de una pequeña porción de su enorme potencial económico. Como se indica en el Capítulo 3, gracias a las nuevas tecnologías los recursos geotérmicos para la generación de electricidad son ahora viables desde el punto de vista técnico y económico en Europa.

Entre todas las energías renovables, la geotérmica es la más fiable Con un factor de carga superior al 90%, el hecho de que pueda desarrollar una producción constante en todo momento hace que la energía geotérmica sea competitiva con plantas eléctricas convencionales de nueva creación en zonas donde existen recursos hidrotérmicos de alta temperatura.

Sin embargo, se trata de una tecnología que exige un gran capital y necesita de 5 a 7 años para ser operativa, desde el inicio del proceso de autorización hasta la puesta en marcha. La importante inversión por adelantado se debe a la perforación y a la necesidad de cubrir el riesgo biológico al comienzo de la exploración. Esta realidad se aplica a todos los proyectos de energía geotérmica profunda.

Para alcanzar el potencial geotérmico se necesita una inversión enorme. De hecho, actualmente existe un gran apoyo público a la energía geotérmica (por ej., mediante un sistema de tarifas/primas reguladas) que compensa los fallos del mercado y promueve la financiación privada. Esto permitirá que las tecnologías geotérmicas emergentes progresen en su curva de aprendizaje y alcancen la competitividad plena en los próximos años.

En vista del contexto actual, resulta esencial una mayor implicación del sector financiero privado. Sin embargo, no todas las instituciones financieras o inversores privados están familiarizados con la complejidad de la tecnología geotérmica, sus desafíos, y las ventajas económicas y medioambientales. Es necesario plantear un enfoque diferente con respecto al sector, pues esta escasez de capital, especialmente durante las primeras fases del proyecto, ha sido normalmente una barrera que dificulta la evolución de la energía geotérmica. Cabe añadir que la crisis actual del capital obstruye aún más la financiación necesaria.

Es evidente que un requisito previo para facilitar dicha movilización de la financiación privada es un conocimiento exhaustivo de la planificación y el desarrollo de un proyecto geotérmico a lo largo de varios años, incluyendo la naturaleza de sus riesgos específicos. Los promotores deben conocer sus opciones de financiación, mientras que los inversores necesitan tener los conocimientos básicos y la confianza necesaria en estas tecnologías emergentes. Asimismo, es fundamental un entendimiento mutuo entre promotores e inversores, especialmente debido a la inversión inicial que se requiere en un proyecto geotérmico.

Deberá animarse a los inversores a participar en este prometedor proyecto. En este sentido, este informe plantea también un plan para el lanzamiento de un Fondo de la UE que mitigue el riesgo asociado a los recursos geotérmicos y que facilite las inversiones en proyectos de generación de electricidad con energía geotérmica.

Como ya hemos explicado en este capítulo, en caso de no conocer el recurso geotérmico, la exploración es fundamental para recopilar los datos relevantes antes de iniciar la perforación. Aparte de la exploración, la financiabilidad de un proyecto geotérmico se ve afectada por el riesgo geológico. El riesgo geológico incluye el riesgo de no encontrar un recurso adecuado (riesgo a corto plazo) y el riesgo de que el recurso se agote naturalmente con el tiempo (riesgo a largo plazo).

Ya existen Fondos de mitigación de riesgo relativos al riesgo geológico en algunos países europeos (Francia, Alemania, Islandia, Países Bajos y Suiza). El riesgo geológico es un problema común en toda Europa. La colaboración entre los Estados miembros para eliminarlo les permitirá ahorrar dinero.

Este es el motivo por el cual el proyecto GeoElec necesita la implantación de un Fondo de mitigación de riesgo geotérmico a nivel de la UE. Este Fondo podría asegurar los proyectos geotérmicos profundos en los distintos países de la UE.

4.1 Desarrollo de proyectos geotérmicos: Fases y conocimientos

El éxito económico de un proyecto geotérmico depende de una serie de factores. Aunque cada proyecto debería considerarse único, hay elementos comunes a todos ellos. En esta sección presentamos las distintas fases de un proyecto geotérmico y la amplia gama de cualificaciones necesarias para su correcta implementación.

Las fases de un proyecto geotérmico de un vistazo

Es posible dividir un proyecto geotérmico en 4 fases clave: exploración, desarrollo de recursos, construcción, y puesta en marcha, operación y mantenimiento.

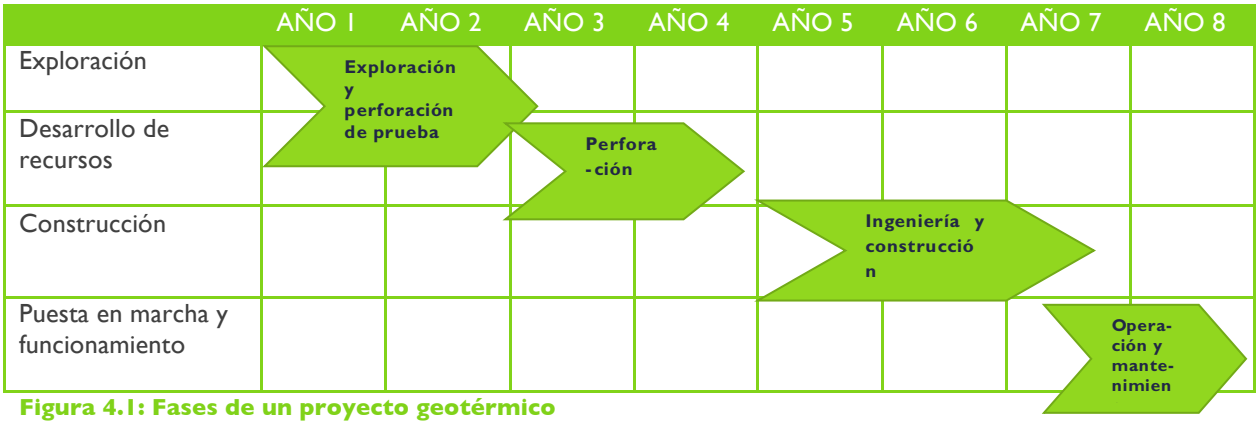


Figura 4.1: Fases de un proyecto geotérmico

- **Fase de exploración**

La experiencia nos dice que se tarda entre 5 y 7 años en poner en marcha una planta geotérmica.

En la "fase de exploración" de un nuevo proyecto, (que está sujeta a un permiso de exploración que normalmente conceden las autoridades mineras), los datos geológicos disponibles son nuevamente procesados y analizados.

Tras un estudio preliminar, será necesario llevar a cabo estudios geofísicos, geológicos y geoquímicos detallados para identificar los lugares de perforación en el área definida y estimar el potencial geotérmico. Deberán diseñarse estrategias de exploración para cada emplazamiento teniendo en cuenta el entorno geológico en cuestión, pero entre ellas pueden incluirse (Bruhn et al. 2010):

- Análisis del entorno geológico y geodinámico;
- Geoquímica, incluyendo la química de fluidos e isótopos de las rocas;
- Análisis estructurado de fallas, fracturas y pliegues;
- Determinación del campo de tensión regional;
- Métodos potenciales, principalmente estudios magnéticos y de gravedad;
- Métodos eléctricos y electromagnéticos;
- Métodos sísmicos, tanto activos como pasivos.

La exploración exige un gran trabajo, pues es necesario minimizar las incertidumbres en la perforación combinando estudios magnetotelúricos (MT). En Alemania, existe la tendencia de emplear métodos sísmicos, incluso para proyectos con poco potencial de MW. De hecho, esta es la mejor tecnología disponible actualmente para identificar áreas fracturadas, pero se necesita una tecnología menos costosa para reducir los costes del desarrollo geotérmico; por lo tanto, es importante que los estudios sísmicos en 3D estén correlacionados con otras tecnologías.

Otro paso clave en la fase de exploración es la perforación de prueba. En esta fase se diseña un programa de perforación para desarrollar un objetivo que confirme la existencia y el potencial de un recurso. Dentro de la industria geotérmica existe el debate sobre el empleo o no de pozos estrechos, pues una exploración de éxito puede convertirse en un pozo de producción. Deberá responderse a este debate en función de cada proyecto, teniendo en cuenta los conocimientos sobre la región y la economía del mismo. Un pozo estrecho puede alcanzar, por ejemplo, hasta 1,5 km de profundidad con un diámetro máximo de 15 cm.; para ello se necesitan plataformas de perforación más ligeras y, por lo tanto, se limitan los costes.

Además de la ciencia de la Tierra y la ingeniería, deberán estudiarse y evaluarse las condiciones legales y el panorama del mercado en el denominado 'estudio de viabilidad', cuyo resultado confirmará la viabilidad técnica y económica del proyecto. Los conceptos de financiación y seguro del proyecto se plantean también en esta fase. Por ello, los **bancos/inversores/patrocinadores y las compañías de seguros desempeñan un papel importante desde el principio.**

- **Desarrollo de recursos**

Basándose en los estudios de viabilidad, los promotores del proyecto pueden optar por comenzar la fase activa del "desarrollo de recursos". Esta fase incluye la perforación de los pozos de producción e inyección, así como la conexión de éstos a la planta eléctrica. Tras finalizar la prueba de flujo a largo plazo, se conocerá el potencial del recurso geotérmico.

- **Construcción**

Una vez completada la actividad de perforación y las pruebas asociadas, se inicia la fase de construcción. En este punto, es necesario planificar, construir y conectar la planta a la red eléctrica. Los resultados de la prueba de flujo a largo plazo sirven de punto de partida para elaborar un estudio detallado de la planta eléctrica. En caso de contar con factores de rendimiento menor, pueden solicitarse módulos de planta estándar sin haber completado la prueba de flujo. En este caso, debería ser posible financiar la planta eléctrica con capital social. Actualmente, no se conoce ningún banco que financie una planta eléctrica sin la garantía de los resultados de las pruebas de flujo a largo plazo.

- **Puesta en marcha y funcionamiento**

Tras la fase de construcción, la planta eléctrica se pone en marcha y se realizan las pruebas iniciales. Una vez finalizadas todas las pruebas correctamente, la planta eléctrica está plenamente operativa y se puede vender la electricidad (y/o el calor en el caso de las plantas de cogeneración) generada. Será necesario realizar el mantenimiento de la planta y el recurso geotérmico a lo largo del ciclo de vida de la planta eléctrica.

Equipo de proyecto e interacción entre disciplinas

A lo largo de los varios años de desarrollo e implementación de un proyecto geotérmico, son varios los participantes implicados (Figura 6).

Figura 4.2: Participantes en el desarrollo de un proyecto geotérmico

El gestor del proyecto desempeña un papel clave para el éxito (económico) de un proyecto, especialmente en la primera fase. Debe ajustarse a los complejos requisitos relacionados con la estructuración, el desarrollo y la mitigación de riesgos.

Se necesita un equipo de asesores para ayudar al equipo del proyecto. Es necesario que cuenten con una gran variedad de aptitudes, habilidades y tipos de personalidades. En las primeras fases deberá

formarse un equipo de expertos financieros, legales y técnicos, como, por ejemplo, geocientíficos, ingenieros de yacimientos, especialistas en perforación, ingenieros de plantas eléctricas, expertos medioambientales, etc. El desafío reside en mantener bajo control la complejidad del proyecto y reflejar los aspectos técnicos y la marcha del mismo correctamente en el flujo de caja. Asimismo, la interacción entre las diversas disciplinas, la definición de las interfaces y el intercambio constante y activo de información deberán estar perfectamente organizados.

4.2 Financiación de un proyecto geotérmico

En esta primera fase puede plantearse aún la financiación privada en el mercado geotérmico. Una inversión significativa, un nivel de riesgo más alto, un ciclo largo de desarrollo de proyecto y la larga espera del retorno de las inversiones son los desafíos clave de un proyecto geotérmico. Cada proyecto tiene sus propios requisitos de financiación debido a los parámetros de proyecto específicos relativos a la geología, finanzas, política y técnicas. En la siguiente Figura 4.3 se muestran los factores fundamentales para el éxito económico de un proyecto de energía geotérmica.

Figura 4.3: Parámetros esenciales para el éxito económico

La evolución generalizada de la energía geotérmica conllevará una gran inversión. Es necesaria la participación del sector privado: bancos, patrocinadores e inversores.

La financiación de los proyectos geotérmicos depende de la fase en que se encuentre el proyecto. Deberá estructurarse en dos pasos. Los inversores del proyectos son los responsables financieros del riesgo geológico hasta que un banco pueda financiar la deuda tras la finalización de las pruebas de flujo a largo plazo. Por propia experiencia, deberá constituirse una entidad de propósito especial (SPV, por sus siglas en inglés) para el proyecto geotérmico con el fin de gestionar la financiación y definir los riesgos del mismo.

Financiación del proyecto

Debido a los distintos niveles de riesgo implicados, se emplean diversas herramientas financieras para financiar las diferentes fases de un proyecto geotérmico. Esto se muestra en la Figura 9.

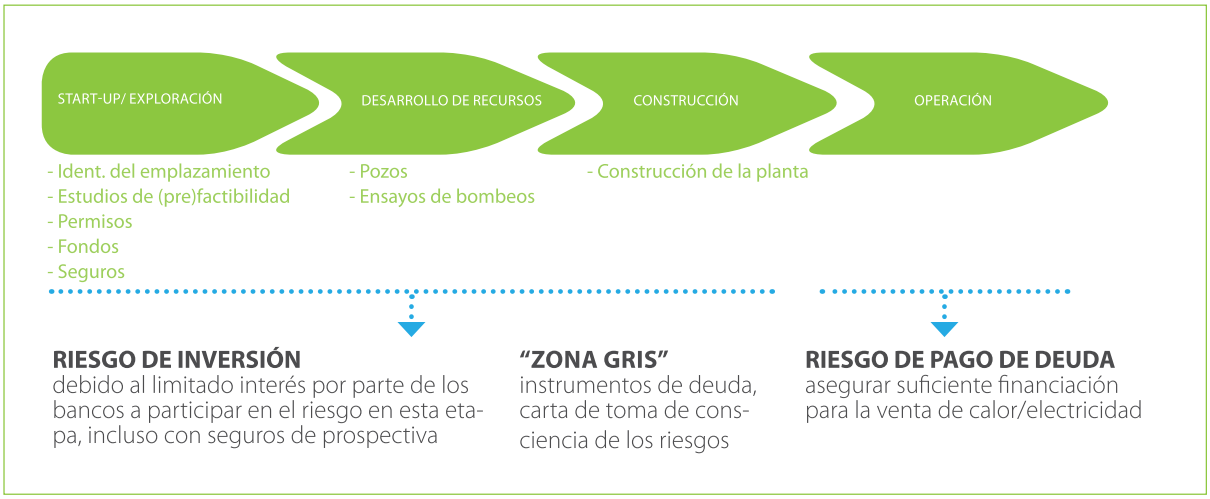


Figura 4.4: Instrumentos financieros empleados para financiar las distintas fases de un proyecto geotérmico

La financiación de un proyecto geotérmico es, en efecto, más complicada en la fase inicial de desarrollo del proyecto, pues los riesgos geológicos durante las fases de exploración y perforación deben ser cubiertos con capital.

Si la fase de construcción empieza antes de que estén disponibles las pruebas de bombeo, la financiación de la planta eléctrica se encontrará en "zona incierta", en la mayoría de los casos no puede constituirse la financiación de la deuda. Una vez finalizada la prueba de flujo a largo plazo, es posible que un banco financie el proyecto.

La idea básica de la financiación de proyectos es que el proyecto se financie por sí solo. Los inversores deben tener una perspectiva creíble sobre un índice de rendimiento sobre el capital adecuado, y los acreedores necesitan una garantía sobre el retorno de su capital de crédito. El préstamo relacionado con el flujo de caja, el riesgo compartido y la financiación fuera del balance son las características principales de la financiación de proyectos.

La SPV del proyecto geotérmico deberá ser constituida por los iniciadores del proyecto que tengan capacidad legal y sean acreditables. Con ella, la entidad puede obtener el capital de deuda, mientras que los patrocinadores sólo pueden participar como inversores en función del importe de sus depósitos (Figura 4.5).

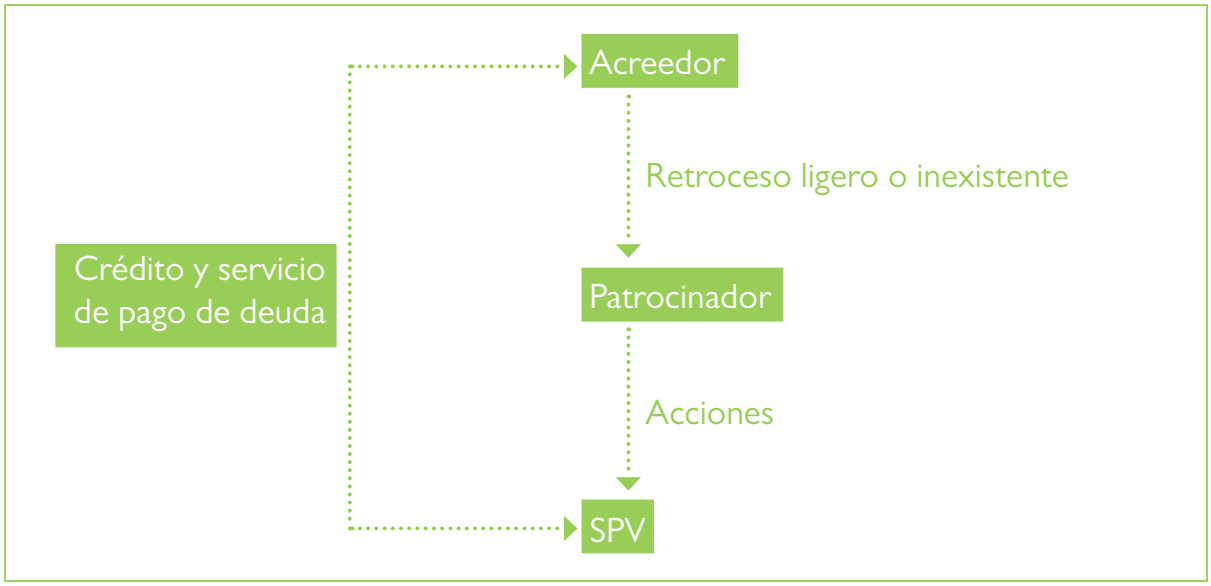


Figura 4.5: Financiación de proyecto de una entidad de propósito especial (SPV)

Los créditos del proyecto son incluidos en el balance de la SPV geotérmica, mientras que las cuentas anuales de los patrocinadores no deberían verse afectadas (financiación fuera del balance).

El control crediticio se centra en la viabilidad económica del proyecto debido a la ausencia de un historial económico y las muchas particularidades de cada proyecto. El flujo de caja debe ser suficiente para los costes de funcionamiento y el servicio de la deuda. La orientación a los flujos de caja en el control crediticio se denomina "préstamo relacionado con el flujo de caja". Solo están disponibles las dos fuentes de garantías: los activos adquiridos dentro del proyecto y los flujos de caja esperados.

Los requisitos habituales de los bancos para los proyectos geotérmicos están enumerados en el Cuadro 2.

CUADRO 2:

REQUISITOS DE UN BANCO PARA FINANCIAR UN PROYECTO GEOTÉRMICO

- ✓ PRUEBA DE FLUJO COMPLETADA
- ✓ PARTICIPACIÓN DE CAPITAL DE AL MENOS EL 30% DEL BALANCE (TRAS UN DESCUBRIMIENTO CON ÉXITO)
- ✓ PLAZO: 15-20 AÑOS, DEPENDIENDO DE LA VIDA ÚTIL TÉCNICA DE LAS INSTALACIONES
- ✓ ÍNDICE DE COBERTURA DEL SERVICIO: >1,2
- ✓ EXCEDENTE DE CAPITAL, por ej., para un pozo seco, una bomba de recambio
- ✓ CONOCIMIENTOS Y EXPERIENCIA ADECUADOS
- ✓ ESTRUCTURA DE PROYECTO SIN RIESGOS DE INTERACCIÓN
- ✓ TECNOLOGÍA CONTRASTADA
- ✓ MITIGACIÓN DEL RIESGO
- ✓ ESTUDIOS DE VIABILIDAD INDEPENDIENTES
- ✓ DISPONIBILIDAD DE MATERIALES DE SUSTITUCIÓN
- ✓ ACUERDOS SOBRE LA TARIFA DE ALIMENTACIÓN / GARANTÍA DE VENTA SEGURA

Otra característica de la financiación de proyectos es el riesgo compartido. En este sentido, los riesgos se identifican con sus consecuencias y se asignan a los socios del proyecto. Esta cuestión será tratada en el capítulo 4 de este informe.

Gestión de riesgos

Un proyecto geotérmico se basa en la energía geotérmica estimada que pueda generarse a partir de la reserva y en la estimación de costes y flujos de ingresos relacionada con cada proyecto. La estimación de los costes y flujos de ingresos potenciales presenta incertidumbres y riesgos.

Los patrocinadores financieros son sensibles a los riesgos de los proyectos, especialmente debido a los principios de Basilea II y al desconocimiento sobre los proyectos geotérmicos. Por lo tanto, una gestión de riesgos y una planificación de proyecto consistentes son elementos esenciales para un proyecto en desarrollo, y deberán implementarse en la frase más temprana. La gestión de riesgos no implica necesariamente la eliminación de los mismos, sino su mitigación y gestión sistemáticas (Figura 4.6).

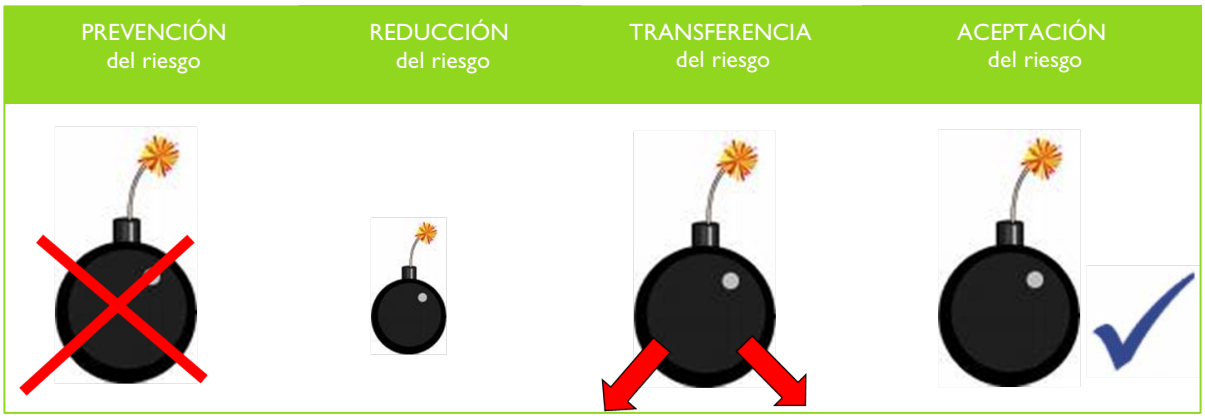


Figura 4.6: La estrategia de riesgo adecuada

Los riesgos deben ser identificados y evaluados para conocer la probabilidad de que ocurran y las consecuencias (económicas) que tendrían. Una vez realizados estos análisis, deberán desarrollarse estrategias para la gestión del riesgo. En ocasiones, no será posible evitar los riesgos mediante medidas adecuadas y "asequibles". Normalmente, la reducción del riesgo es satisfactoria. Algunos riesgos pueden transmitirse a terceros; por ejemplo, mediante seguros (Figura 4.7).

- **Seguro de responsabilidad civil**
  Incl. regulaciones de minería
- **Seguro a todo riesgo de constructores**
  Costes derivados de daños por pérdida en el pozo de equipos, derivación
  Costes derivados de abandono del pozo
- **Seguro de descubrimiento**
  Cobertura del potencial de energía/capacidad térmica

→ **Necesario**: acuerdo de cobertura de seguro

→ **Útil:** respaldo a través de agente experto

Figura 4.7: Concepto de cobertura de seguro para proyectos de energía geotérmica profunda

Por último, hay riesgos que la compañía clasificará como (financieramente) aceptables y cubrirá directamente con capital social.

La mayor parte de la inversión se encuadra en la fase de alto riesgo del proyecto geotérmico (Figura 4.8). A medida que avanza el proyecto, el presupuesto necesario va cambiando sucesivamente. Y a medida que aumentan los trabajos de exploración, se va adquiriendo más información y el riesgo de fracaso disminuye en consecuencia.

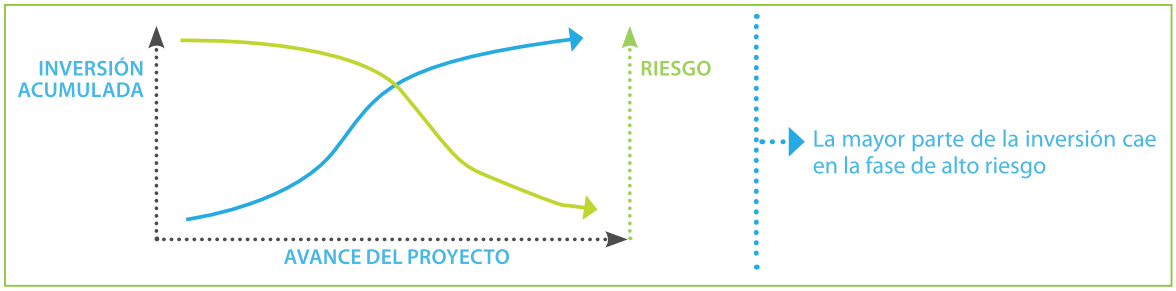


Figura 4.8: Riesgo e inversión acumulada a medida que avanza el proyecto

Finalmente, más allá de la exploración, la financiabilidad de un proyecto geotérmico se ve amenazada por el riesgo geológico. Ya existen fondos de mitigación de riesgo geológico en algunos países europeos (Francia, Alemania, Islandia, Países Bajos y Suiza). El riesgo geológico es un problema común en toda Europa. Es conveniente la colaboración entre los Estados miembros, pues les permite ahorrar dinero y fomentar la aceptación de una tecnología valiosa.

Por este motivo, el proyecto GeoElec ha lanzado propuestas para un Fondo de mitigación de riesgo geológico a nivel de la UE, que será presentado en la siguiente sección.

4.3 Parámetros y escenarios para un Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico (EGRIF)

Aunque la energía geotérmica presenta unos costes operativos bajos, conlleva también grandes inversiones por adelantado. Este factor dificulta sustancialmente la penetración de la energía geotérmica **en el mercado de la energía.** Además de las grandes inversiones por adelantado, los promotores de energía se enfrentan a un riesgo específico asociado a los proyectos geotérmicos, conocido comúnmente como el **riesgo geológico.**

El riesgo geológico incluye:

El riesgo a corto plazo de no encontrar un recurso geotérmico económicamente sostenible tras la perforación;

El riesgo a largo plazo de que el recurso geotérmico se agote naturalmente, haciendo que su explotación económica no sea rentable;

Los estudios geológicos ayudan a encontrar los recursos geotérmicos y a dar una idea de su rentabilidad, pero el único modo purgar el riesgo geológico y confirmar el recurso geotérmico es iniciar el trabajo de exploración y perforación. Para ello, los promotores e inversores deben disponer importantes cantidades de efectivo por adelantado sin certeza alguna respecto a la disponibilidad y la idoneidad del recurso geotérmico, y, por lo tanto, a la financiabilidad del proyecto.

GeoElec se esfuerza por eliminar el riesgo asociado al recurso geotérmico del que se habla en el 'riesgo de recursos'. Por ello, se ha constituido un plan para la constitución de un Fondo Europeo con el fin de mitigar el riesgo del recurso, el EGRIF.

De momento, el número más bien escaso de operaciones de generación eléctrica con geotermia en la UE no ofrece la base estadística suficiente para valorar su probabilidad de éxito. En consecuencia, los promotores geotérmicos tienen problemas a la hora de encontrar planes de seguro públicos o privados con términos y condiciones asequibles para el riesgo del recurso. En estas circunstancias, el EGRIF pretende mitigar la escasez de políticas sobre seguros para el riesgo de recursos y facilitar las inversiones en proyectos de generación eléctrica con energía geotérmica.

Principios del EGRIF- El EGRIF tiene el objetivo de trabajar en la puesta en común del riesgo del recurso entre los proyectos de generación eléctrica con energía geotérmica que se están desarrollando en la UE. El Fondo no desafía el principio de subsidiariedad de la UE ni sirve como competencia de las políticas de seguro nacionales existentes.

En la siguiente figura 4.9 se muestran las fases de un proyecto de generación eléctrica con energía geotérmica, donde puede haber riesgo de recurso y puede proporcionarse un seguro a través del EGRIF.

Hasta que no se haya perforado el primer sondeo en la reserva geotérmica, los promotores no podrán estar seguros sobre los parámetros exactos (temperatura y velocidad de flujo) del proyecto de generación eléctrica con energía geotérmica planificado. Una vez realizada la perforación, las pruebas de bombeo in situ y las mediciones hidrológicas y de temperatura pueden reducir el riesgo y atraer capital externo.

Sistemas de seguro nacionales existentes en Europa: Identificación de parámetros relevantes

Existe un enfoque heterogéneo con respecto al riesgo del recurso en Europa y el resto del mundo. En algunos países de fuera de Europa, los promotores geotérmicos pretenden internalizar el riesgo del recurso, entre otros costes. Esta pretensión se basa en una cultura de riesgo desarrollada en relación con las actividades mineras o del petróleo, o en una alta expectativa de retorno de la inversión en vista de la abundancia de recursos geotérmicos. De este modo, la energía geotérmica se presenta como una opción económicamente atractiva a través de planes de apoyo, sin necesidad de políticas de seguro que cubran el riesgo del recurso. En otros países, el riesgo de recursos no puede internalizarse y sigue siendo una barrera financiera para la evolución de la energía geotérmica. Independientemente de cualquier plan de apoyo, toda expansión geotérmica depende en gran medida del seguro. Todos los países de Europa se encuadran en esta categoría. El siguiente gráfico (Figura 2) muestra el estado actual de los seguros de riesgo de recursos en cada país de la UE, más Islandia y Suiza. Para más información sobre los sistemas de seguro existentes, consulte el Documento 3.2. Para cada país, el gráfico especifica: Si existe un seguro para el riesgo del recurso;

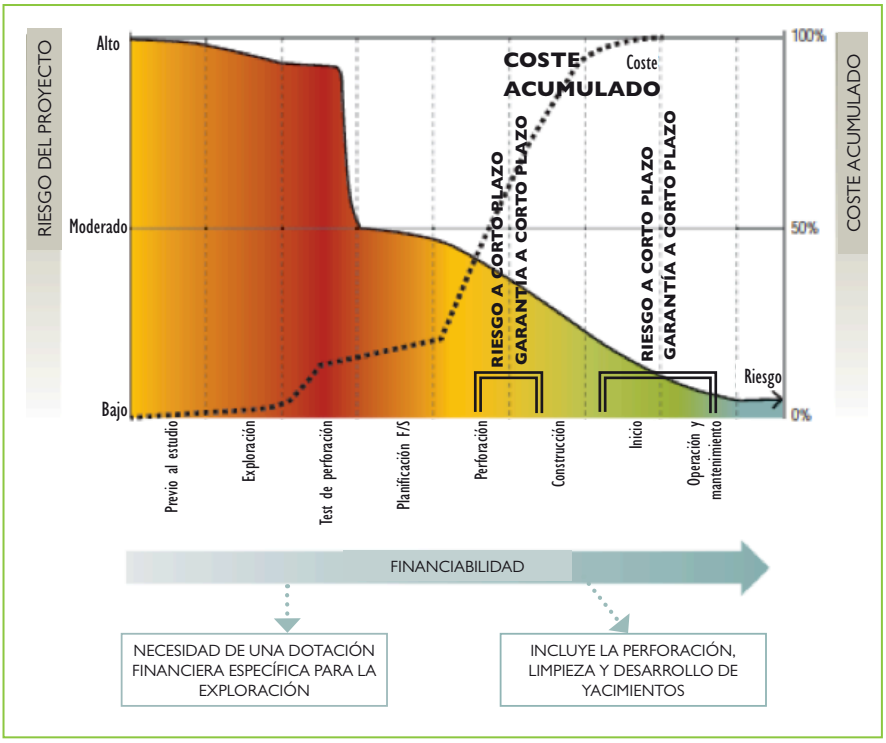


Figura 4.9: Coste de inversión acumulada y riesgo de proyectos geotérmicos

- Si el seguro abarca la producción de calor o electricidad;
- Si el proceso de seguro está gestionado por autoridades públicas o entidades privadas;
- Si el mecanismo del seguro está puramente relacionado con seguros o sirve también como apoyo financiero;
- Si el seguro está disponible únicamente en el contexto nacional o también en países extranjeros;

Tabla 4.1 – Descripción de los sistemas de seguro nacionales en Europa

PAÍS	SEGURO		ENERGÍA		GOBERNANZA		TIPO DE SEGURO		UBICACIÓN	
	Sí	No	Calor	Electricidad	Pública	Sector privado	Puramente relacionado con seguro	Seguro combinado con financiación	Nacional	Países extranjeros
Austria		x								
Bélgica		x								
Bulgaria		x								
Chipre		x								
República Checa		x								
Dinamarca		x								
Estonia		x								
Finlandia		x								
Francia	x		x		x		x		x	
Alemania	x		x	x	x	x		x	x	
	x		x	x		x	x	x	x	x
Grecia		x								
Hungría		x								
Islandia	x		x		x			x	x	
Irlanda		x								
Italia		x								
Letonia		x								
Lituania		x								
Luxemburgo		x								
Malta		x								
Países Bajos	x		x		x		x		x	
Polonia		x								
Portugal		x								
Rumanía		x								
Eslovaquia		x								
Eslovenia		x								
España		x								
Suecia		x								
Suiza	x		x	x	x	x	x		x	
Reino Unido		x								

Parámetros clave para un Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico (EGRIF)

a) el mecanismo de seguro puede adoptar diversas formas:
- Una garantía posterior a daños;
- un préstamo garantizado;
- un mecanismo complementario para asegurar disponible en el contexto nacional, ya sea por parte de compañías de seguros o de Fondos de seguro nacionales;

b) Gobernanza: puede aplicarse a todos los países europeos o únicamente a algunos de ellos. Teniendo esto en mente, el EGRIF puede basarse en:
- una gestión exclusiva por parte de una institución de la UE;
- una gestión compartida entre una institución de la UE, por un lado, y compañías/fondos de seguros nacionales, por el otro;
- una gestión compartida entre una institución de la UE y las autoridades nacionales;
- una gestión exclusiva por parte de las autoridades nacionales;

c) Riesgos asegurados: puede referirse a tres fases del proyecto geotérmico:

- Podría proporcionarse parte de financiación para la exploración;

- El Fondo debe asegurar el riesgo a corto plazo; es decir, una o varias perforaciones para pozos de producción e inyección. Podría aplicarse para ello un mecanismo giratorio;

- El Fondo podría asegurar también el riesgo a largo plazo; es decir, la calidad y la cantidad del recurso geotérmico a lo largo de un periodo de tiempo determinado, pero con condiciones.

d) Estructura financiera y de capital: el capital inicial podría cubrirse con financiación de:

- La Unión Europea;
- los Estados miembros;
- las autoridades a nivel regional de los Estados miembros;
- compañías y agentes de seguros;
- instituciones de financiación públicas y privadas;
- otras partes interesadas de confianza;

Los datos indican que pueden surgir problemas de gobernanza si la distribución del capital inicial no se realiza de manera transparente. Esto es algo que debería evitarse en lo que se refiere al EGRIF. La disposición de su capital inicial deberá darse a conocer públicamente.

Una vez constituido el Fondo con un capital inicial, puede depender de diversas fuentes de ingresos. Existen varias fuentes de ingresos para los sistemas de seguros existentes: primas, tasas, productos de inversiones realizadas en el tesoro, impuestos sobre la transmisión de electricidad, y financiación públicas.

Asimismo, los datos muestran que cuando más diversificados son los ingresos, más estable es el Fondo. Algunos sistemas de seguros que dependían de una única fuente de ingresos se vieron afectados cuando acabó agotándose esta fuente (por ej., GeoFund, ARGeo).

El Fondo puede compensarse con el tiempo si los ingresos lo permiten. También puede agotarse y rellenarse periódicamente.

Al igual que con cualquier Fondo de seguro consistente, el EGRIF puede solicitar reaseguro a otro organismo. Parte del riesgo del recurso se traspasaría al reasegurador, aliviando financieramente al Fondo. De este modo, podrían emitirse más políticas de las que pueden permitir sus ingresos y seguir cubriendo proyectos de generación eléctrica con energía geotérmica, haciendo frente al mismo tiempo a pérdidas excepcionales.

e) El proceso de seguro:

- Puede basarse en asesoramiento independiente;
- Podría permitir la emisión de aplicaciones de manera continua o mediante licitación;
- Debe conducir sistemáticamente a la finalización de un contrato de referencia entre el desarrollador y el Fondo;
- Debe incluir determinadas obligaciones de elaboración de informes;
- Debe aplicar uno o varios idiomas, los cuales se seleccionarán de manera clara;
- Debe ser claro y transparente, y conducir a decisiones fundadas y públicas;

f) Tipo de seguro y riesgos asegurados con el EGRIF:

Como se ha explicado en la primera parte, en caso de no conocer el recurso geotérmico, la exploración es fundamental para recopilar los datos relevantes antes de iniciar la perforación. Aparte de la exploración, dos riesgos amenazan la financiabilidad de un proyecto geotérmico: el riesgo de no encontrar un recurso adecuado (riesgo a corto plazo) y el riesgo de que el recurso se vaya agotando naturalmente con el tiempo (el riesgo a largo plazo).

En lo que se refiere a la generación de electricidad con energía geotérmica en Europa, el EGRIF deberá centrarse en la fase de exploración, el riesgo a corto plazo y el riesgo a largo plazo.

- **La fase de exploración**

También en esta fase, el objetivo de la exploración es recopilar datos acerca del recurso geotérmico. Para ello, se realizan estudios de superficie y/o perforaciones de exploración. La perforación de exploración no tiene por qué ser una perforación de producción, sino que su objetivo es la recopilación de datos. No obstante, si la exploración resulta favorable, el pozo de exploración podrá utilizarse también como pozo de producción o de inyección. Dado que la perforación de exploración es en gran medida una actividad de recopilación de información, no existen criterios evidentes de éxito o fracaso. El éxito se determina según el caso. Por ello, cualquier seguro es irrelevante en la fase de exploración. Esta fase se cubre con financiación pública. Teniendo en cuenta la importancia de la exploración para la generación de electricidad con energía geotérmica en Europa, el EGRIF proporcionará una dotación financiera para apoyar la exploración. Esta dotación financiera consistirá en un anticipo reembolsable; de este modo, se obtiene financiación para la exploración sin agotar el Fondo, ya que el anticipo sería reembolsado. El importe del anticipo reembolsable será estipulado mediante un contrato, y este importe cubrirá los costes de las pruebas y la perforación de exploración. Asimismo, deberán tenerse en cuenta los costes de exploración específicos de EGS (guía de Inversión geotérmica de GeoElec D3.4 'costes subvencionables y ratio de cobertura').

El anticipo deberá ser reembolsado en caso de producción. En ese caso, se aumentará el importe a devolver al Fondo. Se aplicará un tipo de interés típico, así como un factor de descuento. Estas condiciones serán estipuladas mediante contrato y moduladas de acuerdo al riesgo de exploración estimado (véase la D3.4 'costes subvencionables y ratio de cobertura').

- ***El riesgo a corto plazo***

En lo que respecta al riesgo a corto plazo, el seguro tendrá el objetivo de cubrir los costes de una o varias perforaciones en el caso de que un recurso geotérmico sea deficiente en términos económicos (véase D3.4 'costes subvencionables y ratio de cobertura'). Pueden aplicarse dos tipos de seguros: una garantía posterior al daño o un préstamo garantizado. El préstamo garantizado tiene la ventaja principal de que sirve como fuente de financiación y seguro al mismo tiempo, pues el préstamo es condonado cuando el riesgo del recurso se materializa. Sin embargo, requiere un desembolso inmediato de fondos, lo cual limita en gran medida la flexibilidad financiera del Fondo. La garantía posterior al daño no sirve como financiación para proyectos geotérmicos; sin embargo, ha demostrado ser un seguro efectivo en los Estados miembros de la UE que la ofrecen, pues permite que los promotores geotérmicos atraigan capital externo. Desde el punto de vista contable, los fondos se congelan cuando se concede la garantía, pero solo se liberan cuando se produce el riesgo. En este sentido, permite aliviar financieramente el Fondo y esta flexibilidad garantiza que puedan cubrirse muchos proyectos al mismo tiempo.

Al hilo de las consideraciones previas, se favorecerá la garantía posterior al daño con respecto al Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico.

- ***El riesgo a largo plazo***

En lo que respecta al riesgo a largo plazo, el seguro tendrá el objetivo de cubrir el valor amortizable restante de los pozos y el circuito geotérmico, así como la pérdida del recurso geotérmico (véase D3.4 'costes subvencionables y ratio de cobertura'). La cobertura del riesgo a largo plazo deberá tener en cuenta ciertos elementos específicos. El agotamiento natural es un riesgo técnico estándar que los operadores pueden abordar con una gestión de reservas adecuada. Una consecuencia inesperada podría ser una "gestión de reservas insostenible", aunque esto tratará de evitarse con sistemas efectivos establecidos y predefinidos. Como se ha explicado anteriormente, el EGRIF proporcionará una garantía posterior, en lugar de un préstamo garantizado, en vista de las ventajas de la primera.

- ***Directriz***

El Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico proporcionará un anticipo reembolsable para la exploración y una garantía posterior al daño en caso de materializarse el riesgo a corto plazo y/o el riesgo a largo plazo. Concretamente, estos mecanismos se aplicarán independientemente de que la electricidad o el calor geotérmicos se generen de manera convencional o a través de EGS.

4.4 Análisis de costes

Los costes totales de un proyecto geotérmico están dominados por los costes de capital al comienzo del proyecto. Los intervalos de los costes de capital principales están definidos en la Figura 4.10, aunque la inversión real para proyectos concretos puede variar con respecto a dichos intervalos.

- Exploración y desarrollo de reservas

La inversión para la exploración y el desarrollo de la reserva (esto es, la perforación) conforma la mayor parte de la inversión total. Es complicado realizar una valoración general de estos costes debido a las variables condiciones geológicas que afectan a la perforación, la finalización y la estimulación de las reservas en el caso de EGS. Las estimaciones de inversión de la reserva en una fase temprana de un proyecto geotérmico suelen basarse en datos existentes de otros pozos perforados y finalizados. Para el cálculo detallado del coste se utiliza información del emplazamiento geológico. Dichos cálculos deben tener en cuenta también costes adicionales de problemas no previstos; normalmente, alrededor del 10% o más en áreas geológicas desconocidas.

Exploración	Pozos
1-3 M€	**10-30 M€**
Central eléctrica (4-5 MW)	**Ingeniería EGS**
15-20 M€	**4-8 M€**
Seguros	**Planificación de proyectos**
0,5-7 M€	**- 10%**

Figura 4.10: Desglose de los costes de capital en un proyectos de EGS de 5 MWe en Alemania (ver caso de estudio en la Guía financiera de GeoElec)

CATEGORÍA DE COSTE	PORCENTAJE APROX. DE CAPEX
Preparación y perforación	54%
Generador de turbinas y sistemas auxiliares	13%
Sistema de suministro de vapor	10%
Diseño y supervisión	11%
Edificios y sistemas varios	7%
Carreteras y campamentos	3%
Sistemas eléctricos, de control y protección	2%

Figura 4.11: Ejemplo de una planta eléctrica binaria de baja entalpía de 5 MWe en Europa Central

- Costes de ingeniería de reservas para EGS

EGS permite el desarrollo de áreas de baja temperatura incrementando la permeabilidad de las rocas prácticamente en cualquier lugar. Las técnicas de estimulación basadas en la inyección de agua a alta presión tienen el objetivo de generar una alta permeabilidad para extraer el máximo flujo de masa posible. Dependiendo de las particularidades del sitio y las estimulaciones de energía estimadas, deberán tenerse en cuenta unos costes de entre 4 y 8 millones de euros.

- **Instalaciones en superficie**

Los costes de inversión para la superficie de un proyecto geotérmico incluyen los costes del sistema de suministro de fluidos geotérmicos y los costes de la unidad de la planta eléctrica (y, si procede, los costes adicionales de la unidad de la planta térmica).

Las inversiones para el sistema de suministro fluidos geotérmicos incluyen los costes de los equipos, como bombas, tuberías, válvulas, separadores (cuando corresponda) y filtros. Los costes dependen de la velocidad de flujo del fluido geotérmico, la temperatura y la presión en el sistema de captación. Otros parámetros que afectan al coste son las composiciones químicas, el contenido de gas y la topografía del campo de vapor.

La inversión para una planta eléctrica depende generalmente de la capacidad instalada. Las inversiones específicas disminuyen de manera inversamente proporcional a la capacidad. Los principales elementos son la turbina y la unidad generadora, los intercambiadores de calor y la unidad de refrigeración.

- **Otros costes**

Según experiencias anteriores, la planificación de un proyecto, con diseño incluido, puede acaparar aproximadamente el 10% de los costes de capital globales. Asimismo, deberán presupuestarse los costes de asesoramiento (legal y económico, gestión de proyectos) y para el procedimiento de concesión de licencia. Otros costes de inversión son, por ejemplo, la protección frente a ruidos, equipo administrativo y de oficinas, infraestructura, parte exterior. Los seguros para cubrir el riesgo geológico, el riesgo de responsabilidad civil o el seguro a todo riesgo de los constructores son otros factores de coste a tener en cuenta.

- **Costes de operación y mantenimiento**

Los costes operativos anuales durante la fase operativa de una planta eléctrica geotérmica incluyen principalmente los costes de personal, material de consumo, reformas y mantenimiento. Deberán tenerse en cuenta costes derivados del consumo de electricidad auxiliar en caso de que la planta eléctrica no pueda ofrecer el suministro necesario por sí misma. A diferencia de los combustibles fósiles y la biomasa, en esta etapa no se incluyen costes de combustibles.

4.5 Ingresos

Planes de apoyo para la generación de electricidad con energía geotérmica

Un elemento crítico en el desarrollo de proyectos es garantizar ingresos estables a lo largo del proceso de venta de la electricidad producida. Especialmente para los productores independientes (es decir, no servicios públicos), es fundamental la negociación de un **acuerdo para la compra de energía (PPA, por sus siglas en inglés)** adecuado. Un PPA es un contrato a largo plazo (entre 5 y 20 años) con un tercero, normalmente un servicio público, para vender la electricidad

generada por una planta eléctrica. Este acuerdo es esencial para asegurar un flujo de ingresos a largo plazo.

En la UE, la Directiva 2009/28/EC (Directiva de FER) ha establecido el objetivo del 20% de energía renovable en el consumo final bruto de energía para 2020. Este objetivo general se ha dividido en objetivos nacionales vinculantes. Para facilitar la consecución de estos objetivos, el Artículo 3 de la Directiva FER permite a los Estados miembros hacer uso de mecanismos nacionales de apoyo a la promoción de energía procedente de fuentes renovable, siempre y cuando sean compatibles con las directrices sobre ayudas estatales para la protección medioambiental.

Actualmente hay una serie de mecanismos de políticas públicas vigentes. Éstos pueden clasificarse en apoyos a la inversión (concesiones de capital, exenciones fiscales o deducciones en la compra de productos) y apoyos operativos (precios regulados, obligaciones de energía renovable con certificados ecológicos, planes de licitación y reducciones fiscales para la producción de electricidad).

El incentivo más utilizado en los países de la UE es el **sistema de tarifas**, que garantiza un precio fijo por kWh de electricidad. Estos pagos están garantizados en su mayoría para el productor de electricidad durante 10-20 años; por lo tanto, el único problema de los productores de energía es negociar y firmar un PPA. Esta seguridad de la inversión y la garantía de flujos de caja les permite financiar la deuda en condiciones más cómodas; esto es esencial para la financiación de proyectos de gran capital, como los geotérmicos.

En la Figura 4.12 se incluye un resumen de los sistemas de tarifas vigentes en 11 países europeos (EGEC, 2012). Sin embargo, difieren en términos de plazo y otras condiciones. Para una información más detallada, deberá contactarse con las autoridades nacionales competentes.

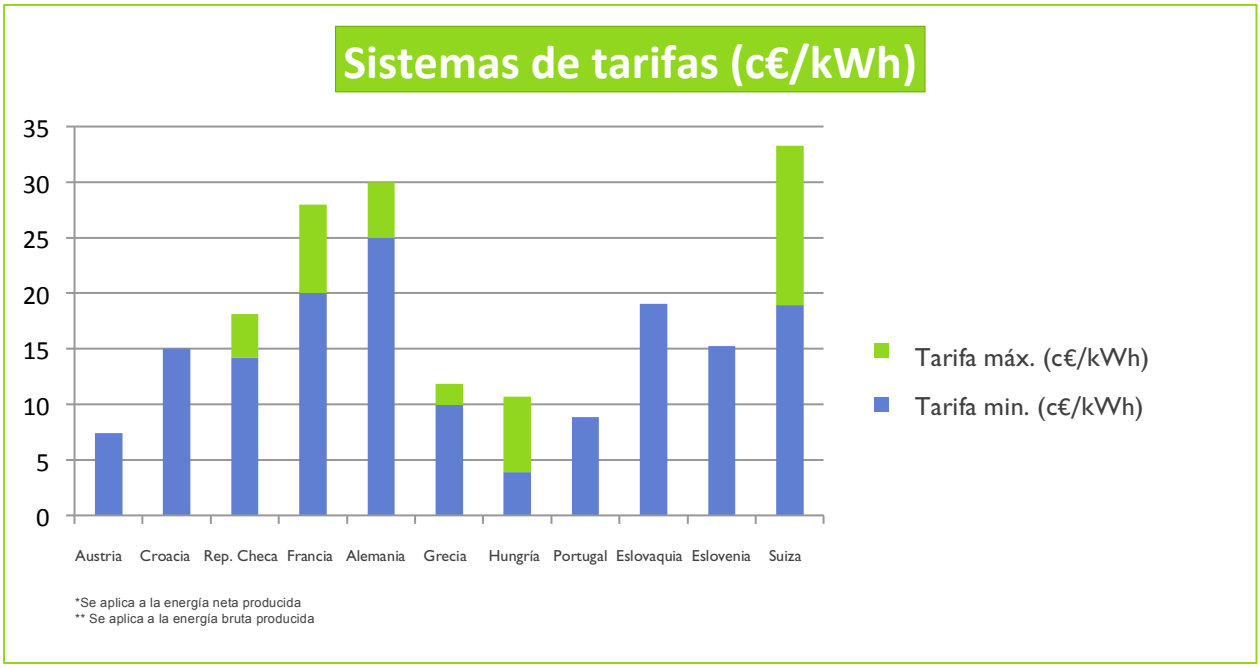


Figura 4.12: Sistemas de tarifas en Europa. Fuente: Informe del mercado geotérmico de EGEC 2012

Un incentivo alternativo y más orientado al mercado es un sistema denominado prima, que proporciona al productor de electricidad una prestación financiera fija por unidad de electricidad

producida a partir de fuentes de energía renovables por su valor ecológico. Además, el productor recibe el precio de mercado por la energía física. 4 países promueven la generación de energía geotérmica a través de mecanismos de prima.

Por último, Flandes, una región belga, Rumanía, y el Reino Unido, promueven la generación eléctrica con energía geotérmica mediante sistemas de cuota/certificados.

El valor añadido de la cogeneración

Los proyectos de CHP mejoran su economía mediante la venta de calor a precios de mercado en competencia con otras fuentes de calor (Figura 4.13).

Dado que la perforación de fluido geotérmico es una fase costosa y de alto riesgo, los resultados deberán emplearse con el fin de generar el máximo número de flujos de ingresos posible para crear un proyecto beneficioso. La CHP geotérmico no es nada nuevo. En Paratunka, Kamchatka, Rusia, lleva utilizándose un recurso geotérmico de baja temperatura (81°C) desde finales de los años 60, que combina la generación de calor y usos directos del calor residual para el calentamiento de suelo e invernaderos. El calor puede considerarse un subproducto de la energía geotérmica en términos de calor residual liberado por las unidades generadoras o exceso de calor de la fuente geotérmica.

En Alemania, existen regulaciones y leyes que privilegian la utilización de calor de energías renovables (por ej., EEWärmeG).

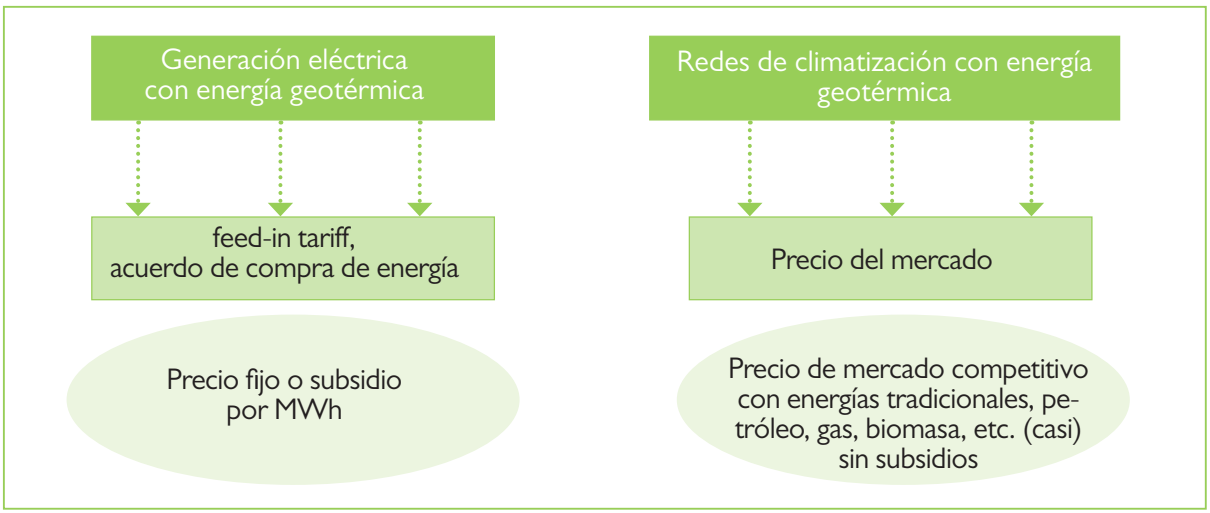


Figura 4.13: Ingresos de un proyecto geotérmico: calor y electricidad

En el caso de un proyecto de CHP, los ingresos obtenidos por el calor vienen determinados por la capacidad de calentamiento proporcionada a la red. La expansión de las redes de calefacción urbana habituales, incluido el aumento subsiguiente de la densidad de cobertura, suele llevar entre 15 y 20 años; es entonces cuando se alcanza el nivel final de ventas. La competencia entre las fuentes de energía competidoras (petróleo, gas, astillas de madera, etc.) ha impuesto un límite natural en el precio; asimismo, debe diseñarse una tarifa de calor atractiva para dar a los consumidores un incentivo para cambiar.

4.6 Software para preevaluar la viabilidad financiera

Con el fin de promover la elaboración de estudios previos de viabilidad financiera para nuevos proyectos, GeoElec ha creado y ofrece software gratuito online para la primera validación de proyectos de energía geotérmica.

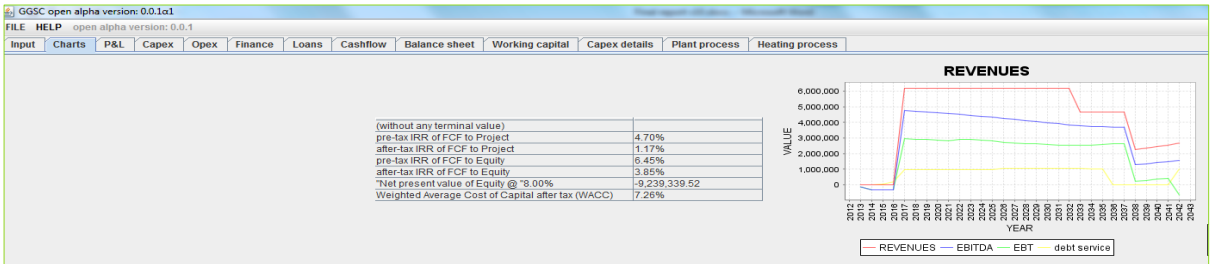
Acerca del software

Con el fin de aumentar la confianza y la investigación de nuevos proyectos, se ha diseñado este software para promotores de proyectos y autoridades públicas que están estudiando el potencial de nuevas plantas geotérmicas. Empleando esta nueva herramienta, puede comprobarse por adelantado y validarse el modelo de financiación y el plan de negocio.

Concretamente, los usuarios pueden comprobar:

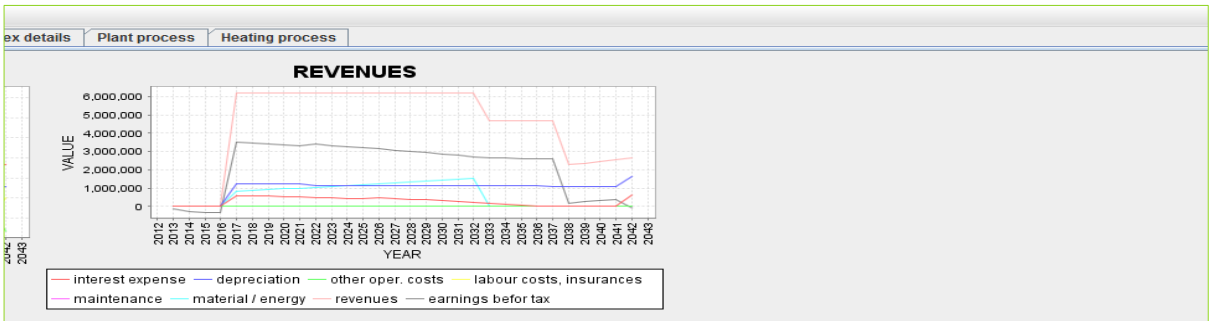
- Tasa interna de rendimiento (TIR)
- Valor actual neto (VAN)
- Tiempo de reembolso
- Coste normalizado de la producción de electricidad
- Ingresos y pérdidas
- Balance
- Flujo de caja

Este software puede emplearse con las tres tecnologías de generación eléctrica con energía geotérmica: convencional (hidrotérmica, alta temperatura) con turbinas de vapor flash y vapor seco, geotérmica hidrotérmica con turbinas binarias (ciclo de Kalina y ORC), y sistemas geotérmicos estimulados (EGS)



(without any terminal value)	
pre-tax IRR of FCF to Project	4.70%
after-tax IRR of FCF to Project	1.17%
pre-tax IRR of FCF to Equity	6.45%
after-tax IRR of FCF to Equity	3.85%
*Net present value of Equity @ *8.00%	-9,239,339.52
Weighted Average Cost of Capital after tax (WACC)	7.26%

Data for ch...	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	203
REVENUES	0	0	0	0	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,2
EBITDA	-125,000	-307,500	-315,187.5	-323,067.19	4,773,301	4,724,482	4,673,940	4,621,563	4,567,340	4,511,211	4,453,062	4,392,829	4,330,451	4,265,813	4,198,903	4,129,554	4,057,703	3,983,2
EBT	-124,633.21	-307,209.78	-314,884.63	-322,748.53	2,955,242	2,925,426	2,894,839	2,863,415	2,831,192	2,930,488	2,895,770	2,859,006	2,821,390	2,711,991	2,672,196	2,640,939	2,609,465	2,577,8
debt service	1,936	8,831	19,359	197,969	978,752	978,752	978,752	978,752	978,752	978,752	979,665	981,957	984,421	1,065,720	1,065,720	1,065,720	1,065,720	1,065,7
interest exp...	0	0	0	0	598,466	579,452	559,487	538,523	516,512	493,400	469,956	446,475	421,700	466,484	430,530	392,418	352,020	309,198
depreciation	0	0	0	0	1,238,789	1,238,789	1,238,789	1,238,789	1,238,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,7
other oper. ...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
labour cost...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
maintenance	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
material / e...	0	0	0	0	853,517	887,652	923,141	960,090	998,497	1,038,417	1,079,951	1,123,153	1,168,075	1,214,821	1,263,391	1,313,941	1,366,524	1,421,1
revenues	0	0	0	0	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,230	6,214,2
earnings b...	-125,000	-307,500	-315,187.5	-323,067.19	3,534,512	3,485,692	3,435,150	3,382,773	3,328,551	3,392,422	3,334,272	3,274,040	3,211,662	3,147,023	3,080,113	3,010,765	2,938,914	2,864,4
control:	-125,000	-307,500	-315,187.5	-323,067.19	-587,411.19	-602,096.47	-617,148.89	-632,577.61	-648,392.05	-664,601.85	-681,216.9	-698,247.32	-715,703.5	-733,596.09	-751,935.99	-770,734.39	-790,002.75	-809,75



2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042
214,230	6,214,230	6,214,230	4,650,820	4,650,820	4,650,820	4,650,820	4,650,820	2,273,026	2,363,948	2,458,506	2,556,845	2,659,119
983,286	3,906,238	3,826,339	3,778,805	3,757,005	3,734,659	3,711,755	3,688,279	1,286,421	1,352,677	1,421,954	1,494,380	1,570,092
577,848	2,546,168	2,519,397	2,522,839	2,554,401	2,586,936	2,620,395	2,618,961	217,103	283,360	352,636	425,062	-648,966.41
065,720	1,065,720	1,065,720	1,054,533	1,026,438	996,254	0	0	0	0	0	0	998,083
09,198	263,807	215,692	164,691	111,300	56,392	0	0	0	0	0	0	621,916
118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,118,789	1,100,218	1,100,218	1,100,218	1,100,218	1,100,218	1,640,473
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
421,191	1,477,995	1,537,144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
214,230	6,214,230	6,214,230	4,650,820	4,650,820	4,650,820	4,650,820	4,650,820	2,273,026	2,363,948	2,458,506	2,556,845	2,659,119
864,496	2,787,449	2,707,550	2,660,016	2,638,215	2,615,870	2,592,966	2,588,061	186,203	252,459	321,736	394,161	-70,381.86
09,752.82	-829,996.64	-850,746.55	-872,015.22	-893,815.6	-916,160.99	-939,065.01	-962,541.64	-986,605.18	-1,011,270....	-1,036,552....	-1,062,465....	-1,089,027....

REFERENCIAS

- Manual sobre la planificación y financiación de la generación de energía geotérmica, Programa de asistencia para la gestión del sector de la energía, El banco de inversión para la reconstrucción, Abril de 2012
- Plan de seguro europeo para cubrir el riesgo geológico relacionado con las operaciones geotérmicas, Informe definitivo, Junio de 1997, informe coordinado por el BRGM para la Comisión Europea
- Plan de financiación emergente para promover la inversión en el sector de la energía geotérmica, Proyecto GEOFAR, 2011, informe coordinado por AG

Materiales de GeoElec

- Ficha técnica sobre el desarrollo del mercado
- Ficha técnica sobre financiación y aspectos económicos

- Informe sobre seguro de riesgo
- Guía de inversión
- Software para estudios previos de viabilidad financiera

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Europeo de Energía Geotérmica, 2009. Electricidad geotérmica y combinación de calor y electricidad
- UNEP, 2011, Hacia una economía verde: Vías para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza
- Dr. T.Reif, Boletín de GHC, 2008. Análisis de probabilidad y gestión de riesgo para proyectos geotérmicos
- H.Kreuter y C.Hecht, Sesión del Congreso Geotérmico Europeo 2007, Unterhaching, Alemania, 30 de mayo - 1 de junio de 2007. Conceptos de probabilidad para la evaluación del riesgo relativo a la temperatura y la velocidad de inyección y producción en reservas hidrotérmicas
- R.Schulz et al., Sesión del Congreso Geotérmico Europeo, >Unterhaching, Alemania, 30 de mayo - 1 de junio de 2007. Cuantificación de los riesgos de exploración de los pozos hidrogeotérmicos
- S.K.Sanyal y J.B. Koenig, Congreso Mundial sobre Energía Geotérmica, Florencia, Italia, Mayo de 1995. Riesgo de recursos y su mitigación para la financiación de proyectos geotérmicos
- H.Kreuter y C.Schrage, Taller de energía geotérmica de GeoFund-IGA, Turquía, Estambul, 16-19 de febrero de 2009. Planes de seguro basados en el mercado geotérmico
- B.Richter, Sesión del Congreso Mundial sobre Energía Geotérmica, Indonesia, Bali, 25-29 de abril de 2010. Planta de energía geotérmica Unterhaching, Alemania
- H.Kreuster y C.Schrage, Transacciones de GRC, Vol.33, 2009. Programas de mitigación de riesgo estatales y privados para el riesgo de la exploración geotérmica
- Economist Intelligence Unit 2011. Gestión del riesgo en la energía renovable

5 MERCADO Y TECNOLOGÍA DE PERFORACIÓN

Los costes de perforación constituyen entre el 30% y el 50% del coste de un proyecto de de generación eléctrica con energía geotérmica hidrotérmica, y hasta el 70% del coste total de los EGS. El objetivo de este capítulo es presentar propuestas para superar esta importante barrera financiera.

Las actividades de investigación y desarrollo (I+D) pueden mejorar las tecnologías de perforación geotérmica para reducir sus costes, pero el desafío actual reside también en mejorar las condiciones del mercado para la perforación geotérmica profunda. Sin embargo, este mercado aún no ha sido analizado a conciencia y el acceso a datos sobre costes es muy limitado. Asimismo, la interacción entre los promotores de proyectos y los contratistas de perforación podría mejorarse.

Con el fin de estimular tanto el mercado como la competencia, el proyecto GeoElec ha tratado de:

- **facilitar información, cuando la había, sobre los costes de perforación en algunos países de la UE**
- **crear una base de datos europea donde se incluyen compañías de perforación a fin de allanar el camino para la publicación online de una herramienta dinámica y actualizada con frecuencia**
- **elaborar buenas prácticas sobre la perforación geotérmica para promotores de proyectos**

5.1 Análisis del mercado de perforación de la energía geotérmica profunda en Europa

La perforación geotérmica suele emplear la misma tecnología que las industrias del petróleo y el gas, especialmente en sedimentos de baja entalpía, aunque la perforación geotérmica presenta características distintivas. En pocas palabras, la explotación geotérmica sostenible requiere pozos profundos y de gran diámetro, además de duraderos.

Los costes de la perforación geotérmica siguen la tendencia de la industria del petróleo y el gas señalada en la figura 5.1, que presenta una dependencia total de los precios del crudo (en alza). Es probable que esta situación persista mientras el sector de la perforación geotérmica no aúne una cuota de mercado propia competitiva.

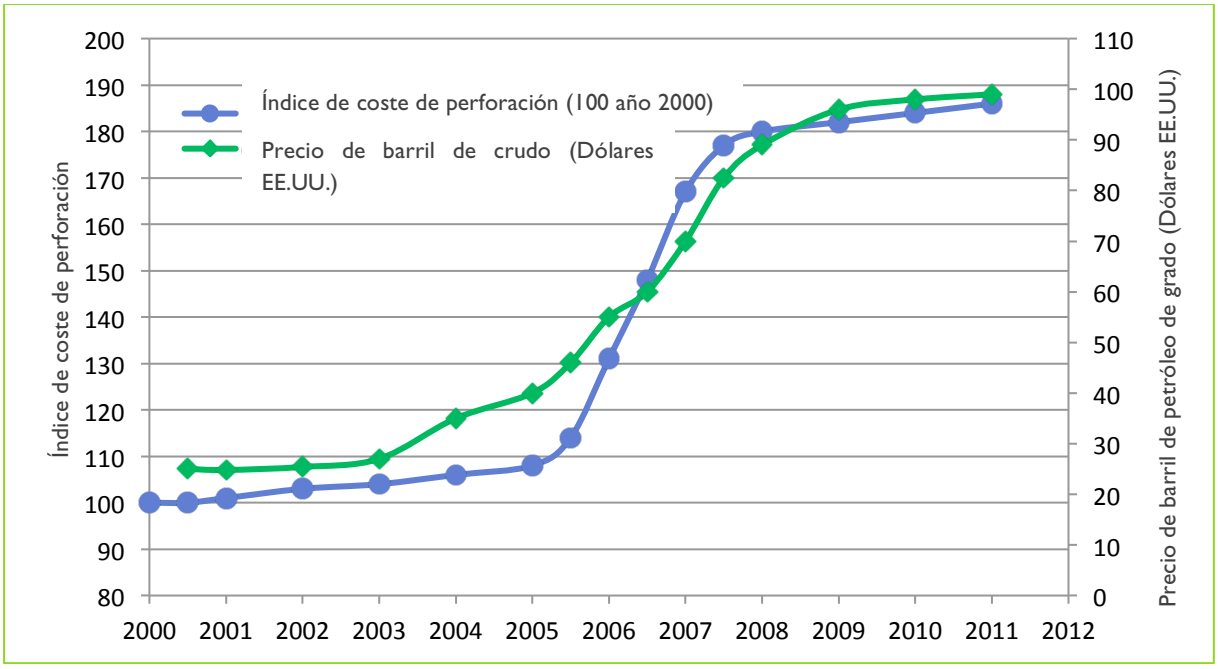


Figura 5.1: Costes de perforación frente a precios de crudo

Es fundamental que se implementen nuevas tecnologías para maximizar la rentabilidad de la perforación. En consecuencia, deberán contemplarse dos cuestiones estratégicas:

- la transferencia a EGS de los logros de las tecnologías y equipos de perforación recientemente desarrollados, y
- la aplicación potencial de tecnologías noveles, como la perforación por espalación, perforación con proyectil, perforación química, entre otras, que están presentes en la primera fase de I+D.

Se recomienda tomar como referencia los criterios demostrados de rentabilidad crítica geotérmica para apoyar la implantación de cualquier tecnología de perforación nueva:

Productividad de excavación (m^3/hr), eficiencia energética de excavación (KWh/m^3) y potencial de coste de pozo específico (€/m_{pozo} & $cm_{diámetro\ final}$).

El coste medio real de la perforación en Europa es de 1.000 €/m.

Los costes de perforación pueden reducirse de la siguiente manera:

- I+D de la tecnología actual (más información disponible en el Programa de investigación estratégica de electricidad geotérmica) y del desarrollo de tecnologías noveles
- Mejora de las condiciones de mercado para desarrollar la competencia

En primer lugar, la reducción del coste de perforación tiene que ver con la reducción del coste de equipos/métodos:

- Plataformas de perforación
- servicios de perforación: barro de perforación y perforación direccional
- herramientas de perforación como brocas de alto rendimiento, tecnologías de perforación noveles
- perforación direccional: guías laterales, horizontales, multilaterales
- concepto de perforación/finalización: pozos de exploración, perforación de pozos estrechos, finalización de pozos sostenibles

En segundo lugar, la mitigación del riesgo es también un problema a la hora de hacer que los costes de perforación geotérmica sean más competitivos con el riesgo de perforación técnica (pérdidas en el pozo) y el riesgo de minería (Predicción sísmica durante la perforación (SPWD, por sus siglas en inglés).

El sector geotérmico va a evolucionar en los 10 próximos años (véase la sección 2.3) y va a perforar nuevos pozos en el sector de la electricidad (1-5 km de profundidad) y el sector de calefacción urbana/usos directos (500 m - 2 km de profundidad). Suponiendo una media de 2 pozos por planta y aplicación de calefacción, 5 MW por cada pozo de producción de electricidad y un número equivalente de inyección, se estima que el número total de pozos geotérmicos en Europa en la próxima década será de uno 1300.

En este contexto, uno de los principales problemas a los que se enfrentan los promotores geotérmicos hoy en día es la financiación de la perforación y las barreras regulatorias.

Los principales problemas del mercado de perforación pueden resumirse de la siguiente manera:

- La fabricación de una plataforma requiere 1 año y un coste cercano a los 20 millones de euros.
- Hay una escasez de perforadores experimentados y cualificados: la formación de un especialista requiere entre 3 y 4 años.
- Hay un número insuficiente de supervisores de proyectos geotérmicos.
- No hay un flujo de negocio continuo en los mercados geotérmicos.
- Las legislaciones intermitentes para apoyar la energía geotérmica son una barrera para la inversión a largo plazo en nuevas plataformas y personal.

Los aspectos regulatorios son muy diferentes en cada país de Europa, y es necesario homogeneizar las regulaciones en la medida de lo posible.

5.2 Base de datos de compañías de perforación profunda

La información relativa a los operadores del mercado de perforación en Europa y las especificaciones de los equipos de plataformas está muy dispersa y, en ocasiones, no está fácilmente al alcance de los promotores de proyectos.

La base de datos online de GeoElec incluye un listado de perforadores, fabricantes de equipos de perforación y compañías de servicios de perforación de Europa. Este listado constituye un primer paso hacia una base de datos dinámica y actualizada regularmente, disponible en la página *www.geoelec.eu*. La base de datos contendrá también información acerca de las características generales de las plataformas disponibles; por ejemplo, condiciones climáticas operativas, capacidades de trabajos de extracción, capacidades de carga de gancho, capacidades de profundidad de perforación.

5.3 Manual de buenas prácticas

La formación y las condiciones de las reservas que caracterizan a los sistemas geotérmicos requieren la adopción de prácticas de perforación distintas a las empleadas en las operaciones convencionales de perforación de petróleo, gas y agua. La temperatura, geología y geoquímica son las áreas principales de diferenciación.

Las elevadas temperaturas encontradas; las rocas sedimentarias y volcánicas a perforar, que presentan normalmente grandes fracturas y fallas y son permeables; y los fluidos geotérmicos que pueden contener diversas concentraciones de gases y sólidos disueltos han requerido la introducción de técnicas y prácticas de perforación especializadas.

Los factores clave tenidos en cuenta en el presente informe son:

Temperatura: la temperatura de la corteza terrestre aumenta gradualmente en función de la profundidad, con un gradiente térmico que suele variar entre los 5° y los 70° por kilómetro. En regiones anómalas, el flujo de calor local y los gradientes geotérmicos pueden ser muy superiores a estos promedios. Estas zonas anómalas suelen estar asociadas a los bordes de las placas continentales, donde la fragilidad de la corteza terrestre permite que el magma llegue a la superficie, y están asociadas a vulcanismo y terremotos recientes en términos geológicos. Es en estos entornos donde se encuentran la mayoría de recursos geotérmicos y donde se han perforado la mayoría de pozos geotérmicos.

Geología: Los campos geotérmicos pueden encontrarse en una amplia variedad de tipos de rocas y entornos geológicos. Los campos geotérmicos de agua caliente de la cuenca del Pacífico son predominantemente de vulcanismo andesítico o riolítico, mientras que la extendida actividad hidrotérmica en Islandia se da en rocas muy fracturadas y predominantemente basálticas. Por contra, los campos de vapor de Larderello, en Italia, se encuentran en una región de rocas metamórficas, y el campo de vapor de géiseres en California se encuentra en su mayor parte en grauvaca fracturada. El denominador común de todos estos campos es la naturaleza altamente permeable, fracturada y

plagada de fallas de las formaciones en las que residen las reservas. Esta elevada permeabilidad es uno de los factores fundamentales para que exista cualquier sistema geotérmico.

Geoquímica: Los fluidos geotérmicos contienen diversas concentraciones de gases y sólidos disueltos. Los gases y los sólidos disueltos suelen proporcionar fluidos corrosivos y muy acídicos, y pueden provocar la formación de incrustaciones durante las operaciones en los pozos. Los gases disueltos suelen estar dominados por el CO_2, pero pueden contener también grandes cantidades de H_2S, los cuales suponen un elevado riesgo para el personal y provocan fallos en las herramientas de perforación, los revestimientos y los equipos del cabezal del pozo. La presencia de estos gases y sólidos disueltos en la formación de fluidos de reservas impone determinadas limitaciones en el diseño de materiales de revestimiento, equipos del cabezal del pozo y lechada de cemento de revestimiento.

Prácticas de perforación: las condiciones encontradas en el fondo de los pozos de los sistemas geotérmicos exigen la adopción de prácticas muy distintas. A continuación se explican algunas de estas diferencias.

Diseño de los pozos: La eficiencia térmica de la conversión de agua/vapor geotérmico en electricidad no es particularmente alta (±20%), por lo que se requieren grandes flujos de masa y velocidades de flujo de volumen, especialmente en los sistemas dominados por vapor. Estos requisitos de alta velocidad de flujo de volumen exigen el empleo de forros y revestimientos de producción de gran diámetro. Normalmente, un pozo de tamaño 'estándar' utilizará un revestimiento de producción API estándar con un diámetro de 9 5/8", y un forro ranurado de 7" o 7 5/8" de diámetro en una sección abierta de 8½" de diámetro. Normalmente, un pozo de tamaño 'grande' utilizará un revestimiento de producción API estándar con un diámetro de 133/8", con un forro ranurado de 95/8" o 10¾" de diámetro en una sección abierta de 12¼" de diámetro. Los tamaños utilizados para los revestimientos de ancla, intermedios, de superficie y conductores estarán determinados por las condiciones geológicas y térmicas.

Profundidades del revestimiento: Las profundidades de todas las sartas de revestimiento cementado y forros serán aquellas en las que los revestimientos puedan soportar todas las condiciones del pozo derivadas de las operaciones en la superficie y de las características de las formaciones y los fluidos encontrados durante la perforación.
Las profundidades de las zapatas de revestimiento estarán determinadas por el análisis de los datos de pozos adyacentes, que incluirán características de las rocas, temperaturas, tipos de fluidos y composiciones, presiones y datos sobre gradientes de fracturas particulares. En cualquier momento, deberá limitarse la profundidad del pozo por debajo de una zapata de revestimiento concreta para evitar la exposición de las formaciones ubicadas inmediatamente debajo del revestimiento a presiones que podrían superar el gradiente de fractura a esa profundidad y, por lo tanto, provocar un reventón. Es normal suponer el peor escenario, como la exposición de la zapata de revestimiento anterior a la presión del vapor de saturación en la profundidad perforada total de esa sección.

Diámetros del revestimiento: Los diámetros del revestimiento estarán definidos por el diámetro de producción deseado del pozo abierto, normalmente 8½" o 12¼". Los forros ranurados o perforados dispuestos en estas secciones abiertas deberán tener el diámetro máximo que permita un margen claro de maniobra; existe una ventaja evidente en el uso de conexiones de revestimientos de 'línea extrema' desde la perspectiva del diámetro, aunque suele compensarse con la fuerza de conexión reducida de este tipo de conexión de revestimiento.

Los diámetros internos de los revestimientos no deben ser menos de 50 mm más grandes que el diámetro exterior de los accesorios y las uniones de conexión, para permitir una cementación correcta.

Materiales del revestimiento: Revestimiento de acero seleccionado a partir del estándar de la industria del petróleo API Espec. 5CT o 5L. En general, se emplean los grados de acero de resistencia tensil más baja para minimizar las posibilidades de fallo debido a la fragilidad del hidrógeno o a la corrosión por tensión del sulfuro. Los aceros API preferidos son: Espec. 5CT Grados H-40, J-55 y K-55, C-75 y L-80; Espec. 5L grados A, B y X42. En aquellos casos donde se encuentren condiciones especiales, como líquidos muy corrosivos, deberá garantizarse el uso de otros materiales especializados.

Conexiones del revestimiento: La tensión de compresión impuesta sobre una sarta de revestimiento que soporta calor tras la finalización del pozo es extrema. La resistencia axial es fundamental y, por ello, es importante que la conexión del revestimiento presente una resistencia de compresión (y tensil) al menos equivalente a la del cuerpo del revestimiento.

Cementación de revestimientos: Las altas tensiones térmicas que soportan los revestimientos demandan una cementación uniforme a lo largo de todo el revestimiento, de tal manera que la tensión se distribuya a lo largo de toda la extensión del mismo de la manera más uniforme posible, y de tal manera que se evite la concentración de tensión.

El objetivo de cualquier programa de cementación es garantizar que toda la extensión de la corona circular (tanto del revestimiento a la corona del pozo abierto, como del revestimiento a la corona del revestimiento) esté completamente llena de cemento consistente que pueda soportar la exposición a largo plazo a temperaturas y fluidos geotérmicos. Los autores del informe ofrecen muchos planteamientos para resolver este tipo de problemas.

Forro perforado y ranurado: el forro suele ser perforado o ranurado, normalmente con la perforación o las ranuras formando alrededor del 6% del área de la superficie de la tubería. Dado que es muy complicado determinar exactamente dónde se encuentran las zonas permeables en la sección de producción, normalmente se fabrica todo el forro con tubería perforada.

Plataforma de perforación y equipo asociado: La plataforma de perforación y el equipo asociado suelen ser los mismos que se utilizan para la perforación de pozos de petróleo y gas; sin embargo, necesitan determinadas disposiciones especiales, que están indicadas en el informe.

Fluidos de perforación: Las secciones superiores de un pozo suelen estar perforadas con barro sencillo basado en agua tratado con sosa cáustica para mantener el pH. A medida que avanza la perforación y aumenta la temperatura, la viscosidad del barro se va controlando con la adición de dispersantes simples. En caso de encontrar permeabilidad por encima de la profundidad de la zapata de revestimiento de producción, se deberá intentar sellar esas pérdidas con 'materiales de pérdida de circulación' (LCM, por sus siglas en inglés) y tapones de cemento. Si no se consigue controlar fácilmente las pérdidas, el fluido de perforación se cambiará por agua 'ciega' (perforar con agua que no vuelve a circular hasta la superficie) o agua gaseosa. En el informe se incluyen otras especificaciones importantes.

Control del pozo: Es posible que un pozo geotérmico se llene de una columna de agua en el punto de ebullición; incluso la mínima reducción de presión en dicha columna puede provocar que parte o la totalidad de la columna hierva y salga en forma de vapor. Este proceso puede darse casi

instantáneamente. La posibilidad del 'pico repentino de vapor' siempre está presente y requiere una formación y atención especiales por parte del personal de perforación.

En la última parte del informe se describe el diseño típico de un pozo para la calefacción y refrigeración geotérmica de un distrito urbano. La tecnología de finalización/perforación geotérmica de baja a media entalpía actual se ilustrará mediante ejemplos seleccionados que se centran en (i) pozos profundos de calefacción y refrigeración de distritos urbanos perforados en reservas de arenisca y carbonato, (ii) el diseño de pozos de inyección en rocas clásticas granuladas que alternan secuencias deposicionales de tierra, arena y arenisca, (iii) pozos de finalización dobles de profundidad media para la explotación de acuíferos de agua tibia en combinación con bombas de calor agua/agua, y, por último pero no menos importante, (iv) un concepto de pozos anticorrosión que combina revestimientos de acero y forros de fibra de vidrio.

Materiales de GeoElec:

- Informe sobre perforación geotérmica
- Software sobre viabilidad financiera
- Base de datos de compañías de perforación profunda

6 REGULACIONES: SITUACIÓN Y RECOMENDACIONES

Los promotores geotérmicos aborrecen abiertamente los procesos de solicitud de licencias poco transparentes, complejos y largos. Unas normas de concesión de licencias deficiente puede obstaculizar indudablemente la inversión en el sector de la generación eléctrica con energía geotérmica en Europa. Las normas de concesión de licencias para los proyectos geotérmicos no son una excepción en la diversidad europea. Pueden variar de manera significativa de un país a otro, y presentan niveles de realización poco uniformes a lo largo del continente.

La premisa inicial aquí es que, independientemente de la diversidad y el grado de avance de las normas de concesión licencias para la energía geotérmica en cada país de Europa, todas pueden ser mejoradas para garantizar a los promotores de proyectos de generación de energía eléctrica con geotermia seguridad jurídica. Con el fin de impulsar el desarrollo que la generación de electricidad con energía geotérmica merece en el panorama europeo, los responsables políticos deberían ser conscientes de la necesidad de reforzar aún más las regulaciones nacionales para proporcionar normas de concesión de licencias efectivas, razonadas y pragmáticas para la energía geotérmica. En este sentido, el proyecto GeoElec ofrece diversos patrones y recomendaciones para el cumplimiento de esta concesión de licencias efectiva y pragmática.

6.1 Resumen del marco regulatorio geotérmico en Europa

Mediante la revisión de los marcos regulatorios de la energía geotérmica en Europa pueden definirse las áreas principales de problemas y barreras legales. Las regulaciones hacen referencia al proceso de concesión de licencias para la exploración, perforación, minería, así como las cuestiones medioambientales.

El problema legal de la terminología ha sido resuelto mediante la Directiva sobre fuentes de energía renovables (2009/28/EC), con una definición vinculante de la Energía geotérmica en el Artículo 2, que se define como *energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra sólida.* Hablando de terminología, es necesario señalar que 'explotación' podría no ser el término más adecuado para una energía renovable como la geotérmica; la extracción debería verse más bien como un uso o desarrollo del recurso. Una parte de los problemas legales y las barreras regulatorias es la ***propiedad de los recursos*** y la definición de protección. Con respecto a la propiedad de los recursos, pueden darse dos situaciones en los países europeos que tienen plantas operativas: a) la adopción de una ley sobre minería o recursos minerales donde se indique que el Estado/la Corona otorga una concesión al desarrollador del proyecto para explotar el recurso. Se trata de una buena opción si la concesión de licencias está regulada correctamente, pero crea dificultades si se incluye en la legislación sobre el agua; b) la propiedad del recurso subterráneo se concede al propietario de la superficie. Esta opción crea una situación complicada en proyectos de mayor envergadura donde participan varios propietarios, y en el caso de un proyecto de energía geotérmica profunda lleva mucho tiempo.

En los mercados nuevos, no se hacen referencias específicas a la propiedad. Tradicionalmente, se ha empleado un enfoque basado en el orden de llegada, con la excepción de los estados donde se da prioridad por ley a recursos específicos: agua, energía, etc.

Las licencias permiten proteger una zona y evitar que los competidores utilicen los mismos recursos subterráneos. Además, un régimen de concesión de licencias define el marco para la resolución de disputas: las autoridades mineras y el tribunal de justicia responsable. Sin embargo, las ***regulaciones para la concesión de licencias*** puede ser otra barrera para el desarrollo, debido a sus largos y complejos procedimientos.

En el caso de la propiedad pública, las siguientes cuestiones son esenciales para el desarrollo de la energía geotérmica:

- Quién puede solicitar una licencia (proceso no discriminatorio)
- Proceso de uno o dos pasos (exploración, explotación)
- Periodo de tiempo para el que puede obtenerse una licencia, posibles prórrogas
- Regalías (¿basadas en qué parámetro? ¿Fijas o en porcentaje de producción?)
- Tiempo para obtener una licencia

Normalmente, el permiso de exploración se concede en primera instancia para un plazo (4-6 años) y una zona específicos. Posteriormente, se concede una autorización de explotación de 30 años o más, con posibilidad de ampliación según el caso.

El plazo de los permisos debería ser suficiente para permitir la exploración y producción, pero evita especulaciones y proyectos de exploración falsos.

La protección del recurso frente a otros usos/usuarios es fundamental. No deberán concederse licencias para otros usos/usuarios que puedan poner en peligro el recurso; y deberá mantenerse cierta distancia (u otra protección) para otros usos.

Las entidades públicas implicadas para cubrir los aspectos geológicos y de agua y energía pueden ser numerosas: Autoridades mineras (nacionales, regionales), organismos medioambientales, autoridades locales, etc. Cada paso puede llevar mucho tiempo.

Las barreras regulatorias pueden dar lugar también a barreras de coste: Entre estas cargas financieras se incluyen:

- Coste de tasas legales, tasas de licencia
- Coste de regalías: especialmente problemáticos si son fijos y no están relacionados con la producción.
- Coste de estudios medioambientales, audiencias públicas, etc.

Los impuestos del permiso de exploración (x €/km² de arrendamiento anual) para el arrendamiento minero y para la producción eléctrica no deben ser tan altos que puedan impedir cualquier investigación, ni tan bajos que puedan crear especulación con los permisos.

La adquisición de datos geológicos puede ser también una barrera si esta adquisición es demasiado costosa y si la confidencialidad bloquea la comunicación de los datos. En el caso de los proyectos con financiación pública, la protección de los datos es más bien escasa; sin embargo, en el caso de los promotores privados, la confidencialidad puede prolongarse varios años, con copia a los estudios geológicos.

Otra parte principal de los problemas legales y las barreras regulatorias es la ***normativa medioambiental***. El listado de barreras derivadas de las regulaciones medioambientales puede ser bastante largo. Habrá, por supuesto, casos en que las cuestiones medioambientales imposibiliten un proyecto. Sin embargo, esto sólo ocurre en algunos casos y deberá saberse en la fase más temprana posible del proyecto. Las normas para la protección del medio ambiente en los marcos regulatorios de la energía geotérmica abarcan principalmente la protección del agua, el control de emisiones, el análisis de impacto y el estudio del paisaje.

La protección de aguas subterráneas suele estar regulada en cada país con leyes sobre el agua, pero no siempre se contemplan las necesidades específicas de los proyectos geotérmicos. Por ejemplo, los problemas de presión, la protección del suelo y un protocolo sobre la microsismicidad y los problemas de la superficie. Con respecto a la protección de las aguas, el Artículo 11 de la Directiva 2000/60/EC (Directiva marco sobre el agua) da a los Estados miembros la opción de autorizar la reinyección en el mismo acuífero empleado para fines geotérmicos. Por lo tanto, es competencia de los gobiernos de cada país decidir si es necesaria la reinyección de los fluidos geotérmicos.

Con respecto a las emisiones, todas las plantas geotérmicas tienen que cumplir con diversas regulaciones y normativas sobre medio ambiente a nivel local y nacional, aunque las emisiones no suelen medirse por debajo de un umbral determinado, y las emisiones de las plantas geotérmicas están normalmente por debajo de este umbral. Las regulaciones para el control de la contaminación indicadas para los sistemas EGS no son un gran obstáculo para la concesión de los permisos. Únicamente los límites sobre el ruido pueden tener cierta relevancia en lo que se refiere a la cementación de las tuberías y a las pruebas hidráulicas.

Un gran obstáculo para los proyectos geotérmicos son las evaluaciones de impacto medioambiental (EIA). La autoridad nacional de planificación es responsable de supervisar la implementación y gestión de la EIA y tiene la capacidad de determinar los proyectos que necesitan una EIA. Dado que el contratista acarrea con los costes de implementación de una EIA, deberán establecerse directrices claras sobre las condiciones para la solicitud de una EIA.

6.2 Propuestas para la mejora del marco regulatorio

El proyecto GeoElec ofrece 12 recomendaciones clave para mejorar el marco regulatorio de la generación eléctrica con energía geotérmica.

La transparencia y la seguridad legal para la concesión de licencias sobre energía geotérmicas se basan en diez condiciones clave que se muestran en las recomendaciones de las Figuras 6.1 y 6.2 para cumplir estas condiciones clave.

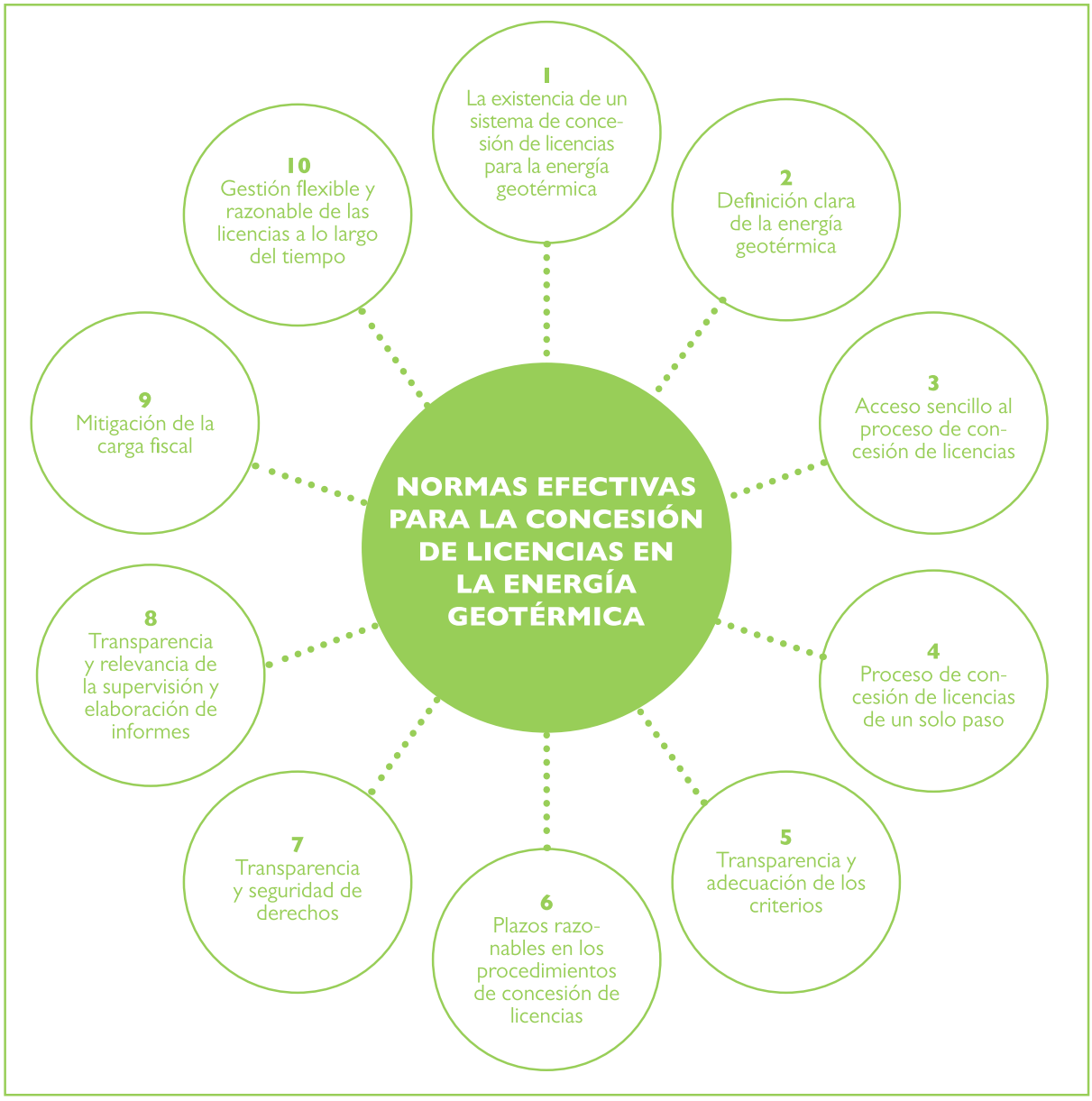


Figura 6.1: Condiciones clave de GeoElec para alcanzar normas de concesión de licencias geotérmicas efectivas

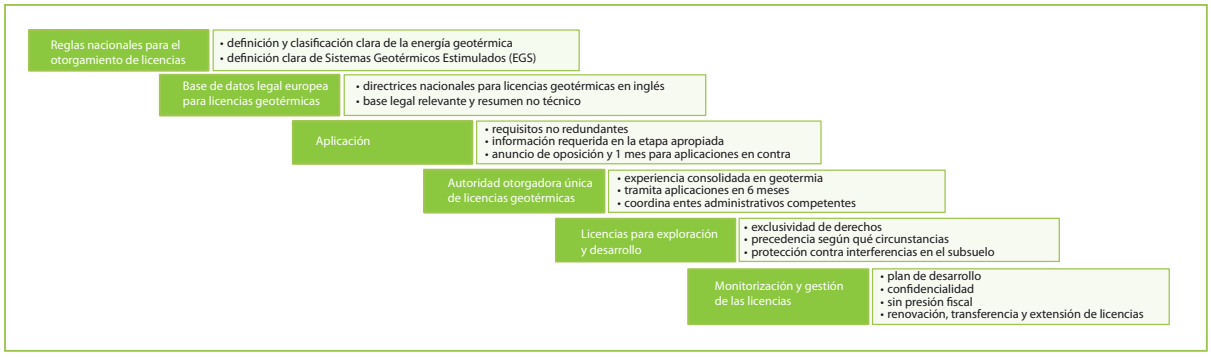


Figura 6.2: Descripción del proceso de concesión de licencias recomendado por GeoElec

Las barreras no técnicas contra las plantas geotérmicas y relacionadas con cuestiones legales pueden estar provocadas por:

- Incertidumbre con respecto a la propiedad de los recursos y los complicados y largos procedimientos para obtener los derechos de exploración. Pueden tomarse ejemplos de buenas prácticas de países que han resuelto satisfactoriamente esta cuestión.
- Regulaciones medioambientales, que suelen ser poco claras y complicadas. Requieren un planteamiento inteligente, que proteja el medio ambiente y no haga inviable los proyectos, siempre que sea posible.
- Acceso no seguro a la red. Al igual que en otras FER, el acceso a la red es esencial para la energía geotérmica. Como ya ocurre en algunos países, una legislación adecuada puede resolver esta cuestión.

Unas condiciones transparentes, fiables y coherentes en el marco legal para el desarrollo y la implementación de la energía geotérmica aseguran las inversiones a largo plazo en el sector. Puede conseguirse una reducción de las barreras legales mediante la implementación de procedimientos administrativos claros/estándar para la obtención de concesiones.

Materiales de GeoElec:

- Informe sobre acceso legal a la red.
- Informe sobre regulaciones geotérmicas.
- Resumen de normas nacionales para la concesión de licencias de energía geotérmica.

REFERENCIAS

- Unión Europea, Directiva 2009/28/EC del Parlamento Europeo y el Consejo del 23 de abril de 2009 sobre la promoción del uso de la energía de fuentes renovables y la modificación y subsiguiente revocación de las Directivas 2001/77/EC y 2003/30/EC (Texto pertinente a efectos del EEE).
- Unión Europea, Directiva 2000/60/EC del Parlamento Europeo y el Consejo del 23 de octubre de 2000 para el establecimiento de un marco para la acción comunitaria en el ámbito de la política sobre el agua.

7 IMPACTO/BENEFICIOS MEDIOAMBIENTALES Y ACEPTACIÓN SOCIAL

7.1 Resumen de los impactos medioambientales y medidas de mitigación

La energía geotérmica está plenamente reconocida como una fuente de energía renovable segura, fiable y respetuosa con el medio ambiente. No obstante, todas las actividades del hombre tienen cierto impacto sobre la naturaleza, incluida la construcción de una planta geotérmica. GeoElec ha analizado los impactos a tener en cuenta en cada una de las fases de un proyecto geotérmico, y ha planteado recomendaciones claras sobre posibles medidas de mitigación. En la siguiente tabla 7.1 se resume el resultado de este trabajo.

Tabla 7.1: Resumen del posible impacto de los proyectos geotérmicos en las distintas fases de desarrollo

FASES DE DESARROLLO	IMPACTOS A TENER EN CUENTA	POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Carreteras de acceso, tendido de tuberías	Los principales impactos previstos están relacionados con la **perturbación de la superficie, la eliminación de residuos y el impacto visual.** A excepción del impacto visual, estos efectos son en su mayoría temporales, ya que acaban desapareciendo una vez finalizada la fase de construcción.	Cualquier daño permanente al respecto puede minimizarse con una atención adecuada; por ejemplo, evitando áreas ecológicamente sensibles, o lugares con valor histórico y belleza natural. Con el fin de minimizar el impacto visual de los cabezales de pozos, se recomienda su integración en un pequeño edificio que esté en consonancia con el entorno.
Reparación de pozos, estimulación de pozos, perforación de pozos y fase de pruebas	Las principales preocupaciones medioambientales encontradas durante esta fase de trabajo son la liberación de contaminantes **líquidos y transportados en líquido**, **ruido y vibración**, **sismicidad inducida**, **residuos sólidos, salida a superficie de fluidos geotérmicos**, **perturbación de la superficie** e **impacto visual**.	Es importante seleccionar únicamente a contratistas que tengan un buen historial medioambiental. Establecer mediante contrato los requisitos sobre estanques de desechos especiales. Para evitar el impacto del ruido, los trabajadores deberán llevar protecciones auditivas. Deberán levantarse vallas de protección acústica si se ven afectadas zonas residenciales. La perturbación de la superficie y el impacto visual pueden minimizarse si se tiene cuidado durante la construcción y la composición del paisaje una vez finalizado el trabajo. Asimismo, es importante evitar zonas ecológicamente sensibles siempre que sea posible. Antes de iniciar las actividades de EGS, el propietario del proyecto deberá implementar el Protocolo para sismicidad inducida asociada a sistemas geotérmicos.

FASES DE DESARROLLO	IMPACTOS A TENER EN CUENTA	POSIBLES MEDIDAS DE MITIGACIÓN
Construcción de la planta e instalación del equipo	Las principales preocupaciones medioambientales encontradas durante esta fase de trabajo son la **perturbación de la superficie, la eliminación de residuos y el impacto visual.**	El impacto puede minimizarse teniendo cuidado en la elección de la ubicación de la planta, evitando zonas sensibles en términos ecológicos e históricos. Para minimizar el impacto visual, es importante aplicar buenos principios arquitectónicos en el diseño y la distribución de las instalaciones.
Puesta en marcha y funcionamiento de la planta eléctrica	Las principales preocupaciones medioambientales encontradas durante esta fase de trabajo son la **emisión** e **inyección de fluidos geotérmicos, gases** y **ruido**. La emisión de aire en las plantas binarias es mínima, pero las plantas flash, en su uso convencional, emiten cierta cantidad de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de carbono (CO_2).	A fin de minimizar el número de sustancias peligrosas en el flujo de retorno del fluido geotérmico, se recomienda el empleo de control termodinámico de formación de incrustaciones en lugar de inhibidores, siempre que sea posible. La planta geotérmica debe tener un diseño que impida la liberación de vapores a la atmósfera. Los gases no condensables deben ser tratados o diluidos con grandes cantidades de aire en la torre de refrigeración. Para la mitigación de la emisión de H_2S en plantas geotérmicas flash, es importante controlar la liberación y aplicar las medidas correspondientes si las cantidades están por encima de los límites medioambientales. Deberá aplicarse ventilación para evitar la presencia de gases en espacios confinados. En términos de mitigación de ruido, siempre deberán ponerse a disposición del personal protectores auditivos adecuados. Podrían necesitarse vallas acústicas adicionales, así como la plantación de árboles en ubicaciones estratégicas, etc., cuando haya residencias permanentes (granjas, negocios, etc.) en las inmediaciones.
Desmantelamiento de instalaciones	Las principales preocupaciones medioambientales encontradas durante la fase de desmantelamiento son la **contaminación química y la eliminación de residuos peligrosos y de otro tipo,** así como la **perturbación de la superficie**.	En general, se deberá tener cuidado a la hora de eliminar los productos químicos, durante la limpieza de los equipos y en la composición del paisaje en esta fase del proyecto.

7.2 Potencial de mitigación de CO_2

La Unión Europea tiene el compromiso de "descarbonizar" su economía, manteniendo al mismo tiempo la seguridad del suministro y preservando la competitividad industrial[3]. Este objetivo implica la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés) en un 80-95% para 2050, en comparación con los niveles de 1990. En lo que se refiere al sector de la energía, esto supone una reducción cercana al 85% en las emisiones de GHG para mediados de siglo.

[3] "[…] en el contexto de las reducciones necesarias de acuerdo con el IPCC por parte de los países desarrollados en conjunto". Consejo Europeo, Conclusiones de la presidencia, Octubre de 2009, p.3.

El desarrollo de la energía geotérmica para la producción de electricidad y, especialmente, el empleo de EGS son opciones muy prometedoras en este contexto. Se supone que los EGS van a constituir una enorme contribución al mix energético sostenible en el futuro.

GeoElec ha analizado el potencial de la generación eléctrica con energía geotérmica con respecto a la mitigación de CO_2, teniendo en cuenta las emisiones de CO_2 de las diferentes fuentes de energía y, concretamente, de las diferentes plantas geotérmicas en funcionamiento actualmente y en el futuro. El estudio de la evaluación de recursos dentro del marco del proyecto GeoElec y que se presenta en el Capítulo 2 de este informe constituye la base del potencial de mitigación de CO_2 en la UE.

Emisión de CO_2 por la generación de electricidad en las plantas geotérmicas

Los índices de emisión asociados a las plantas geotérmicas son mucho más bajos que las emisiones de las plantas de carbón o gas. Sin embargo, para cuantificar la mitigación de CO_2 mediante el uso de la energía geotérmica es necesario cuantificar las emisiones de CO_2 de las propias plantas geotérmicas. Asimismo, cabe distinguir aquí entre las emisiones de CO_2 que se generan durante el proceso de producción de energía y las que se generan a lo largo de todo el ciclo de vida; además, los sistemas geotérmicos/volcánicos emiten gases de forma natural. El nivel de cero emisiones sólo puede alcanzarse si se tiene en cuenta únicamente el proceso de producción de energía, pero nunca cuando se incluye todo el ciclo de vida.

En las siguientes páginas se analizan los resultados recientes relacionados con las emisiones CO_2 relativas a la producción de electricidad con energía geotérmica, considerando los aspectos ya mencionados y diferenciando entre (1) plantas geotérmicas que emplean un sistema abierto (2) nuevas plantas geotérmicas que emplean un sistema cerrado y (3) plantas geotérmicas de EGS que emplean un sistema cerrado.

Emisiones naturales de los yacimientos geotérmicos

En las reservas geotérmicas de alta entalpía o alta temperatura, los gases se emiten de manera natural. Los gases se liberan naturalmente a la atmósfera mediante descargas de gas dispersas de áreas de fuga natural, incluyendo aguas termales, fumarolas, géiseres, piscinas naturales de agua caliente y pozos de barro. El CO_2 es el gas con más emisiones, pero los fluidos geotérmicos pueden contener, dependiendo del lugar, otros gases menores, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2), metano (CH_4), amoniaco (NH_3) y nitrógeno (N_2). Puede haber presencia de mercurio, arsénico, radón y boro (Goldstein et al., 2011). En este sentido, la medida en que los gases se emiten a la atmósfera depende de las condiciones geológicas, hidrológicas y termodinámicas del campo geotérmico. Se planteó la cuestión de si las emisiones en dichos sistemas de producción de energía son insignificantes en comparación con las emisiones naturales. Bertani y Thain (2002) analizaron esta cuestión teniendo en cuenta datos del campo geotérmico de Larderello (Italia) y concluyeron que todas las descargas de gases derivadas de la producción de energía se equilibran mediante una reducción de las emisiones naturales. Sin embargo, el estudio dirigido por Ármannsson et al. (2005) obtuvo resultados diferentes. El análisis de las emisiones de CO_2 de las tres plantas geotérmicas principales del país fue de $1.6 \cdot 10^8$ g en 2002, que es prácticamente lo mismo que la descarga natural de CO_2 del Grímsvötn, el volcán más activo de Islandia.

Las emisiones naturales están restringidas a los sistemas geotérmicos/volcánicos; este problema no afecta a la implementación de EGS.

Plantas geotérmicas en funcionamiento con un sistema abierto

En las plantas de vapor seco y flash, los gases no condensables se separan del escape de la turbina de vapor en el condensador de la planta y se descargan a la atmósfera o se eliminan con un sistema de reducción. A fecha de hoy, los sistemas de reducción previenen la liberación de sulfuro de hidrógeno y mercurio elemental; sin embargo, también puede prohibirse la descarga de CO_2 con la recuperación del dióxido de carbono líquido (Nolasco, 2010).

Diversos estudios tratan la cuantificación de las emisiones de CO_2 durante el proceso de producción de energía en plantas geotérmicas que emplean un sistema abierto. Ármannsson et al. (2005) analizaron las emisiones de CO_2 en las plantas geotérmicas de Islandia. Evaluaron datos de tres plantas geotérmicas y obtuvieron unas emisiones de CO_2 de entre 26 y 181 g/kWh.

Bertani y Thain (2002) obtuvieron datos de emisión de CO_2 de 85 plantas geotérmicas que operaban en ese momento en 11 países de todo el mundo. Los datos recopilados muestran un aumento en el índice de emisión de CO_2 global en las plantas. Los autores indican un intervalo de 4 g/kWh a 740 g/kWh, siendo la media ponderada de 122 g/kWh. De acuerdo con los datos recopilados, el contenido medio de CO_2 en el gas no condensable es de 90,5%.

Plantas geotérmicas en funcionamiento con un sistema cerrado

Las plantas binarias retienen gases no condensables en un sistema de circuito cerrado; el agua termal se reinyecta después de utilizar su calor en el intercambiador de calor. El resultado es de casi cero emisiones durante el proceso de producción de energía, pues los gases no condensables nunca se liberan a la atmósfera (Holm et al., 2012). No obstante, si el gas se separa en el circuito de circulación, es posible que se produzcan pequeñas extracciones y emisiones de gas (Goldstein et al., 2011).

Plantas geotérmicas EGS en funcionamiento

Para la generación de energía a partir de dichos sistemas, se emplean ciclos de circuito cerrado y no se emiten contaminantes gaseosos durante el funcionamiento de plantas similares a las plantas binarias. Por ello, puede suponerse que las plantas binarias de EGS están libres de emisiones de CO_2 en la mayoría de los casos, teniendo en cuenta únicamente el proceso de producción; asimismo, normalmente no hay emisiones naturales de gases en estas reservas.

Potencial de mitigación de CO_2 de las plantas geotérmicas de generación eléctrica en la UE

Bertani y Thain (2002) calcularon la mitigación de CO_2 basándose en los resultados de los índices de emisión de CO_2 de los datos que obtuvieron a partir de plantas geotérmicas de vapor seco y flash en todo el mundo. Señalan que la sustitución de una planta de gas natural de ciclo combinado por una planta geotérmica con un índice de emisión de CO_2 de 55 g/kWh proporcionaría un ahorro neto de 260 g/kWh de generación. De igual modo, si se sustituye una planta petrolífera, el ahorro neto sería de 705 g/kWh, y si se sustituye una planta de carbón, el ahorro sería de 860 g/kWh.

Tabla 7.2: Potencial de ahorro neto de CO_2 de la energía geotérmica para generación eléctrica en la Unión Europea comparado con el sector del carbón y el gas

	PRODUCCIÓN (TWH)	PRODUCCIÓN NETA ADICIONAL (KWH)	POTENCIAL DE AHORRO DE CO_2 MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN DE PLANTAS DE CARBÓN (TON. EQ/AÑO)	POTENCIAL DE AHORRO DE CO_2 MEDIANTE LA SUSTITUCIÓN DE PLANTAS DE GAS (TON. EQ/AÑO)
28 de la UE en 2012	5,6			
28 de la UE en 2030 (GeoElec)	34	28400000000	24.424.000	7.384.000
28 de la UE en 2050 (GeoElec)	2570	2.564.400.000.000	2.205.384.000	666.744.000

Si aplicamos estos resultados al potencial económico de la energía geotérmica en la UE partiendo del análisis de la evaluación de recursos de GeoElec y suponiendo que se cumpla plenamente el potencial económico en 2030 (esto es, 34 TWh) para sustituir las anticuadas plantas de carbón, el ahorro neto de CO_2 ascendería a 24,4 Mt. Sin embargo, como ya se ha indicado, cabe señalar que los índices de emisión de CO_2 para la energía geotérmica en Bertani y Thain (2012) se obtienen de plantas geotérmicas de vapor seco y flash, mientras que la mayoría de los sistemas binarios de nueva construcción tendrán una emisión neutra de carbono.

Y lo que es más importante, **si consideramos el potencial geotérmico para 2050 en la UE (esto es, 2570 TWh), el potencial de mitigación teórico del CO_2 asciende a 2205 Mt de CO_2 en comparación con el carbón, y 666 Mt de CO_2 en comparación con el gas** (Tabla 7.2), **lo cual es más que suficiente para acabar con las emisiones actuales y evitar la construcciones de nuevas centrales eléctricas con combustibles fósiles.**

7.3 Aceptación pública

La aceptación social es un factor importante en la selección del lugar por cuestiones medioambientales, cuestiones de falta de participación, cuestiones financieras (en caso de, por ejemplo, ayudas municipales), problemas de aceptación de tipo NIMBY (siglas en inglés de "no en mi patio trasero"), y la producción de energía local.

GeoElec ha analizado una serie de casos de estudio para identificar buenas prácticas que favorezcan la aceptación pública. A continuación se resumen los resultados principales.

Aceptación pública en el sector de la energía y la energía geotérmica

La aceptación pública o social fue definida por (Wüstenhagen, Wolsink y Bürer 2007) como una combinación de tres categorías: aceptación sociopolítica, aceptación del mercado y aceptación por parte de la comunidad. En la Figura 7.1 se muestra el denominado "Triángulo de la aceptación social".

Figura 7.1: El triángulo de aceptación social de la innovación de la energía renovable (Wüstenhagen, Wolsink y Bürer 2007)

Actualmente, los asuntos energéticos se perciben claramente como una cuestión muy politizada (Pellizzone, et al. 2013). Las cuestiones medioambientales, la gestión de las tierras, las emisiones de gases de efecto invernadero y los impactos económicos de la política sobre energía hacen que los ciudadanos europeos estén muy sensibilizados con los asuntos energéticos. Sin embargo, la ética se ve en ocasiones como un obstáculo para el crecimiento económico y el desarrollo de nuevas tecnologías, pero también puede ejercer como fuerza motora para la innovación. En el caso de las energías renovables (por ej., geotérmica, solar y eólica), la reducción del impacto antrópico sobre el medio ambiente, la creación de nuevos trabajos, la asignación de fondos para investigación y desarrollo, y la cuestión política relativa a la independencia energética respecto a otros países son considerados motores de la investigación y el avance de las tecnologías ecológicas.

No obstante, en muchas ocasiones se ha subestimado la aceptación social de las tecnologías ecológicas. Las plantas de energías renovables de tamaño medio a grande están necesariamente relacionadas con la gestión del terreno y las necesidades de la comunidad local. Estudios realizados en los países europeos ponen de manifiesto que las opiniones sobre la energía geotérmica están menos formadas que las opiniones sobre las tecnologías que explotan y utilizan la energía solar y eólica. Hasta la fecha, en determinadas zonas los ciudadanos europeos muestran un conocimiento

escaso de las tecnologías geotérmicas y, en ocasiones, no diferencian entre los distintos tipos de explotación del calor (es decir, alta/baja entalpía). La información acerca del impacto sobre el paisaje, sismicidad, emisiones, y el impacto económico y social de las plantas geotérmicas es muy demandado por parte de los ciudadanos.

Las cuestiones éticas planteadas por el desarrollo de las tecnologías geotérmicas podían provocar una reacción positiva, por la explotación de una energía renovable, y una reacción negativa, debido al desconocimiento sobre el impacto por parte de la mayoría de los ciudadanos. Por lo tanto, es muy necesario crear una campaña informativa acerca de esta tecnología y su impacto medioambiental, económico y social.

Asimismo, los estudios sobre las expectativas, preocupaciones y necesidades de los ciudadanos son esenciales para poner en marcha un programa de participación en las primeras fases de las nuevas plantas y del desarrollo de la tecnología geotérmica. A fin de obtener un crecimiento cualitativo de la investigación y la innovación, así como un diálogo provechoso entre todas las partes interesadas sobre las políticas de energía, se recomienda también una investigación e innovación responsable en el desarrollo de los proyectos geotérmicos.

La integración del público y, en consecuencia, la aceptación social pueden obtenerse mediante tres pasos (Hauff, et al. 2011):

- Comunicación e información
- Integración e implicación
- Equilibrio de intereses y resolución de conflictos

En caso de conflicto, el desarrollador del proyecto deberá tratar de buscar un diálogo sin resultados predefinidos.

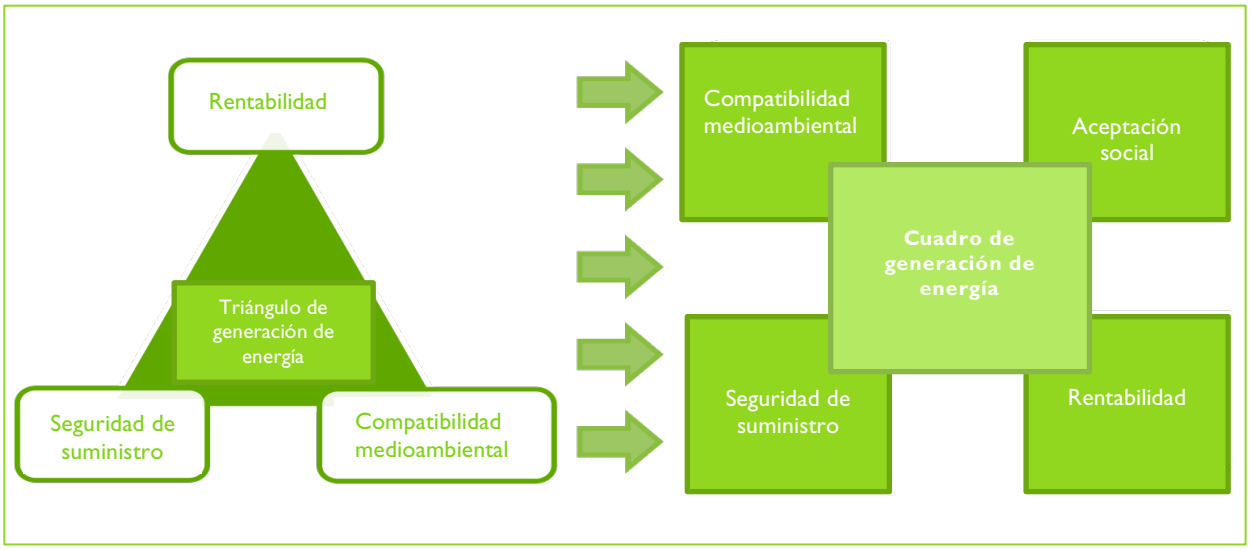


Figura 7.2: Cuadrado/triángulo de generación de energía

Recomendaciones

El objetivo del proyecto GeoElec no es el de redactar otra directriz para la aceptación social del desarrollo de energías renovables. Por contra, el consorcio ha aumentado la concienciación sobre el tema de la aceptación social con respecto al desarrollo de la energía geotérmica. Actualmente se están elaborando directrices para la aceptación social de la energía geotérmica; por ej., con el proyecto de investigación "Proyecto para la evaluación y mejora de las relaciones públicas para los proyectos geotérmicos". Asimismo, ya se han publicado directrices generales para la aceptación social de las energías renovables, como las de (Haug y Mono 2012) o (Arndt, et al. 2013).

4 FACTORES QUE SON ESENCIALES PARA LA ACEPTACIÓN SOCIAL
- Comunicación abierta y que transmita confianza
- Un excedente para las partes interesadas
- Coherencia económica y ecológica
- Seguridad financiera para las partes interesadas en caso de accidente; promotores de proyectos que puedan compensar los posibles daños.

A partir del análisis teórico y práctico de las cuestiones de aceptación social en GeoElec, cabe extraer que la información, participación, cooperación y consolidación son fundamentales para una iniciativa de aceptación social de éxito. En el siguiente gráfico se muestra la implementación ideal de un proyecto. En la Figura 7.3 se muestran los distintos pasos en la implementación de un proyecto y las medidas a tomar para lograr la aceptación social.

Figura 7.3: Implementación de energías renovables (Ilustración propia basada en (Arndt, et al. 2013))

Desde el principio del proyecto, deberá ser comunicado de manera vehemente al público. El público deberá tener acceso a diversos canales de información, como actos informativos o Internet. Seguidamente, deberá integrarse a los ciudadanos afectados en el proceso de decisión. Por lo tanto, deberá explicarse el proceso de implementación. Los ciudadanos afectados pueden comunicar sus ideas, y los temores pueden relativizarse mediante un debate objetivo. Asimismo, la comunidad deberá ser informada acerca de las posibilidades de participación (por ej., participación financiera; aplicaciones de calor directo). El público debe ser informado plenamente sobre el desarrollo actual mediante un análisis de emplazamiento. Para la decisión definitiva, deberán reunirse los ciudadanos afectados y los promotores del proyecto para hablar sobre las posibles consecuencias de la planta eléctrica. A lo largo de la fase de planificación, el público deberá ser informado con regularidad. La fase de construcción está marcada también por un flujo de información constante y no solicitada por parte de los promotores. Al contratar a empresas locales, el valor añadido permanece dentro de la comunidad. Una vez finalizada la planta eléctrica, se organiza una inauguración oficial para que los ciudadanos puedan visitarla (Arndt, et al. 2013).

En resumen, la implementación de un proyecto orientado a obtener beneficios sólo es posible con el consenso de la comunidad. Este consenso sólo puede alcanzarse "actuando en consonancia con las condiciones dinámicas del entorno y respetando la salud, el bienestar y la cultura de las personas" (Cataldi 2001).

REFERENCIAS

- Unión Europea, Directiva 2009/28/EC del Parlamento Europeo y el Consejo del 23 de abril de 2009 sobre la promoción del uso de la energía de fuentes renovables y la modificación y subsiguiente revocación de las Directivas 2001/77/EC y 2003/30/EC (Texto pertinente a efectos del EEE).

Materiales de GeoElec

- Estudio medioambiental sobre energía geotérmica.
- Potencial geotérmico para la mitigación de CO_2.
- Informe sobre aceptación pública.

BIBLIOGRAFÍA

- Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Kristjánsson, B.R., 2005: Emisiones de CO_2 de plantas geotérmicas y actividad geotérmica natural en Islandia.
- Bertani, R., and Thain, I., 2002. Estudio sobre emisión de CO_2 en plantas de generación de energía geotérmica, IGA News, 49, 1-3.

- Cataldi, Raffaele, 2001. Aceptación social de proyectos geotérmicos: problemas y costes. Curso geotérmico internacional de EC.
- Hauff, Jochen, Conrad Heider, Hanjo Arms, Jochen Gerber, y Martin Schilling, 2011. Gesellschaftliche Akzeptanz als Säule der energiepolitischen Zielsetzung.
- Haug, Stefan, and René Mono, 2012. Akzeptanz für Erneurbare Energien - Akzeptanz planen, Beteiligung gestalten, Legeitimität gewinnen. guidelines, Berlin: 100 prozent erneuerbare stiftung.
- Holm, A., Jennejohn, D., Blodgett, L., GEA (2012). Energía geotérmica y emisiones de gas de efecto invernadero, Asociación de energía geotérmica, Informe de noviembre de 2012
- Goldstein, B., Hiriart, G., Bertani, R., Bromley, C., Gutierrez-Negrin, L., Huenges, E., Muraoka, H., Ragnarsson, A., Tester, J., Zui, V. (2011). Energía geotérmica, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, EE.UU.
- Nolasco, L. A. F. (2010). Reducción de sulfuro de hidrógeno durante la descarga del flujo geotérmico de plataformas de pozos: un caso de estudio de plataformas de pozos TR-18, El Salvador. Informes 2010, 13, Programa de formación sobre energía geotérmica, Islandia.
- Pellizzone, Allansdottir, De Franco, Muttoni y Manzella, 2013. Análisis de aceptación social de la explotación de energía geotérmica en el sur de Italia." Conferencia geotérmica europea.
- Wüstenhagen, Rolf, Maarten Wolsink y Mary Jean Bürer, 2007. Aceptación social de la innovación en las energías renovables: Una introducción al concepto, política de energía.

8 DÉFICIT DE FORMACIÓN Y PLAN DE ACCIÓN

PARA ESTABLECER UN SISTEMA EDUCATIVO Y CREAR EMPLEOS CON LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La aceleración esperada en la evolución del empleo de la energía geotérmica y la demanda de la industria ponen de manifiesto la necesidad actual de aumentar rápidamente el número de especialistas altamente cualificados. De hecho, el sector de la energía geotérmica está creciendo a nivel mundial y existe una creciente demanda de expertos geotérmicos. Podría llegarse rápidamente a una carencia de profesionales en muchos campos de especialización. La complejidad de la tecnología geotérmica exige una amplia gama de expertos en distintos niveles de formación, conocimientos multidisciplinares y una buena interacción de varias disciplinas.

De hecho, existen cursos de formación básica sobre exploración, explotación y utilización de energía geotérmica en la mayoría de los países europeos, pero estos cursos no son suficientes para proporcionar los profesionales altamente especializados que se necesitarán en el sector geotérmico para 2020 y 2030.

Especialmente, hay un número muy limitado de programas de formación sobre energía geotérmica en el ámbito de la educación superior, pero se han propuesto muy pocos programas de titulación universitaria específicos. Además, las cátedras en energía geotérmica no son suficientes en Europa.

El sector geotérmico sufre, por lo tanto, una carencia de trabajadores cualificados. Por este motivo, el proyecto GeoElec plantea diversas propuestas sobre formación, movilidad y divulgación de información como plan de acción para superar esta barrera.

8.1 Plan de formación existente en el sector geotérmico en Europa

La mayoría de los empleos en el sector requiere un título universitario. Las titulaciones universitarias existentes en campos como ingeniería, ciencias biológicas, ciencias de la Tierra, administración empresarial y finanzas pueden proporcionar una base para trabajar de manera profesional en la industria. Muchas universidades ya están desarrollando titulaciones y planes de estudios para hacer frente al creciente interés en las energías renovables en general, y en la energía geotérmica en particular. Asimismo, muchas universidades ofrecen estudios de posgrado especializados en estos temas.

La formación en las universidades puede encontrarse en dos formatos distintos:

- cursos en bloque de especialización en energía geotérmica integrados en programas universitarios de ciencias/recursos de la Tierra, ingeniería civil, ingeniería medioambiental y de procesos, ingeniería mecánica, energía sostenible. Normalmente hay cursos de corta duración que abarcan competencias básicas, y suelen ser voluntarios.

- Solo unas cuantas universidades europeas poseen cátedras en energía geotérmica y ofrecen cursos universitarios específicos

También existe formación en institutos (de investigación) nacionales. Estas otras instituciones académicas ofrecen cursos de grado y posgrados, así como programas de doctorado en estrecha colaboración con universidades.

Uno de los principales problemas del mercado de perforación es la escasez de perforadores experimentados y cualificados. Es necesario implementar medidas inmediatas, pues se necesitan entre 3 y 4 años para formar a un especialista. Asimismo, también se observa un número insuficiente de supervisores de proyectos geotérmicos. Este problema es más complicado de solucionar, pues se necesitan varios años de experiencia práctica. Debería estudiarse la contratación de profesionales de otros sectores como el petróleo y el gas.

La formación de personal en energía geotérmica, y especialmente en EGS, es un problema importante a día de hoy. La situación actual pone de manifiesto que:

- El limitado número de programas de educación superior en especializaciones relacionadas con la exploración, explotación y utilización de la energía geotérmica es inadecuado para proporcionar el personal altamente cualificado necesario en esta industria, ya que los cursos de grado existentes no incluyen los temas importantes de la energía geotérmica.

- No suele haber formación básica sobre tecnologías geotérmicas en los Estados miembros de la UE.

- El mismo problema encontramos en la especialización de posgrado sobre la energía geotérmica, ya que la mayoría de los cursos que hay en todo el mundo han dejado de impartirse o han reducido su actividad por la falta de apoyo financiero.

Dado que los proyectos de energía geotérmica necesitan especialistas en muchos campos de geología e ingeniería, se hace absolutamente necesaria la formación constante dentro de la empresa. Los campos más cercanos en términos de conocimientos técnicos disponibles son los sectores del petróleo, el gas y el carbón, pero incluso estos trabajadores necesitarían nueva formación para trabajar en el sector geotérmico, donde la tecnología tiene que proporcionar temperaturas elevadas y la química de los fluidos en cuestión.

Por ello, se espera que la formación sobre energía geotérmica siga creciendo a medida que evolucione el sector geotérmico.

8.2 Actividades de formación de GeoElec

En estos momentos, es necesario desarrollar actividades de formación para apoyar la evolución de la energía geotérmica. El proyecto GeoElec ha tratado de contribuir a esta actividad.

El primer paso fue preparar un plan de estudios para cada perfil, describiendo la competencia mínima necesaria. A lo largo del proyecto se detallaron los distintos perfiles para determinar los grupos más pertinentes entre éstos: análisis de recursos, exploración, perforación, producción, sistemas de superficie y cuestiones no técnicas.

En segundo lugar, se han preparado materiales de formación. Se han integrado materiales existentes en campos relacionados (energía geotérmica profunda) en los materiales de formación de GeoElec. El objetivo era completar estos documentos existentes actualizándolos con las tecnologías y los avances más recientes en EGS. Los materiales de formación elaborados consistían en presentaciones en power-point y un manual de 50 páginas.

Finalmente, GeoElec ha organizado 3 cursos de formación en Francia (Estrasburgo, noviembre de 2012), Alemania (Postdam, abril de 2013) e Italia (Pisa, octubre de 2013). Estos cursos de formación duraron entre 4 y 5 días, incluyendo una visita a las instalaciones.

A lo largo de los cursos de formación de GeoElec, se hizo hincapié en una "sesión de reconversión" especial para las personas que trabajan actualmente en sectores industriales en crisis y los trabajadores del sector del petróleo y el gas, presentando oportunidades de trabajo en el sector geotérmico. Concretamente, debería realizarse un gran esfuerzo en los países de Europa Central y del Este (Hungría, Rumanía, Italia), así como en los países emergentes en energía geotérmica (España y Portugal) para recuperar las compañías expertas en perforación profunda y dotar de capacidad a la industria de la perforación nacional para la perforación geotérmica profunda.

Los grupos objetivo de los cursos de GeoElec eran los siguientes:

- Sector del petróleo y el gas,
- Industria de la perforación profunda,
- Servicios,
- Promotores y operarios
- Estudios geológicos, organismos nacionales de energía
- Profesionales del sector de la energía geotérmica
- Asociaciones y centros de formación,

8.3 Recomendaciones sobre la educación y formación en energía geotérmica

a) Mejorar el proceso de educación y formación, dado que se necesitan conocimientos multidisciplinares y la interacción de diversas disciplinas.

La mejora del proceso de educación y formación es el factor que puede tener una mayor influencia en las necesidades a largo plazo de determinadas especialidades y cualificaciones para el trabajo. Para garantizar las cualificaciones necesarias en sector es necesario adoptar medidas en todos los niveles de educación y formación, refiriéndonos con ello a la formación técnica y científica y la formación y aprendizaje continuos. Se hace necesaria la cooperación entre todas las organizaciones implicadas para obtener reformas adecuadas en la formación. También es necesaria la cooperación entre compañías, universidades, escuelas politécnicas, organizaciones de formación, agencias de empleo e instituciones de certificación.

Los programas educativos suelen integrar capacitaciones básicas, pero no pueden satisfacer necesidades más avanzadas. El desarrollo del contenido de un curso puede llevar mucho tiempo, esfuerzo y conocimientos, factores que pueden limitar a los institutos nacionales. El resultado puede ser un programa educativo o de formación poco atractivo. Por eso es necesaria la cooperación, para que los gobiernos y las compañías de energía geotérmica ayuden a los formadores a elaborar programas educativos adecuados. Asimismo, esta cooperación ayudará a garantizar la actualización frecuente del contenido de los programas de educación y formación, para que el conocimiento y las técnicas de los alumnos estén siempre al día.

Las ayudas financieras tanto a alumnos como a los institutos de formación son también un factor que puede contribuir al proceso conjunto. En caso de que la dificultad resida en atraer a jóvenes y no en la falta de voluntad de la industria en formarlos, las medidas financieras deberán centrarse más en los alumnos. Los incentivos financieros pueden traducirse tanto en el sufragio de los costes de formación de los alumnos como en la subvención de los programas de educación y formación.

b) Crear redes para la educación y formación sobre energía eléctrica que incluya a plataformas industriales, universidades y centros de investigación, creando así un esquema de trabajo para el futuro desarrollo geotérmico.

La cooperación entre las compañías y los institutos de educación y formación es necesaria para que el número de alumnos se ajuste a las necesidades del mercado laboral y éstos reciban la formación y los conocimientos adecuados. La colaboración entre universidades y compañías puede crear una red que permita abordar de un modo más rápido y eficiente las necesidades que se generen.

Es necesario reconocer y abordar el problema de la falta de cualificación y personal, pero no de manera individual sino entre todos los países. Las organizaciones internacionales e intergubernamentales deberán trabajar para promover la cooperación entre los países. Este trabajo puede implicar la cooperación y la adopción de medidas para incrementar la movilidad entre los proveedores de educación y formación, los investigadores y los aprendices que participan en el proceso de educación y formación, así como en el desarrollo de procedimientos de estándares relativos a las cualificaciones en los distintos países.

Los programas de educación y formación dirigidos al sector deberán centrarse en las cualificaciones que pueden transmitirse entre los distintos campos. El empleo en las fases de desarrollo, fabricación e instalación puede ser inestable, aunque se trate de conseguir una transición suave. También puede haber periodos en que se limite la intención de contratar a trabajadores de nueva formación en los puestos asociados a la operación y el mantenimiento. Por lo tanto, deberán desarrollarse programas de educación y formación en torno a una especialidad principal que sea apta para una amplia gama de sectores.

Necesidades para 2030:

NECESIDADES DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN – ESTADOS MIEMBROS DE LA UNIÓN EUROPEA Y PAÍSES ASOCIADOS			
Cualificación	MANO DE OBRA EUROPEA 2012	NECESIDADES ESTIMADAS DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN 2012-2020 (NUEVOS PUESTOS + SUSTITUTOS)	NECESIDADES ESTIMADAS DE EDUCACIÓN Y FORMACIÓN 2020-2030 (NUEVOS PUESTOS + SUSTITUTOS)
ENERGÍA GEOTÉRMICA			
TOTAL	2500	21 000 + 1000	35000 + 1450
Investigadores	500	5000 +200	5000 + 250
Ingenieros	1100	8000 + 400	15000 + 600
Técnicos	900	8000 + 400	15000 + 600

Las necesidades de educación y formación se refieren únicamente a la energía geotérmica profunda, con especial hincapié en la producción de electricidad (SET-Plan sobre el Informe de evaluación de iniciativas de educación y formación para la energía geotérmica, E. Schill, Febrero de 2013)

8.4 Empleo en energía geotérmica en Europa

En 2013, hubo entre 2500 y 3000 trabajos relacionados directamente con la generación eléctrica con energía geotérmica en los 28 países de la UE. Los trabajos en energía geotérmica pueden dividirse en distintos tipos, desde ingenieros, perforadores y trabajadores de fábricas de equipos hasta gestores de proyectos. Asimismo, la energía geotérmica genera empleo indirecto, como los proveedores de materias primas y los puestos de trabajo inducidos. El número estimado total de puestos de trabajo en la energía geotérmica en 2013 es de 10.000 empleos.

El sector de la energía geotérmica depende de diversos segmentos, esenciales para las funciones principales de la industria, como son la exploración de recursos y la producción de energía geotérmica.

Estos segmentos incluyen a proveedores de equipos, proveedores de servicios (por ej., asesores técnicos/ financieros/legales) o compradores finales de energía (consumidores). Otro segmento clave para la evolución de la industria geotérmica es la investigación y desarrollo subyacente, así como las actividades relacionadas de educación y formación.

El desarrollo geotérmico está íntimamente relacionado con otras actividades, como los servicios gubernamentales (por ej., para la obtención de permisos de exploración), cuestiones de regulación (de las que dependa la normativa del mercado), etc.

Asimismo, hay industrias que se asemejan al sector geotérmico en que emplean técnicos o especialistas similares con aptitudes básicas idénticas. La industria geotérmica podría entablar lazos de cooperación y cruce de tecnologías con sectores como el de la minería, el petróleo y el gas, y la captura y almacenamiento de carbón.[4] Además, el sector geotérmico (al estar en alza) podría atraer a trabajadores o subcontratistas de sectores relacionados en declive, como la industria de la minería en Europa.

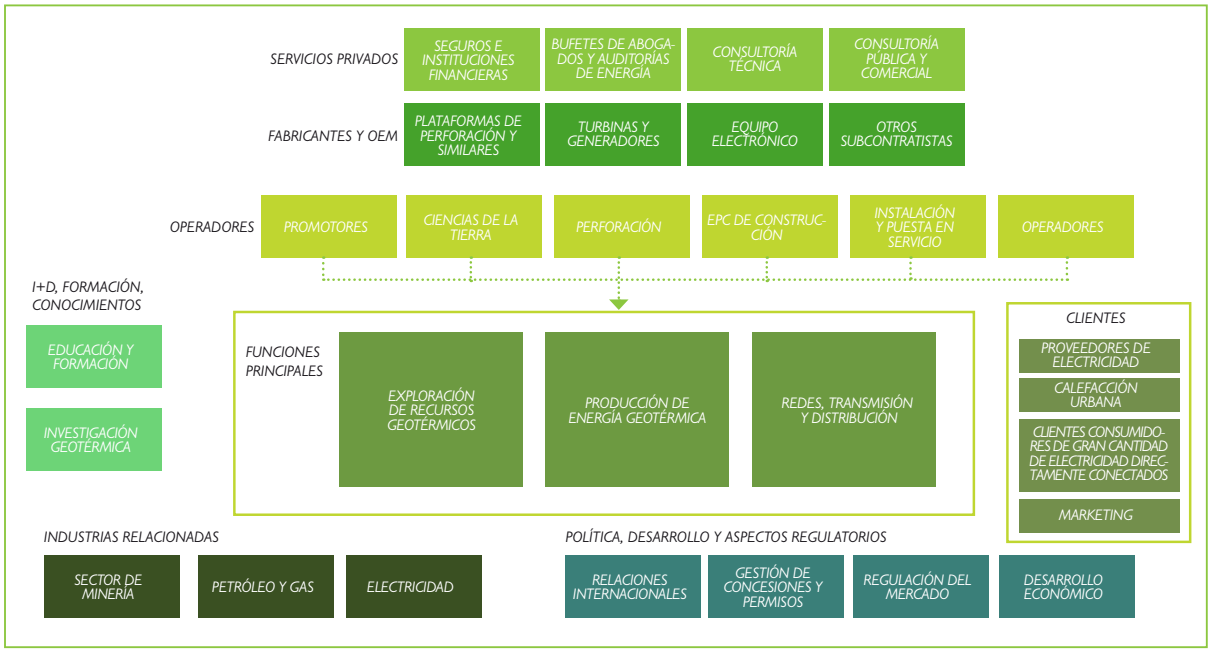


Figura 8.1: Resumen de la industria geotérmica. Fuente: GeoElec, adaptado de Capgemini Consulting y CanmetEnergy

8.5 Recomendaciones para la creación de empleos en Europa

Contribuir al desarrollo de la economía local. Crear puestos de trabajo en el ámbito local y establecer una industria geotérmica en Europa que pueda emplear directamente a más de 100.000 personas (exploración, perforación, construcción y fabricación) para el año 2030.

[4] Energía Canmet, "Energía geotérmica y uso directo, cadena de suministro del sector", Marzo de 2013

En vista de los proyectos en desarrollo y en estudio, así como de la nueva capacidad instalada, se espera la creación de puestos de trabajo para 2020 en Italia, Hungría, Grecia, Portugal, Francia, Alemania, España, Reino Unido, Islandia, Turquía, Bélgica, Eslovaquia y Suiza. Para 2030, debería haberse empleado a más de 100.000 personas en el sector.

En los últimos años, la escasa capacidad instalada nueva ha provocado la concentración de puestos de trabajo en el apartado de operación y mantenimiento, que tradicionalmente requería solo unos pocos trabajadores. El desarrollo de un gran número de nuevos proyectos provocará un verdadero boom en las actividades de mano de obra intensiva, como la exploración, perforación, construcción y fabricación.

Se ofrecen oportunidades de trabajo para personas con tipos y niveles de cualificaciones diferentes. Se necesitan científicos e ingenieros para explorar los nuevos campos geotérmicos, así como técnicos cualificados para la construcción y puesta en marcha de las nuevas plantas geotérmicas.

A medida que avanza la transición hacia las FER, parece inevitable que se produzcan importantes reducciones en el empleo de combustibles fósiles. Al igual que cualquier industria afectada negativamente por políticas regionales, nacionales o europeas, será importante planificar una transición razonable de la mano de obra afectada. En este sentido, la transición general deberá producirse a un ritmo paulatino, no de repente. Asimismo, la mano de obra afectada tiene la oportunidad de adquirir nuevas aptitudes mediante formación, para que puedan obtener un puesto de trabajo en el sector geotérmico. Para ello, hay una serie de fondos de la UE (por ej., el Fondo Social Europeo, Fondo Europeo de Adaptación a la Globalización) disponibles para las autoridades nacionales y regionales que pueden emplearse para gestionar de manera efectiva la reestructuración del empleo.

La estimulación de la movilidad de los empleados de alta cualificación entre países puede ayudar a reducir la escasez de mano de obra y cualificación. En lo que respecta a la movilidad de los empleados dentro de los países miembros de la UE, el libre desplazamiento es una de las libertades fundamentales del mercado interno. Por otro lado, la inmigración de personas de otros países (países no miembros de la UE) depende de la política nacional de cada miembro de la UE.

Estas son algunas de las áreas principales donde la industria de la energía geotérmica puede provocar un impacto en cuanto a actividad económica y creación de empleo:

- Proveedores de equipos mecánicos y materias primas;
- Asesores y contratistas que buscan recursos geotérmicos;
- Empresas de servicios de perforación y pozos;
- Servicios medioambientales de gestión de permisos y análisis de muestras;
- Promotores geotérmicos para gestión de proyectos, construcción, seguridad, etc.;
- Operarios de plantas eléctricas y personal de mantenimiento;
- Científicos para investigación y desarrollo continuos.

Dado que las tecnologías geotérmicas dependen de cada lugar (la geología es diferente en los distintos puntos de Europa y es fundamental el conocimiento de las condiciones locales) y exigen un

gran capital, las actividades relacionadas con la exploración, desarrollo de recursos, construcción y operación y mantenimiento dependen de la mano de obra local. Pueden crearse puestos de trabajo de fabricación a nivel internacional, dependiendo de dónde estén ubicadas las industrias que fabrican los equipos en cuestión.

En general, se estima que el 85% de la cadena de valor geotérmica en Europa es europea. Es improbable que esto cambie en el futuro, pues la mayoría de los trabajos relacionados con el sector geotérmico no pueden trasladarse.

Se espera que aumente el empleo en la industria geotérmica, aunque podría haber escasez de cualificación y mano de obra. Por este motivo, se espera que las medidas sobre políticas públicas se ajusten a la política de energía (para activar el cambio en cuanto a las necesidades de empleo) y la política industrial, y se complementen con las políticas sociales y educativas correspondientes.

CONCLUSIONES:

UN PLAN DE ACCIÓN PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍA GEOTÉRMICA PARA EUROPA

De acuerdo con los resultados del proyecto, el consorcio de GeoElec sugiere el siguiente plan de acción para la generación de electricidad con energía geotérmica en Europa:

- **Crear condiciones para aumentar el conocimiento sobre las ventajas de esta tecnología y su potencial. Deberán establecerse Comités nacionales sobre energía geotérmica para promover la tecnología ante los responsables de las políticas e implicar a la sociedad civil para fomentar la aceptación social.**

El potencial de la energía geotérmica ha sido reconocido por varios Estados miembros de la UE en sus Planes de acción nacionales de energía renovable (PANER). No obstante, el potencial real es mucho mayor. Con el fin de aumentar la concienciación, GeoElec ha analizado y presentado por primera vez el potencial económico en Europa en 2020, 2030 y 2050. Las cifras muestran el gran potencial de la energía geotérmica, así como el importante papel que puede desempeñar en el mix energético del futuro.

El proyecto GeoElec ha allanado el camino para la creación de comités geotérmicos nacionales en la UE.

Dichos comités deberían establecerse en cada uno de los 20 Estados miembros de la UE con el objetivo de aumentar la concienciación acerca de la energía geotérmica y garantizar la aceptación pública de los proyectos geotérmicos.

Esta iniciativa se basa en la experiencia de Francia, donde ya se estableció dicho comité en julio de 2010. Allí, el Ministerio de Energía puso en marcha un 'Comité National de la géothermie' para proponer medidas y recomendaciones para el desarrollo de la energía geotérmica en Francia. Está compuesto por 35 miembros de 5 sectores diferentes: Nivel estatal, autoridades locales, oenegés, empleadores y trabajadores. Los primeros resultados del Comité National de la géothermie en Francia pueden presentarse a través de 3 acciones clave:

- Simplificación del procedimiento administrativo y la calidad
- Formación de profesionales
- Divulgación de información

- **Contribuir a la competitividad económica de Europa proporcionando una electricidad asequible. A fin de avanzar en la curva de aprendizaje e implementar a gran escala una tecnología renovable y de confianza, deberá lanzarse un programa insignia de EGS en Europa, que incluya nuevas plantas de demostración y laboratorios de pruebas; asimismo, deberá tener en cuenta tecnologías, métodos y conceptos de nueva creación.**

EGS es una tecnología para acceder al calor en rocas calientes pero impermeables. Una vez que esté plenamente desarrollada, ofrecerá una gran mejora en la base de recursos geotérmicos, tanto para la energía eléctrica como para el calor. A pesar de su potencial y aunque los conceptos básicos ya se habían desarrollado en los años ochenta, EGS no se ha convertido aún en una tecnología lista para su implementación.

Debería iniciarse un programa insignia de EGS en la UE con el fin de hacer que esta tecnología sea competitiva para 2020. De este modo, EGS acabará convirtiéndose en una tecnología aplicable prácticamente en cualquier lugar para la producción de energía y calor.

En cada fase del desarrollo de EGS, podrán aplicarse metodologías contrastadas y se identificarán obstáculos. A partir de este análisis de vanguardia, se han definido prioridades que engloban las cinco áreas principales para la investigación a medio y largo plazo. El resultado esperado será energía geotérmica en una forma que pueda ser implementada a gran escala y vendida a un precio competitivo, sustentada en un coste reducido de capital, operativo y de mantenimiento. Su rápido avance (y mejora continua) estará apoyado por actividades de I+D internacionales coordinadas, con vistas a alcanzar una demostración e implementación exitosas.

- Establecer una red de entre 5 y 10 laboratorios de pruebas de EGS europeos complementarios.
- Desarrollar centros de demostración en distintos entornos geológicos y ampliar el tamaño de las plantas eléctricas.
- Lanzar programas de educación y formación para nuevos profesionales del sector geotérmico especializados en EGS.
- Garantizar la aceptación pública de la microsismicidad, estimulación, impacto medioambiental, emisiones.
- En busca de la flexibilidad de la red: Producción de electricidad gestionable de carga base en plantas de EGS, con pruebas de capacidad de suministro, para el desarrollo de un sistema de electricidad gestionable a nivel regional.

- **Establecer las condiciones económicas y financieras para el desarrollo geotérmico: el Fondo Europeo de Mitigación de Riesgo Geotérmico (EGRIF) es una opción innovadora adaptada a las particularidades de la energía geotérmica para mitigar el coste del riesgo ecológico, y constituye una herramienta complementaria de apoyo operativo, que sigue siendo necesaria para compensar la prolongada ausencia de reglas de juego equitativas.**

La financiación de un proyecto geotérmico incluye dos elementos cruciales en la fase inicial de desarrollo del proyecto: una elevada inversión de capital para la perforación de pozos, que puede acaparar hasta el 70% de los costes totales del proyecto, y un plan de seguro para cubrir los riesgos geológicos.

Dado que la valoración del rendimiento geotérmico previa a la perforación plantea una gran incertidumbre y EGS (sistema geotérmico estimulado) se encuentra en una fase de desarrollo embrionario, el perfil de riesgo es elevado en comparación con fuentes alternativas de energía renovable. Para hacer frente a estos desafíos, se hacen necesarios los siguientes incentivos financieros a fin de fomentar el crecimiento de la energía geotérmica en Europa:

- Los planes de apoyo son herramientas esenciales de orden público para que la energía geotérmica compense los fallos en el mercado y la tecnología avance de acuerdo con su curva de aprendizaje;
- Deberán adaptarse mecanismos de financiación innovadores a las especificaciones de las tecnologías geotérmicas y en función del nivel de madurez de los mercados y las tecnologías;
- El EGRIF es considerado una medida de apoyo público interesante para superar el riesgo geológico;
- A la hora de diseñar un plan de apoyo, los responsables de las políticas deberían plantear un enfoque holístico que supere el LCoE e incluya los costes del sistema, así como todas las externalidades. Como alternativa, existe la posibilidad de ofrecer una bonificación a la energía geotérmica por las ventajas que ofrece con respecto al sistema eléctrico general, compensando la red.

- **Mejorar el proceso de educación y formación, dado que se necesitan conocimientos multidisciplinares y la interacción de diversas disciplinas. Crear redes para la educación y formación sobre energía eléctrica que incluya a plataformas industriales, universidades y centros de investigación, creando así un esquema de trabajo para el futuro desarrollo geotérmico.**

La aceleración esperada en la evolución del empleo de la energía geotérmica y la demanda de mano de obra cualificada en la industria ponen de manifiesto la necesidad actual de aumentar rápidamente el número de técnicos, ingenieros y especialistas altamente cualificados. Esta transición exige la modificación de los planes de estudios existentes en los distintos campos de la energía geotérmica, como la investigación básica de la geotermia, reservas, perforación, materiales, plantas eléctricas, utilización, economía y aspectos legales:

- La mejora del proceso de educación y formación es el factor que puede tener una mayor influencia en las necesidades a largo plazo de determinadas especialidades y cualificaciones para el trabajo. Para garantizar las cualificaciones necesarias en sector es necesario adoptar medidas en todos los niveles de educación y formación, refiriéndonos con ello a la formación técnica y científica y la formación y aprendizaje continuos. Se hace necesaria la cooperación entre todas las organizaciones implicadas para obtener reformas adecuadas en la formación.
- La cooperación entre las compañías y los institutos de educación y formación también es necesaria para crear una red que permita satisfacer de manera más rápida y eficiente las necesidades del mercado laboral, y que los alumnos reciban la formación y los conocimientos adecuados.

- **Contribuir al desarrollo de la economía local. Crear puestos de trabajo en el ámbito local y establecer una industria geotérmica en Europa que pueda emplear a más de 100.000 personas (exploración, perforación, construcción y fabricación) para el año 2030.**

En 2013, hubo entre 2500 y 3000 trabajos relacionados directamente con la generación de electricidad con energía geotérmica en los 28 países de la UE, mientras que el número total estimado asciende a 10.000 empleos.

Asimismo, en vista de los proyectos en desarrollo y en estudio, debería haberse empleado a más de 100.000 personas en el sector.

En los últimos años, la escasa capacidad instalada nueva ha provocado la concentración de puestos de trabajo en el apartado de operación y mantenimiento, que tradicionalmente requería solo unos pocos trabajadores. El desarrollo de un gran número de nuevos proyectos provocará un verdadero boom en las actividades de mano de obra intensiva, como la exploración, perforación, construcción y fabricación.

El potencial de la industria geotérmica sólo puede desarrollarse mediante la atracción, retención y renovación de la mano de obra. Tanto las compañías como las organizaciones deben colaborar con universidades y centros de estudios para dar forma y obtener acceso a la mano de obra altamente cualificada que necesitan.

- Absorber la mano de obra de industrias en declive: existen diversas oportunidades en el sector geotérmico para emplear a trabajadores procedentes de sectores en declive, como el del carbón. Las profesiones tienen que ver con los sectores de ciencias de la Tierra, perforación y plantas térmicas. Los gobiernos regionales y nacionales deberán emplear fondos de la UE para facilitar la nueva formación de los trabajadores de las industrias en declive y adaptar, en la medida de lo posible, sus políticas activas de trabajo a las estrategias industriales y de energía
- Promover la movilidad de los trabajadores en Europa: donde se concentran los conocimientos sobre la energía geotérmica profunda. Existe la necesidad de sentar las bases para una mayor cooperación e intercambio entre mercados nuevos y otros más asentados.
- Iniciar un plan de cooperación internacional, especialmente con respecto a EGS: el programa insignia de EGS podría integrar experiencias y tecnologías y estudiar oportunidades para la exportación de conocimientos de Europa sobre EGS.

ANEXO I: PUBLICACIONES DE GEOELEC

Análisis de recursos	• Una metodología para el análisis de recursos. • Base de datos de servicio Web sobre el análisis de recursos. • Ficha técnica sobre el potencial geotérmico. • Estudio prospectivo sobre el potencial de generación de electricidad con energía geotérmica en la UE.
Financiación	• Ficha técnica sobre el desarrollo del mercado. • Ficha sobre financiación y aspectos económicos. • Informe sobre seguro de riesgo. • Informe sobre perforación geotérmica. • Base de datos de compañías de perforación profunda. • Guía de inversión. • Software para estudios previos de viabilidad financiera.
Regulación y medioambiente	• Ficha técnica sobre regulación y aceptación pública. • Informe técnico sobre acceso a la red. • Estudio medioambiental sobre energía geotérmica. • Informe sobre acceso legal a la red. • Informe sobre regulaciones en geotermia. • Resumen de normas nacionales para la concesión de licencias de energía geotérmica. • Revisión del código de elaboración de informes de energía geotérmica. • Potencial geotérmico para la mitigación de CO_2.
Formación y empleo	• Ficha técnica sobre empleo y formación. • Manual de formación (Postdam). • Presentaciones de cursos de formación. • Plan de acción para promover la movilidad de los trabajadores y un sistema de formación. • Listado de universidades europeas que ofrecen educación y formación. • Estudio sobre el empleo.
Comunicación	• Informe sobre aceptación pública.

ANEXO II: EL CONSORCIO DEL PROYECTO GEOELEC

European geotermal Energy Council (EGEC – BE)
EGEC GEOTHERMAL
Bureau De Recherches Géologiques Et Minières (BRGM – FR)
Geoscience for a sustainable Earth brgm
Centre For Renewable Energy Sources and Saving **(CRES – EL)**
ΚΑΠΕ CRES
Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Istituto Di Geoscienze e Georisorse (CNR-IGG – IT)
IGG Consiglio Nazionale delle Ricerche
Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA - ES)
APPA
Gaßner, Groth, Siederer & Coll. (GGSC – DE)
[Gaßner, Groth, Siederer & Coll.] Partnerschaft von Rechtsanwälten
EnBW Energie Baden-Württemberg (AG EnBW– DE)
EnBW
Mannvit (IS)
MANNVIT

Helmhotz Zentrum Postdam – Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ – DE)
GFZ Helmholtz Centre POTSDAM
Nederlandse Organisatie Voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO – NL)
TNO innovation for life

Noviembre 2013
Autores: Consorcio del proyecto GeoElec
www.geoelec.eu

El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de sus autores. No refleja necesariamente la opinión de la Unión Europea. Ni la EACI ni la Comisión Europea son responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación.

AUTORES:

European Geothermal Energy Council (EGEC) – Coordinador

Bureau De Recherches Géologiques Et Minières (BRGM – FR)

Centre For Renewable Energy Sources and Saving (CRES – EL)

Consiglio Nazionale Delle Ricerche, Istituto Di Geoscienze e Georisorse (CNR-IGG – IT)

Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA - ES)

Gaßner, Groth, Siederer & Coll. (GGSC – DE)

EnBW Energie Baden-Württemberg (AG EnBW– DE)

Helmhotz Zentrum Postdam – Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ – DE)

Nederlandse Organisatie Voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO – NL)

EQUIPO EDITORIAL:

Philippe Dumas - EGEC
Jan-Diederik van Wess – TNO
Adele Manzella - CNR-IGG
Isabella Nardini - CNR-IGG
Luca Angelino - EGEC
Alexandra Latham – EGEC
Detelina Simeonova – EGEC