



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Evaluación mediante herramientas SIG de la contribución de la energía geotérmica superficial en la transición energética de la Región de Murcia. Estudio comparativo

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: Elías Escribano Martín
Directora: María Socorro García Cascales
Codirectora: Adela Ramos Escudero

Burgos, 03/12/2020



industriales
etsii UPCT

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introducción | 8 |
| 2 | Objetivos | 9 |
| 3 | Elaboración del trabajo | 10 |
| 3.1 | Herramientas de trabajo | 10 |
| 3.1.1 | QGIS | 10 |
| 3.1.2 | Información utilizada | 10 |
| 3.2 | Fases del proyecto | 10 |
| 3.3 | Metodología | 11 |
| 4 | La energía geotérmica | 13 |
| 4.1 | El flujo de calor geotérmico | 13 |
| 4.2 | Aplicaciones | 13 |
| 4.3 | La geotermia en el mundo | 14 |
| 4.3.1 | El proyecto GeoDH | 17 |
| 4.4 | La geotermia en España | 17 |
| 5 | Tecnologías para aprovechamiento geotérmico de baja y muy baja temperatura | 20 |
| 5.1 | La bomba de calor geotérmica (BCG) | 20 |
| 5.2 | Factores económicos y ambientales | 21 |
| 6 | Normativa y organismos que regulan la gestión del recurso geotérmico | 22 |
| 6.1 | Políticas alemanas que favorecieron el desarrollo de la energía geotérmica | 22 |
| 6.1.1 | Programa de asesoramiento | 22 |
| 6.1.2 | Política en Baviera | 22 |
| 6.2 | Políticas españolas que no favorecieron el desarrollo de la energía geotérmica | 23 |
| 6.2.1 | Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España | 23 |
| 6.2.2 | Evolución de la energía geotérmica para usos térmicos | 23 |
| 6.3 | Proyectos europeos de energía geotérmica superficial | 24 |
| 6.3.1 | ReGeoCities | 24 |
| 6.3.2 | El proyecto GEO.POWER | 24 |
| 6.4 | IRENA Project Navigator | 26 |
| 7 | Estado actual de la energía geotérmica en Baviera, Alemania | 28 |
| 7.1 | Instalaciones geotérmicas en Alemania | 29 |
| 8 | Estado actual de la energía geotérmica en la Región de Murcia | 33 |
| 8.1 | Áreas geotérmicas murcianas | 33 |
| 9 | Localidades de estudio | 34 |
| 9.1 | Extensión y viviendas seleccionadas | 36 |

| | | |
|--------|---|----|
| 9.2 | Características climáticas de la Región de Murcia y Baviera | 37 |
| 10 | Eficiencia energética en los edificios | 39 |
| 10.1 | Estado actual de los edificios de la Región de Murcia | 39 |
| 10.2 | Estado actual de los edificios de la región de Baviera | 42 |
| 11 | Potencial geotérmico de las localidades de estudio | 45 |
| 11.1 | Potencial geotérmico de las zonas de la Región de Murcia | 45 |
| 11.2 | Potencial geotérmico de la zona de Baviera | 47 |
| 12 | Cálculo de la demanda energética para climatización | 49 |
| 12.1 | Necesidad energética en °C a lo largo del año | 49 |
| 12.2 | Necesidad energética en las zonas murcianas | 53 |
| 12.3 | Necesidades energéticas en la zona de Baviera | 55 |
| 12.4 | Resultados | 56 |
| 12.5 | Consumo energético mensualizado | 60 |
| 13 | Energía geotérmica anual extraíble del subsuelo | 65 |
| 14 | Propuesta de instalación geotérmica | 67 |
| 14.1 | Cálculo de la potencia de la bomba de calor geotérmica | 67 |
| 14.2 | Cálculo del campo de captación | 67 |
| 14.3 | Accesorios de la instalación | 68 |
| 14.3.1 | La bomba de calor geotérmica | 68 |
| 14.3.2 | Sistema de captación | 69 |
| 14.3.3 | La arqueta | 69 |
| 14.3.4 | Sistema de emisión | 70 |
| 14.4 | Presupuesto | 72 |
| 15 | Impacto ambiental | 74 |
| 15.1 | Impacto actual en la Región de Murcia | 74 |
| 15.2 | Impacto actual en Baviera | 78 |
| 15.3 | El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) | 80 |
| 15.3.1 | Definición de objetivo y alcance de ACV | 81 |
| 15.3.2 | Análisis de inventario | 82 |
| 15.3.3 | Evaluación del impacto del ciclo de vida | 83 |
| 15.3.4 | Resultados para una BCG en la Región de Murcia | 84 |
| 16 | Comparativa | 88 |
| 16.1 | Análisis DAFO | 91 |
| 17 | Conclusiones | 95 |
| 18 | Bibliografía | 97 |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Interfaz QGIS | 10 |
| Ilustración 2 Esquema de la metodología desarrollada | 12 |
| Ilustración 3 Flujos de calor en la corteza terrestre | 13 |
| Ilustración 4 Puntos de España de alto potencial geotérmico | 19 |
| Ilustración 5 Localización de los district heating y puntos de generación eléctrica con geotermia | 31 |
| Ilustración 6 Instalaciones geotérmicas y pozos en Múnich | 32 |
| Ilustración 7 Localidades murcianas de estudio seleccionadas | 34 |
| Ilustración 8 Localidad alemana de estudio seleccionada | 36 |
| Ilustración 9 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Cartagena seleccionada | 46 |
| Ilustración 10 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Lorca seleccionada | 46 |
| Ilustración 11 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Molina de Segura seleccionada | 47 |
| Ilustración 12 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Múnich seleccionada | 48 |
| Ilustración 13 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Cartagena | 57 |
| Ilustración 14 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Lorca | 58 |
| Ilustración 15 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Molina de Segura | 59 |
| Ilustración 16 Viviendas unifamiliares seleccionadas en Múnich | 60 |
| Ilustración 17 EcoGEO HTR B3 | 68 |
| Ilustración 18 Sonda vertical | 69 |
| Ilustración 19 Tubo de inyección | 69 |
| Ilustración 20 Arqueta DN650 | 70 |
| Ilustración 21 Distribución del calor según el tipo de emisor | 70 |
| Ilustración 22 Radiador de aluminio Cointra Orion Hp600 | 71 |
| Ilustración 23 Aislante Pipe section Alu 2 | 71 |
| Ilustración 24 Ciclo de Vida de una BCG vertical | 81 |
| Ilustración 25 Tabla resumen resultados del trabajo I | 91 |

Índice de tablas

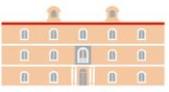
| | |
|--|----|
| Tabla 1 Fracción geotérmica de producción eléctrica total | 14 |
| Tabla 2 Aprovechamiento geotérmico en España | 18 |
| Tabla 3 Fondos de Inversión disponibles en España en IRENA Project Navigator | 26 |
| Tabla 4 District heating activos en Baviera | 30 |
| Tabla 5 Plantas de producción eléctrica geotérmicas en Baviera | 31 |
| Tabla 6 Áreas de interés geotérmico en la Región de Murcia | 33 |
| Tabla 7 Ubicación geográfica de las zonas de estudio | 36 |
| Tabla 8 Parcelas catastrales y área territorial de las zonas murcianas | 36 |
| Tabla 9 Área y número de viviendas seleccionadas en la Región de Murcia | 37 |
| Tabla 10 Área y número de viviendas de actuación en datos relativos | 37 |
| Tabla 11 Área y número de viviendas seleccionadas en Baviera | 37 |
| Tabla 12 Calificación de eficiencia energética de edificios destinados a viviendas | 39 |
| Tabla 13 Estado actual de los edificios de los municipios seleccionados | 40 |

| | |
|---|----|
| Tabla 14 Valores de referencia para calefacción y refrigeración en viviendas unifamiliares en Murcia | 54 |
| Tabla 15 Zonas climáticas (Murcia) | 54 |
| Tabla 16 Severidad climática en invierno..... | 54 |
| Tabla 17 Severidad climática en verano..... | 54 |
| Tabla 18 Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción y refrigeración..... | 55 |
| Tabla 19 Demanda energética para climatización por superficie en los municipios murcianos | 55 |
| Tabla 20 Valores de referencia para calefacción y refrigeración en viviendas unifamiliares en Burgos..... | 56 |
| Tabla 21 Demanda energética mensualizada I | 61 |
| Tabla 22 Demanda energética mensualizada II | 62 |
| Tabla 23 Energía extraíble del subsuelo..... | 65 |
| Tabla 24 Cantidad de demanda energética asumible por las BCGs..... | 66 |
| Tabla 25 Necesidades energéticas | 67 |
| Tabla 26 Capacidad de calefacción | 67 |
| Tabla 27 Presupuesto de la propuesta de instalación sin circuito secundario | 72 |
| Tabla 28 Presupuesto de la propuesta de instalación con circuito secundario..... | 73 |
| Tabla 29 Factores de emisiones de CO ₂ I..... | 77 |
| Tabla 30 Rendimiento energético de las bombas de calor | 77 |
| Tabla 31 Emisiones de CO ₂ emitidas a la atmósfera en las localidades murcianas con el sistema actual..... | 78 |
| Tabla 32 Factores de emisiones de CO ₂ II | 79 |
| Tabla 33 Emisiones de CO ₂ emitidas a la atmósfera en Baviera con el sistema actual | 80 |
| Tabla 34 Impacto ambiental de las áreas y elementos de protección..... | 84 |
| Tabla 35 Impacto en el cambio climático de los 7 elementos tecnológicos | 85 |
| Tabla 36 Impacto en el agotamiento de los recursos fósiles de los 7 elementos tecnológicos . | 87 |
| Tabla 37 Tabla resumen resultados del trabajo II..... | 91 |
| Tabla 38 Debilidades para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas . | 92 |
| Tabla 39 Amenazas para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas.... | 92 |
| Tabla 40 Fortalezas para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas.... | 93 |
| Tabla 41 Oportunidades para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas | 94 |

Índice de gráficas

| | |
|--|----|
| Gráfica 1 Evolución de potencia eléctrica geotérmica instalada en el mundo | 14 |
| Gráfica 2 Capacidad instalada para usos directos en 2010..... | 15 |
| Gráfica 3 Evolución de la capacidad instalada | 16 |
| Gráfica 4 Evolución de potencia térmica instalada en el mundo..... | 16 |
| Gráfica 5 Desarrollo de proyectos geotérmicos en Europa | 17 |
| Gráfica 6 Evolución de las bombas de calor en España | 23 |
| Gráfica 7 Crecimiento del uso de la bomba de calor en Alemania | 28 |
| Gráfica 8 Evolución de viviendas familiares a construir en la Región de Murcia..... | 35 |
| Gráfica 9 Temperaturas medias por meses en las zonas seleccionadas..... | 38 |
| Gráfica 10 Evolución de la construcción en los municipios seleccionados de la Región de Murcia | 40 |
| Gráfica 11 Tamaño superficial de las viviendas de los municipios seleccionados (m ²) | 41 |

| | |
|---|----|
| Gráfica 12 Porcentaje de construcción de viviendas unifamiliares en la Región de Murcia | 41 |
| Gráfica 13 Rehabilitación de viviendas en los municipios seleccionados | 42 |
| Gráfica 14 Evolución de la construcción de edificios y apartamentos residenciales en Baviera | 43 |
| Gráfica 15 Evolución de energía primaria utilizada para calefacción en Alemania | 44 |
| Gráfica 16 Antigüedad del sistema de calefacción en Baviera | 44 |
| Gráfica 18 Demanda de Climatización de Viviendas Unifamiliares [KWh/m ²] | 49 |
| Gráfica 19 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Cartagena | 50 |
| Gráfica 20 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Lorca..... | 50 |
| Gráfica 21 Número de horas anuales por debajo de los 17°C Molina de Segura | 51 |
| Gráfica 22 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Múnich | 51 |
| Gráfica 23 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Cartagena | 52 |
| Gráfica 24 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Lorca | 52 |
| Gráfica 25 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Molina de Segura..... | 53 |
| Gráfica 26 Comparación de temperaturas medias entre Burgos y Múnich..... | 55 |
| Gráfica 27 Demanda energética mensualizada de Cartagena | 62 |
| Gráfica 28 Demanda energética mensualizada de Lorca | 63 |
| Gráfica 29 Demanda energética mensualizada de Molina de Segura | 63 |
| Gráfica 30 Demanda energética mensualizada de Múnich | 64 |
| Gráfica 31 Presencia de calefacción en los hogares españoles | 74 |
| Gráfica 32 Presencia de calefacción en los hogares murcianos..... | 74 |
| Gráfica 33 Sistema de calefacción actual en España | 75 |
| Gráfica 34 Sistema de calefacción actual en la Región de Murcia..... | 75 |
| Gráfica 35 Presencia de aire acondicionado en los hogares españoles..... | 76 |
| Gráfica 36 Presencia de aire acondicionado en los hogares murcianos | 76 |
| Gráfica 37 Sistema de calefacción actual en Alemania..... | 78 |
| Gráfica 38 Sistema de calefacción actual en Baviera | 79 |
| Gráfica 39 Comparativa de emisiones de CO ₂ emitidas..... | 89 |
| Gráfica 40 Comparativa de costes de dos modelos de climatización (separados) | 90 |
| Gráfica 41 Comparativa de costes de dos modelos de climatización (juntos)..... | 90 |



industriales
etsii UPCT

1 Introducción

La alta dependencia energética española con el exterior en energía primaria obliga a desarrollar nuevos modelos de consumo energético y tomar acciones que permitan cumplir los acuerdos internacionales en materia climática.

Aun así, la Energía Renovable en España ha tenido un importante crecimiento a lo largo de las últimas décadas, pero todavía no el suficiente. Es por ello que se deben analizar otras alternativas energéticas que no han tenido apenas presencia en España para poder complementar las limitaciones que tienen cada una.

La Energía Geotérmica puede ser un elemento clave para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en viviendas. Los estudios realizados sobre el potencial geotérmico de España se realizaron a finales del siglo XX, y nunca se tuvieron en cuenta, ya que éstos no ofrecían una alta entalpía que fuese fácilmente aprovechable para climatización o producción eléctrica, además en aquel momento, como ahora, el precio del gas natural para calefacción es muy competitivo, y eso hizo que no se mostrase ningún interés en su aprovechamiento.

Sin embargo, los riesgos climáticos anunciados durante los últimos años obligan a reinventar el modelo de consumo energético. Esto implica estudiar las antiguas soluciones energéticas que tenían una alta dificultad en cuanto a su recuperación económica pero son sostenibles ambientalmente.

El desarrollo de la Energía Geotérmica es algo que se viene desarrollando en algunos países extranjeros desde hace ya varias décadas. Es verdad que se trata de países con una mayor entalpía aprovechable en sus territorios, y que además, tienen un gran desarrollo económico en su país, sin embargo, incluso en dichos países el apoyo económico fue necesario para poder desarrollar dichas instalaciones.

Este trabajo pretende analizar en qué puntos de la Región de Murcia existen mayores facilidades para la integración de la geotermia en las viviendas. Además, analiza el desarrollo de esta tecnología en Alemania, donde ya está implantada y el uso de este recurso es una práctica extendida en todo el país. Se analiza en detalle, qué modelos de calefacción utilizan, cómo lo financian y cuáles pueden ser las estrategias que se pueden extrapolar a la región murciana.

2 Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo han sido:

1. Identificar la madurez y el uso en el que se encuentra la energía geotérmica en España y en el mundo
2. Analizar el potencial geotérmico de las localidades o zonas de la Región de Murcia, en las que existan proyectos de desarrollo urbanístico y/o cumplan las condiciones óptimas para la instalación de bombas geotérmicas.
3. Estudio del parque de viviendas de la Región de Murcia
4. Analizar el potencial geotérmico de las localidades o zonas de la región de Baviera, Alemania, en las que existan proyectos de desarrollo urbanístico cumplan las condiciones óptimas para la instalación de bombas geotérmicas.
5. Estudio del parque de viviendas de la región de Baviera
6. Analizar la demanda energética de la Región de Murcia asociada a la zona climática a la que pertenece.
7. Analizar la demanda energética de la región de Baviera y sus condiciones climáticas.
8. Analizar el consumo actual y las fuentes de consumo de la Región de Murcia
9. Analizar el consumo actual y las fuentes de consumo de la región de Baviera
10. Comparar las necesidades energéticas de ambas regiones, sus similitudes y sus diferencias
11. Georreferenciar en el software QGIS los datos obtenidos sobre las demandas y consumos energéticos de las zonas analizadas
12. Estimar el aporte energético que el potencial geotérmico puede tener en los sistemas de climatización de la Región de Murcia
13. Cuantificar la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera con el uso de la energía geotérmica en las zonas estudiadas
14. Realizar una propuesta de instalación geotérmica en la zona escogida
15. Estimar el impacto ambiental y económico que supone el uso de la geotermia en España

3 Elaboración del trabajo

3.1 Herramientas de trabajo

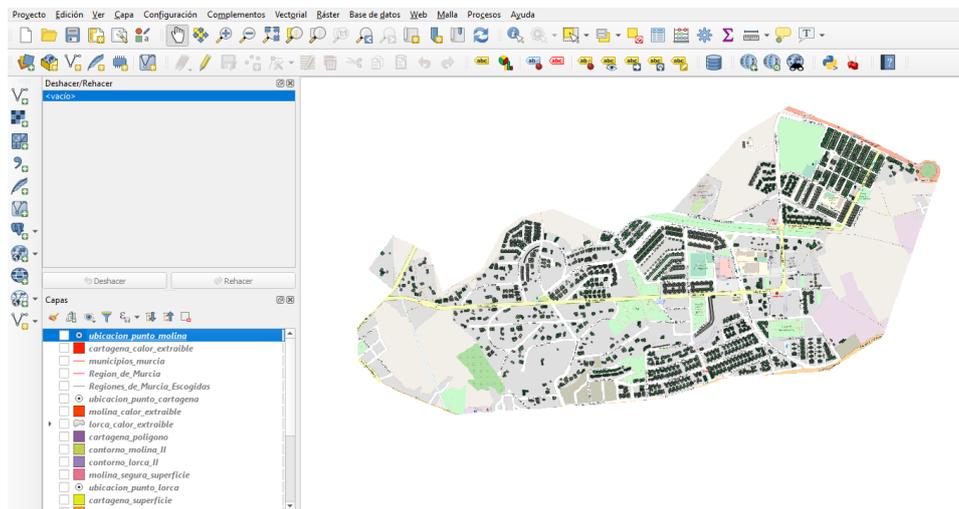
Para la realización de este trabajo se han utilizado dos programas. Por un lado, la Hoja de Cálculo de Excel¹, necesaria para la realización de gráficas y desarrollo de operaciones matemáticas y por el otro QGIS², un programa de sistemas de información geográfica, que me ha permitido trabajar con datos espaciales y elaborar diferentes mapas para representar la información obtenida de forma gráfica, obteniendo así, mapas de calor y mapas a escala.

3.1.1 QGIS

El programa QGIS, es una herramienta adecuada para el análisis y la selección de superficies, permite trabajar con una amplia variedad de información y es un programa útil para visualizar información de manera gráfica.

QGIS es una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto licenciado bajo GNU - General Public License. Permite trabajar con una amplia variedad de formatos de archivo ráster y vectorial.

Ilustración 1 Interfaz QGIS



Fuente 1 Elaboración propia

3.1.2 Información utilizada

Para la elaboración de este trabajo se han utilizado, datos climáticos de los valores de temperatura media diaria para las localidades de Cartagena, Lorca, Molina de Segura y Múnich³.

Datos geoespaciales obtenidos del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG)⁴, la sede de catastro del gobierno y datos ofrecidos por la codirectora del trabajo Adela Ramos Escudero.

Numerosos documentos bibliográficos, documentos oficiales, publicaciones, catálogos y páginas web, todo ello mencionado en el apartado bibliográfico.

3.2 Fases del proyecto

3.2.1.1 Lectura bibliográfica

Recopilación y lectura bibliográfica sobre la energía geotérmica, necesaria para una buena comprensión sobre la energía geotérmica y su aplicación; la situación actual en España y Alemania, así como, la extracción de información de interés.

3.2.1.2 Trabajo con la herramienta QGIS

Ha sido necesario aprender a usar la herramienta SIG, así como su uso para la elaboración de planos y el análisis gráfico de la información.

3.2.1.3 Recopilación de información estadística

Necesaria tanto para la elaboración del estudio del parque de viviendas, así como para la del impacto ambiental y el uso de fuentes energéticas en las zonas de estudio.

3.2.1.4 Realización de cálculos

Se ha utilizado la Hoja de Cálculo, para la obtención de los resultados obtenidos tanto de demandas energéticas, cálculo de emisiones, la elaboración del análisis del ciclo de vida; y para la obtención de diversos tipos de representaciones gráficas.

3.2.1.5 Redacción del trabajo fin de máster

Una fase continuada a lo largo de todo el trabajo, en la que se ha ido añadiendo la información tratada.

3.3 Metodología

Lo primero que se realizó fue un estudio sobre la materia, la situación, la evolución y las posibilidades de su aplicación tanto a nivel mundial, como nacional.

Partiendo de la selección de zonas y viviendas de la Región de Murcia en las que existe un interés por promocionar la energía geotérmica, se ha calculado en primer lugar la demanda energética para el sistema de climatización de las respectivas viviendas. Después se seleccionó una zona de la región bávara y se realizaron los mismos cálculos.

La demanda energética para calor y frío de los grupos de viviendas seleccionados, también ha permitido conocer, a partir de datos estadísticos sobre los sistemas de calefacción y refrigeración usados en los diferentes municipios el impacto ambiental asociado al modelo actual de climatización de hogares.

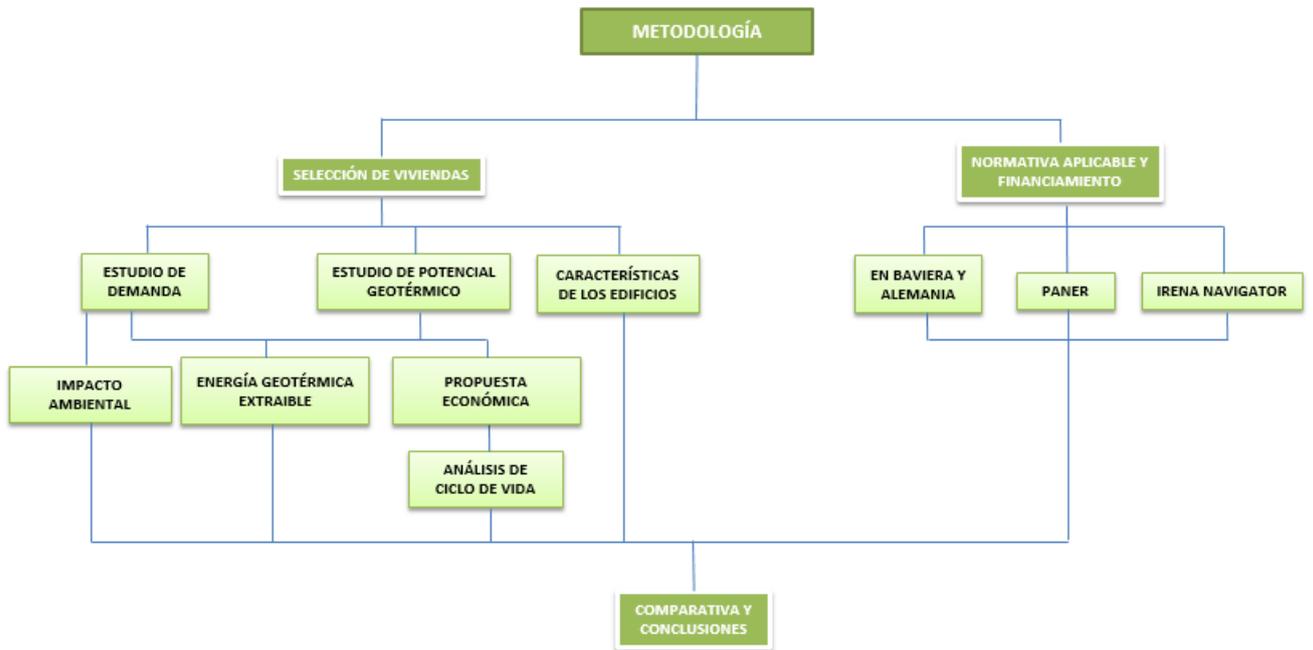
Una vez obtenidas las demandas, se representó el potencial geotérmico de los diferentes emplazamientos para poder conocer la cantidad de energía calorífica extraíble del subsuelo, y su capacidad de aprovechamiento en los barrios seleccionados.

Por otro lado, se han analizado algunas de las medidas políticas que han incentivado el crecimiento del uso de la tecnología de la BCG en algunas partes de Europa, y principalmente en Alemania. Además de una investigación acerca de organismos que posibilitan el financiamiento de este tipo de instalaciones.

Además, se ha realizado una propuesta económica para la implementación de la BCG en viviendas murcianas, acompañado de un análisis sobre el impacto ambiental que supondría la sustitución del sistema de refrigeración antiguo por el propuesto.

Por último, se ha elaborado un apartado comparativo y otro apartado para las conclusiones que se han podido obtener de este trabajo.

Ilustración 2 Esquema de la metodología desarrollada



Fuente 2 Elaboración propia

4 La energía geotérmica

La Energía geotérmica, según el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC), es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra. Engloba a las diferentes variedades de almacenamiento de calor (rocas, suelos y aguas subterráneas) y todas las profundidades⁵.

La energía geotérmica se puede clasificar según el nivel de su temperatura:

- Alta temperatura (más de 150°C): transforma de forma directa el vapor de agua directamente en electricidad.
- Media temperatura (90-150°C): produce electricidad a partir de un fluido de intercambio.
- Baja temperatura (30-90°C): para calefacción o algunos procesos industriales y agrícolas.
- Muy baja temperatura (menos de 30°C): para calefacción y climatización, pero siendo necesario el uso de bombas de calor

4.1 El flujo de calor geotérmico

El flujo medio de calor registrado en la corteza terrestre es del orden de $1,5 \mu\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}/\text{s}$. Sin embargo, en algunas zonas de la Tierra el flujo de calor es especialmente elevado, llegando a alcanzar valores de entre diez y veinte veces el flujo medio⁶.

Ilustración 3 Flujos de calor en la corteza terrestre



Fuente 3 Tomado del Plan de Acción de Energía Sostenible de Murcia. (s.f.)

Estas superficies terrestres con un elevado potencial geotérmico se deben a fenómenos geológicos especiales (actividades volcánicas, formación de cordilleras...). Además, estas anomalías provocan gradientes térmicos con unos saltos de entre $15-30^\circ\text{C}$ cada 100 metros, pudiendo encontrar temperaturas de entre $200-300^\circ\text{C}$ en profundidades de entre 1,5 y 2 kilómetros.

Por otro lado, en áreas geológicas más estables, el gradiente de temperatura es menor, siendo de alrededor de los 3°C por cada 100 metros, y alcanzando temperaturas de entre $60-90^\circ\text{C}$ a profundidades de entre 2 y 3 kilómetros.

4.2 Aplicaciones

Hasta ahora, la energía geotérmica ha tenido dos grupos de aplicación: la térmica y la de producción eléctrica.

Las aplicaciones con finalidad térmica se vienen desarrollando desde la antigüedad, para balnearios, termas... Sin embargo, en las últimas décadas ha habido un interés creciente para el aprovechamiento de este calor en calefacción y agua caliente sanitaria mediante el uso de bombas de calor y sondas.

4.3 La geotermia en el mundo

Los inicios de los desarrollos de instalaciones eléctricas a partir de recursos geotérmicos empiezan en Italia en 1904 y 1905. Construyendo una primera instalación de 250 kWe en 1913. Y ya en 1950 se consiguen 300 MWe en el yacimiento de Landarello⁷.

La llegada de la crisis del petróleo en 1973 supone un crecimiento en la construcción de plantas eléctricas geotérmicas, llegando a multitud de países, Japón, Islandia y El Salvador (1975), Indonesia, Kenia, Turquía y Filipinas (1980), Nicaragua (1985)...⁷

Para algunos de los países mencionados, el aporte al mix eléctrico de la geotermia supone una cantidad importante del cómputo total.

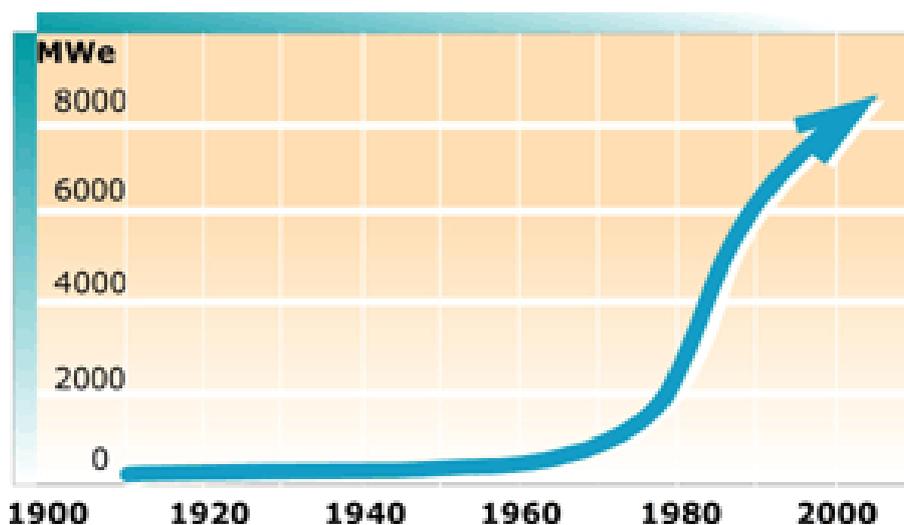
Tabla 1 Fracción geotérmica de producción eléctrica total

| País | Aporte al mix |
|---------------|---------------|
| Filipinas | 16,2% |
| Nicaragua | 17,0% |
| El Salvador | 15,4% |
| Islandia | 13,0% |
| Costa Rica | 7,8% |
| Kenia | 5,3% |
| Nueva Zelanda | 5,1% |
| Indonesia | 3,0% |

Fuente 4 Tomado del IGME⁷

Si observamos la evolución del crecimiento de potencia eléctrica instalada en el mundo a lo largo del siglo XX, observamos la alta repercusión que tuvo la crisis del 73.

Gráfica 1 Evolución de potencia eléctrica geotérmica instalada en el mundo



Fuente 5 Tomado del IGME⁷

El país que se encuentra a la cabeza es EEUU con 2.228MWe, seguido de Filipinas con 1.909MWe de potencia instalada.

Los principales yacimientos de energía geotérmica en Europa se encuentran en Italia, Islandia, Francia, Austria, Hungría, Bulgaria, Alemania y Suiza. Por otra parte, la potencia eléctrica instalada en Europa era de 863MWe en el año 2007⁷.

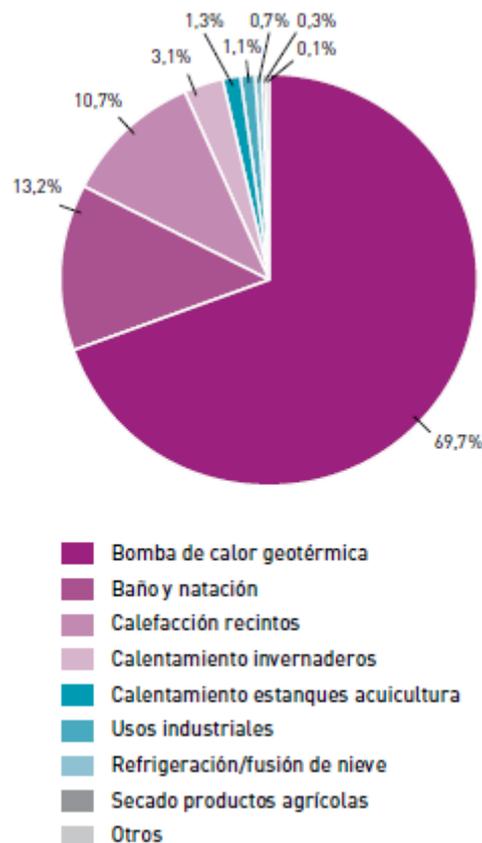
En cuanto al uso del recurso geotérmico de forma directa, su uso industrial comienza en el siglo XX, siendo Islandia el país pionero, donde ya en la década de los 20 se comienza a calefactar invernaderos con energía geotérmica y en 1930 se establece el primer sistema de district heating en Reykiavik para suministrar calor a 70 casas.

En el año 2019, el número de países que hacían uso de la geotermia era de 78, con una capacidad instalada de 50.583MWt. Dicho valor supone un crecimiento del 78,9% respecto al 2005. La cantidad de energía aprovechada en 2009 fue de 121.696GWh, lo que supuso un ahorro de 148,2 millones de toneladas de emisiones de CO₂ y 307,8 millones de barriles de petróleo.

Existe una amplia variedad en cuanto al tipo de uso del calor extraído, la siguiente figura lo muestra que casi el 70% de los casos se hace uso de la bomba de calor geotérmica, sin embargo, el uso en baño y natación se trata de casi el 15% de los casos, seguido de calefacción de recintos con una presencia destacable, del casi el 10%.

La calefacción de recintos, pueden ser individuales o sistemas de calefacción centralizada, esta última supone el 85% de la capacidad instalada y es conocida como *district heating*. Este último sistema se encuentra extendido en países como Islandia, China, Turquía, Francia y Rusia⁸.

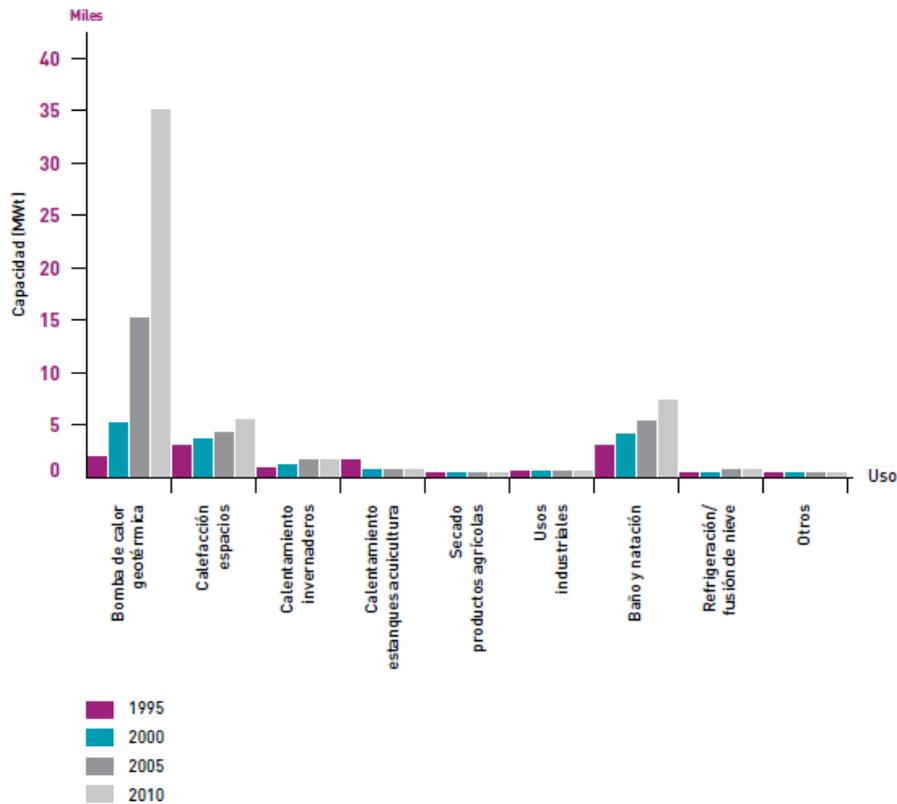
Gráfica 2 Capacidad instalada para usos directos en 2010



Fuente 6 Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020

Pero estos valores eran totalmente distintos a comienzos del siglo XX, cuando el uso de la bomba de calor geotérmica todavía no estaba extendido. Sin embargo, el éxito de esta tecnología incentivo su desarrollo, siendo este exponencial⁸.

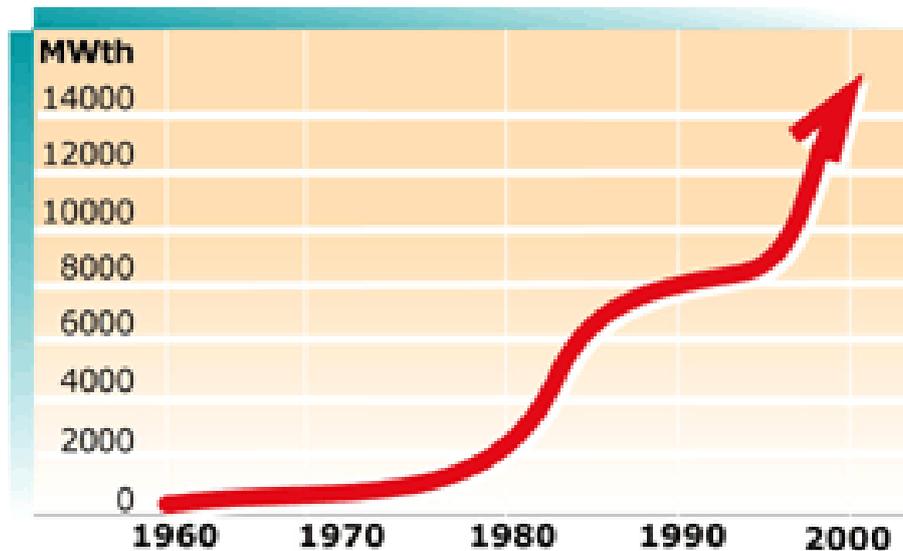
Gráfica 3 Evolución de la capacidad instalada



Fuente 7 Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020

De nuevo, el país con mayor potencia térmica instalada es EEUU con 3.766MWt, esta vez seguido de China con 2.282MWt e Islandia con 1.469MWt⁸.

Gráfica 4 Evolución de potencia térmica instalada en el mundo



Fuente 8 Instituto Geológico y Minero de España IGME

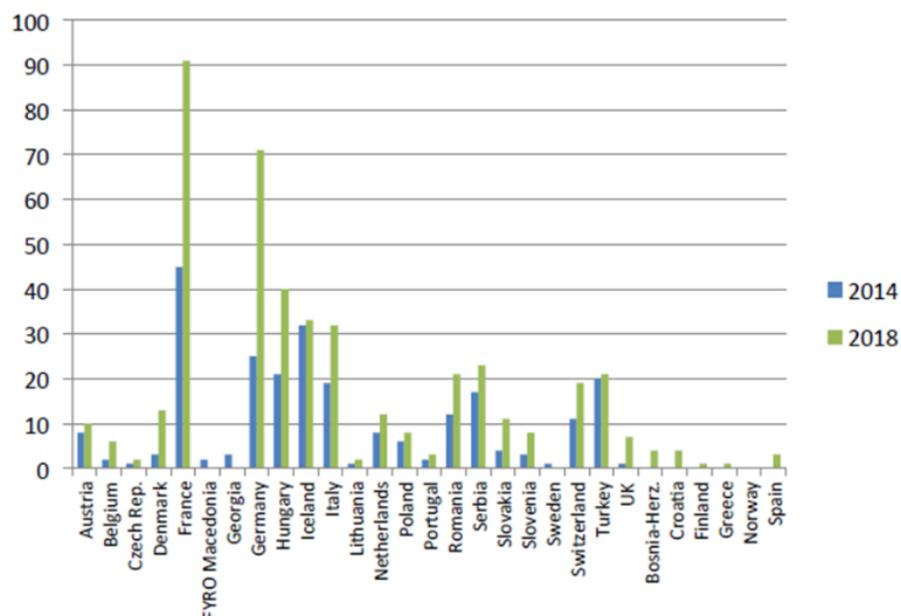
En la UE, el uso directo del calor de la energía geotérmica de forma extendida se había desarrollado en 16 de los 25 países para el año 2008⁹.

4.3.1 El proyecto GeoDH

El proyecto GeoDH pretende desarrollar en Europa las conocidas como *District heating*, o bien, calefacciones por distrito en Europa. La calefacción por distrito es el uso de deferentes fuentes de energía geotérmica para la climatización de grupos de edificios o industrias.

Su base de datos GeoDH muestra que el 25% de la población europea vive en zonas en las que se puede aprovechar el recurso geotérmico⁹. Y, como se muestra en la siguiente gráfica, su uso es ya muy extendido en Europa, habiendo incrementando el número de proyectos desarrollados en los últimos años en gran medida.

Gráfica 5 Desarrollo de proyectos geotérmicos en Europa



Fuente 9 Developing geothermal district heating in Europe

4.4 La geotermia en España

Se data en 1973, el interés inicial por conocer el potencial geotérmico español. En 1975 el IGME realiza el primer estudio, el *Inventario General de Manifestaciones Geotérmicas en el Territorio Nacional*.

Se determinaron algunas zonas de interés. De alta temperatura (más de 150°C) en las Islas Canaria; de media temperatura (entre 100 y 150°C) en el Pirineo Oriental, Galicia, Cataluña y las Cordilleras Béticas; y otros puntos de baja temperatura (menos de 100°C).

Las temperaturas que se pueden alcanzar en el interior de la tierra en España, es de alrededor de 15°C, cuando la profundidad es de 5 metros, y próxima a los 17°C entre 15 y 20 metros de profundidad a lo largo de todo el año.

A pesar del interés inicial en desarrollar proyectos geotérmicos, la mayoría no tuvieron éxito, debido a la dificultad financiera y la competencia con otros recursos energéticos que ofrecían precios mucho más bajos.

Sin embargo, en los últimos años, en España se ha mostrado un mayor interés en esta alternativa. Tanto es así, que si en 2005 la potencia instalada en España era de 22,28MWt, y en 2006 el número de bombas de calor geotérmicas instaladas eran de alrededor de 300; en 2011 la capacidad instalada ascendía a los 141MWt, 6 veces más que en 2005, y el aprovechamiento energético era de 190GWh anuales¹⁰.

Sin embargo, las condiciones de almacenamiento e intercambio de calor, son tan buenas o incluso mejores que en otros países, como por ejemplo Francia, donde el desarrollo de instalaciones geotérmicas se ha realizado de manera satisfactoria. Es decir, el desarrollo de proyectos geotérmicos en España es viable, al menos técnicamente.

Tabla 2 Aprovechamiento geotérmico en España

| Localidad | Tipo | T entrada | T salida | Capacidad (MWt) | Energía (Tj/anuales) | Factor de Capacidad |
|--------------|------|-----------|----------|-----------------|----------------------|---------------------|
| Archera | E+B | 48,00 | 25,00 | 0,96 | 18,20 | 0,60 |
| Arnedillo | E+B | 50,00 | 30,00 | 0,92 | 21,10 | 0,73 |
| Cartagena | I | 38,00 | 18,00 | 12,55 | 158,26 | 0,40 |
| Fitero | E+B | 52,00 | 30,00 | 0,73 | 14,50 | 0,63 |
| Lerida | E | 58,00 | 25,00 | 1,24 | 26,11 | 0,66 |
| Lugo | E+B | 44,00 | 25,00 | 0,32 | 5,01 | 0,50 |
| Montbrió | E+B | 42,00 | 18,00 | 1,5 | 31,65 | 0,67 |
| Montbrió | I | 78,00 | 25,00 | 1,33 | 20,97 | 0,50 |
| Orense | E | 75,00 | 30,00 | 0,94 | 23,74 | 0,80 |
| Sierra | E+B | 52,00 | 30,00 | 0,74 | 14,51 | 0,62 |
| Zujar | I | 45,00 | 20,00 | 1,05 | 13,19 | 0,40 |
| Total | | | | 22,28 | 347,24 | |

Fuente 10 Geothermal Energy Development in Spain-Country

El tipo 'E' indica calefacción de espacios particulares (sin incluir bombas de calor), el tipo 'B' indica baño y natación, y el tipo 'I' indica calefacción de invernaderos y suelos. El factor de capacidad refleja el porcentaje equivalente de horas de funcionamiento anual a plena carga de una instalación. Este parámetro se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de capacidad} = \frac{\text{Utilización anual} \left[\frac{Tj}{\text{anuales}} \right]}{\text{Capacidad [MWt]}} \cdot 0,03171$$

Algunos puntos de interés geotérmico en España son los que se muestran en la siguiente imagen:

Ilustración 4 Puntos de España de alto potencial geotérmico



Fuente 11 Tomado del Plan de Acción de Energía Sostenible de Murcia. (s.f.)

La presencia de potencial geotérmico en España se debe a fallas y fracturas en las cadenas montañosas y en las cuencas de sus flancos, especialmente en la Cordillera Costero Catalana, en la parte nororiental de la Península, y en las Cordilleras Béticas.

5 Tecnologías para aprovechamiento geotérmico de baja y muy baja temperatura

Cuando pensamos en fuentes de energías renovables, tendemos a pensar en la cantidad de energía eléctrica que nos pueden proporcionar. Sin embargo, para el caso de la energía geotérmica cuando se trata de terrenos de baja y muy baja entalpía y la producción eléctrica se imposibilita, se puede obtener un aprovechamiento directo de esta energía calorífica.

Llegado el caso, el elevado coste de los sistemas de calor, requerirá la mayor proximidad posible entre la zona de aprovechamiento y la instalación benefactora.

Algunos de los almacenes sedimentarios son de gran profundidad (del orden de 2.000-2.500 m), lo que tiende a implicar una demanda en superficie de unas 3.000 viviendas. Cubrir los picos máximos de demanda implica un incremento muy elevado de la inversión. Lo que se suele hacer con frecuencia, es tener un sistema de apoyo que cubra el 50% de la potencia máxima que equivale al 80% de la demanda total, y así reducir costes de inversión¹¹.

5.1 La bomba de calor geotérmica (BCG)

Las BCG utilizan el subsuelo como un depósito de energía geotérmica o medio de almacenamiento (por ejemplo, un acuífero) y, por lo tanto, se puede aplicar en casi todos los lugares del mundo, incluso en áreas de bajo gradiente geotérmico.

Hay principalmente dos tipos de BCG: las que funcionan en sistemas abiertos, se instalan pozos y el calor del agua subterránea es utilizado directamente como portador de calor; y las que funcionan en sistemas cerrados, mucho más comunes, donde los pozos están equipados con tuberías que actúan como intercambiadores de calor del pozo¹².

La transferencia de energía entre los intercambiadores de calor del pozo y el suelo se establece mediante la circulación de un fluido portador de calor sintético. Antes de poner en funcionamiento una BCG, es necesario perforar pozos, instalar pozos de extracción e inyección. Además, estos dispositivos deben estar conectados a la bomba de calor del edificio. Por lo general, estos pozos alcanzan profundidades poco profundas (<400 m)²⁸.

La bomba de calor extrae energía del fluido portador comprimiendo y evaporando un refrigerante. Este es un paso crítico que cuesta energía, en la mayoría de los casos energía eléctrica de la red. Para cuantificar la eficiencia energética de las BCG, se suele utilizar un factor de rendimiento estacional (SPF) y un coeficiente de rendimiento (COP), que es la relación entre la cantidad de calor entregada a un depósito caliente y el trabajo disipado del compresor de la bomba de calor. Los valores típicos reportados para COP oscilan entre 3 y 5 para diferencias de temperatura entre 0 y 35°C²⁸.

Este tipo de tecnología se utiliza para instalaciones de baja entalpía en sectores residenciales. Una de las ventajas del uso de las BCG es que su desarrollo tecnológico está madura, tanto es así, que en países como Suecia, Alemania, Suiza o Austria, la BCG se usa desde finales de los 70.

La bomba de calor, con la ayuda de un sistema de captación adecuado, permite transferir calor de la temperatura del suelo a otra de mayor temperatura, pudiendo ésta ser usada para calefacción. De la misma forma, en verano, la bomba de calor extrae el calor del exterior para introducirlo al interior de la tierra. El hecho de que las condiciones de temperatura sean más favorables que las del aire, permite obtener un ahorro energético en el consumo del compresor.

La obra necesaria para implementar este sistema consiste en perforar el suelo e introducir los tubos que se encargarán de ceder o absorber el calor.

La temperatura de la tierra a ciertas profundidades (aproximadamente 10 metros) se mantiene constante y se aproxima a la temperatura media anual del aire ambiente en esa determinada zona.

5.2 Factores económicos y ambientales

El uso de la energía geotérmica implica una elevada inversión y con altos riesgos. En proyectos de baja entalpía, los gastos de perforación representan el 60% de la inversión¹².

Sin embargo, según un estudio de la Asociación Europea de Bombas de Calor, se prevé una gran reducción de emisiones de GEI debido al uso de las bombas de calor en Europa. Se esperan tasas de aumento anual de 5,4 millones de bombas de calor y, según los cálculos con el mix energético europeo medio, se podrían evitar 230 millones de t CO₂ anuales. Estos ahorros representarían el 20% del objetivo europeo de ahorro de emisiones de GEI.

Para su desarrollo, se deben obtener los permisos de exploración, investigación y explotación convenientes; ya que, todos los yacimientos de origen natural y demás recursos geológicos en el territorio nacional son bienes de dominio público, cuya investigación y aprovechamiento asume el Estado, o en su lugar, cede en función de la legislación vigente.

En la actualidad, las comunidades autónomas son los órganos de la Administración encargados de la gestión del régimen minero, de acuerdo con la legislación de traspaso de funciones y servicios en materia de industria, energía y minas.

Por otra parte, el procedimiento de evaluación de impacto ambiental está regulado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, en la llamada Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de Proyectos¹³.

En cualquier caso, la cantidad de residuos y emisiones de gases que produce la geotermia es de muy bajos niveles en comparación con otras fuentes de energía. Pero sí se debe tener cuidado con los compuestos salinos y gases disueltos, que pueden contaminar el agua circundante, la atmósfera y el terreno.

6 Normativa y organismos que regulan la gestión del recurso geotérmico

El Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de 11 de noviembre de 2011.

La producción geotérmica está superando los objetivos establecidos en los Planes de Acción Nacionales de Energía Renovable. En 2012, la producción de calor geotérmico poco profundo, principalmente mediante el uso de BCG superó el objetivo europeo del PANER en un 40%.

6.1 Políticas alemanas que favorecieron el desarrollo de la energía geotérmica

La Ley de Fuentes de Energías Renovables, conocida por sus siglas en alemán como EEG, fija el precio de la electricidad para las energías renovables a un precio más bajo del de mercado durante los 20 primeros años. Esta ley ayudó económicamente a desarrollar plantas geotérmicas de producción eléctrica, plantas para calefacción, pozos profundos y extracción de calor¹².

También se creó el Programa de Incentivos de Mercado que en 2009 ayudó con 400 millones de euros a la promoción de las energías renovables en el sector de la climatización.

Por otro lado, el KfW Bankengruppe desarrolló un programa de préstamos para los proyectos de perforación geotérmica profunda. Estos préstamos protegían de posibles riesgos que pudiesen aparecer, como el no encontrar la suficiente temperatura o volúmenes de agua.

La ley de Calefacción aprobada el 6 de junio de 2008 obliga a todos los propietarios de nuevas viviendas a asociar parte de su demanda de climatización a las energías renovables.

Además el Gobierno ayuda en la instalación de las bombas de calor. Las ayudas consisten en 20€/m² por vivienda hasta llegados los 3.000€ para casas ya existentes, y de 10€/m² por vivienda hasta llegados los 2.000€ para casas de nueva construcción.

6.1.1 Programa de asesoramiento

Existe en Alemania una plataforma de consulta para el consumidor, en la que se puede obtener información acerca de las mejoras para ahorrar energía en su edificio (cambio de ventanas, aislamiento de paredes...). Esta consulta es ofrecida por un asesor por solo 20€, ya que están financiadas. En cuanto a consultas relacionadas con la eficiencia de la calefacción, la consulta es ofrecida por 40€, también con financiamiento estatal¹⁴.

Otra alternativa es la plataforma online que ofrece el gobierno, en la cual, a través de una serie de entradas (fecha de construcción, tamaño de la vivienda, sistema de calefacción, antigüedad del calentador), y varias opciones de renovación (fachada, ventanas o cambio del modelo de calefacción), se ofrece una estimación de las medidas de renovación que se pueden aplicar.

6.1.2 Política en Baviera

Desde 2019, existe un plan energético con 73 medidas y 13 campos de actuación que impulsa la política energética de Baviera. El objetivo principal es conseguir un suministro de energía sostenible, segura y asequible para los ciudadanos, los municipios y las empresas¹⁵.

Una de las 13 medidas que se presentó fue la del apoyo a la energía geotérmica, con la que se pretende aprovechar las buenas condiciones geológicas para la extracción de calor. Esta medida tiene las siguientes metas:

- Potenciar el desarrollo de la energía hidrotermal, y conectarla con tres nuevas líneas de transporte para 2029

- Impulsar la ampliación de las redes de calefacción en los municipios que no dispongan de la infraestructura
- Cubrir una cuarta parte del consumo de calor de Baviera con energía geotérmica para nuevas construcciones

6.2 Políticas españolas que no favorecieron el desarrollo de la energía geotérmica

El desconocimiento y la falta de presencia de la geotermia en España antes de su PANER era tal, que si bien existían ordenanzas municipales para la regulación de la solar térmica o fotovoltaica, para la geotermia al igual que para la biomasa, o los biocombustibles éstas no existían.

6.2.1 Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España

En España, los objetivos para el desarrollo de las energías renovables representaban un 20% del consumo final bruto de energía, con un porcentaje en el transporte del 10%, para 2020.

En cuanto a la situación en 2009, el aporte energético por las energías renovables era menor al 10%, representando sólo un 0,01% del total el aporte geotérmico¹⁶.

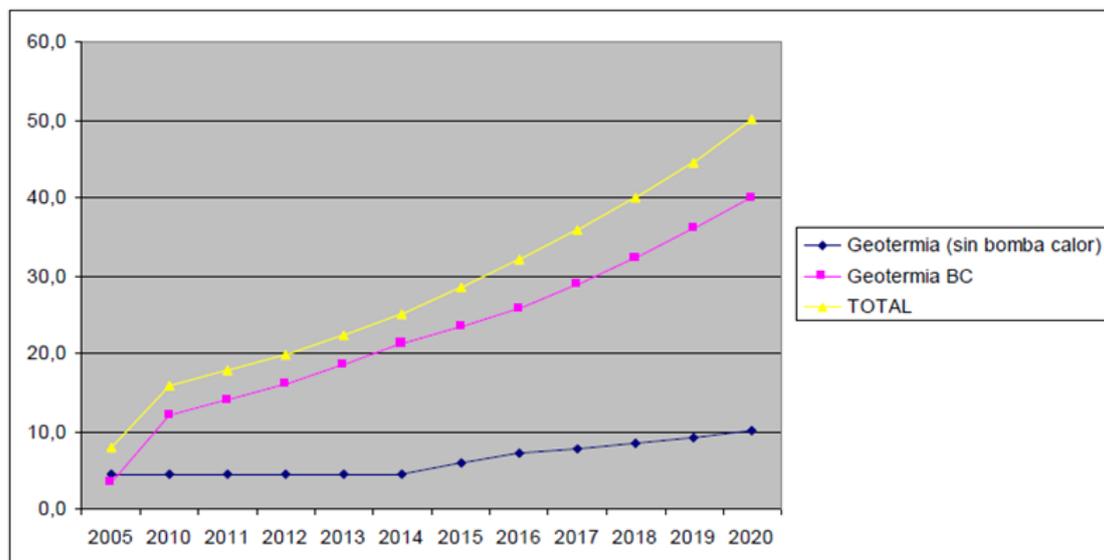
En dicho plan se describían las políticas y medidas destinadas a fomentar la utilización de los diferentes tipos de energías renovables.

6.2.2 Evolución de la energía geotérmica para usos térmicos

La potencia instalada en España a fecha de 2009 se trataba fundamentalmente de balnearios e invernaderos con una aplicación directa. Pero se esperaba que para el año 2015, existiesen proyectos de district heating.

Por otro lado, la bomba de calor geotérmica fue un mercado emergente a comienzos del 2000. Se esperaba una tasa de crecimiento de esta tecnología para la década en la que se desarrollaba el PANER del 15% para los 5 primeros años y de entre el 10-12% para los siguientes.

Gráfica 6 Evolución de las bombas de calor en España



Fuente 12 Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (2011-2020)

6.3 Proyectos europeos de energía geotérmica superficial

6.3.1 ReGeoCities

El proyecto ReGeoCities fue lanzado en 2012 con el apoyo del programa Intelligent Energy Europe.

Estudia las perspectivas y barreras para la introducción de la energía geotérmica superficial en las ciudades europeas. Centrado en la instalación de bombas de calor geotérmicas en ciudades y comunidades inteligentes. Trata de generar conciencia entre los responsables políticos y proponer un conjunto de procedimientos administrativos simplificados y modelos financieros innovadores¹⁷.

6.3.2 El proyecto GEO.POWER

El proyecto GEO.POWER tiene por objetivo evaluar la reproducibilidad y transferibilidad de algunos de los ejemplos más destacados de las *best practices* que existen en Europa para la utilización de energía geotérmica de baja entalpía y poca profundidad, principalmente relacionados con los sistemas de BCG.

Es un proyecto, dirigido a transferir conocimiento de mercados geotérmicos maduros (principalmente centro y norte de Europa) a nuevos mercados (principalmente este y sur de Europa), desarrollando estrategias compartidas y planes de acción para la difusión de energía geotérmica sostenible.

Otra acción esencial del proyecto GEO.POWER fue mostrar y probar la viabilidad económica y el desempeño técnico de la BCG, cuantificando la entrega de energía y seleccionando una serie de proyectos de demostración que han sido monitoreados durante un largo período de tiempo para demostrar la contribución eficiente de la BCG a las fuentes de energía renovables.

Se desarrollaron varios planes de acción que reunían diferentes propuestas legales, económicas y técnicas; para: abordar las lagunas legislativas en el sector de la energía geotérmica y una buena estrategia de inversiones a largo plazo.

6.3.2.1 Fases del proyecto GEO.POWER

El proyecto se desarrolló en 3 fases¹⁸.

La Fase 1 (noviembre de 2010 - mayo de 2011) consistió en una revisión de los *best practices* logrados dentro del sector de las bombas de calor geotérmica y su posible aplicación como una tecnología sostenible de calefacción/refrigeración. Se compartió e intercambiaron experiencias entre los socios, gestores de energía, técnicos, stakeholders, urbanistas, etc. y se seleccionaron 12 *best practices* según los siguientes criterios:

- Campo de aplicación (residencial o comercial)
- Tipo de sistemas (circuito cerrado vertical con perforaciones, almacenamiento de energía térmica, sistemas abiertos con pozos de producción y reinyección, almacenamiento de energía térmica de acuíferos, sistemas horizontales de circuito cerrado)
- Entorno hidrogeológico
- Tipo de edificio (nuevos edificios, renovaciones, etc.)
- Parámetros de eficiencia (COP, EER, SPF, SEER, etc.)
- Calidad del esquema de seguimiento
- Beneficios (ahorro de energía, emisiones evitadas, plazo de amortización, etc.)

La fase 2 (junio-diciembre de 2011) evaluó la reproducibilidad y transferibilidad de los best practices seleccionados en cada región. En esta fase, todos los socios pasaron por un análisis DAFO y una evaluación de transferibilidad para reconocer las ventajas y desventajas de la aplicación/adaptación de las tecnologías de bombas de calor geotérmicas identificadas en sus propios territorios, con base en la situación técnica, económica y ambiental local.

La Fase 3 (enero-diciembre de 2012) consistió en la elaboración de un plan de acción para cada región involucrada. Estos planes de acción fueron revisados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional que se encargó de perfilar las estrategias de inversión y los incentivos con el fin de promover la introducción a gran escala de la bomba de calor geotérmica en sus propias regiones.

6.3.2.2 *Algunas de las best practices*

Cada uno de estos best practices, se desarrollaron en diferentes sectores, tanto, público, privado, industrial y agrícola. Algunos de los 12 best practices seleccionados, que puedan tener alguna similitud con el caso de estudio de este trabajo fueron:

6.3.2.2.1 Vivienda unifamiliar en Pikermi (Grecia)

- Una superficie de 180m
- Aislamiento con el uso de ventanas sintéticas con doble vidrio y gas argón en el interior
- Sistema de circuito abierto:
- La bomba de calor alimenta el suelo con agua caliente o fría para calentar o enfriar en consecuencia.
- Se colocan dos deshumidificadores de techo adicionales en los dos pisos de la residencia (cada uno en cada piso)
- Los deshumidificadores se utilizan solo en modo enfriamiento durante el verano, son monitorizados por un sensor de humedad de pared y secan el aire cuando es necesario, operando así de manera complementaria al enfriamiento del piso.

En términos de eficiencia:

- Ahorro de gas natural=30-40%
- Tiempo de recuperación=10 años
- Tiempo de vida esperado=30 años
- COP (calefacción)=5,8
- EER (enfriamiento)=6,1
- SPF (calefacción)=4,8
- SEER (enfriamiento)=3,6

6.3.2.2.2 Vivienda unifamiliar, Ohlsdorf (Austria)

- Una superficie de 189m²
- La instalación opera sin sistema de calefacción de respaldo y está conectada al sistema de distribución de calor sin almacenamiento intermedio
- Calefacción por suelo
- Serpientes horizontales geotérmicos (6 circuitos de 75m de largo para un área total de 270m² y 1,2m de profundidad)
- Bomba de calor de expansión directa a agua
- Temperatura de suministro: 35°C
- Temperatura de retorno: 30°C;
- El ACS se calienta mediante una bomba de calor aire-agua separada que utiliza el aire del aire circundante en el sótano.

En términos de eficiencia:

- Reducción de las emisiones de CO₂ en comparación con una caldera de gas y una caldera de aceite=49% y 60% respectivamente
- Ahorro de energía=60%
- SPF (calefacción)=4,1

6.3.2.2.3 Mercado GCHP en Suecia

- Desde casas pequeñas con un pozo hasta casas de viviendas más grandes que requieren varios pozos
- La profundidad típica de los pozos es de 100-200m con tubos de una sola U sin lechada sumergidos en una capa freática poco profunda.

En términos de eficiencia:

- El tiempo de amortización=7-8 años
- COP=6

6.4 IRENA Project Navigator

La Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA dispone de una plataforma en su web, IRENA Project Navigator, que proporciona información, herramientas y orientación, de fácil acceso, para ayudar en el desarrollo de proyectos de energía renovable financiados.

La plataforma permite aumentar los flujos de financiamiento hacia proyectos de energía renovable, el fortalecimiento de la base de desarrollo de proyectos nacionales y la difusión de las mejores prácticas para el desarrollo de proyectos de energía renovable.

Dicha plataforma permite acceder a un buscador de fondos de financiamiento al que se le pueden aplicar dos filtros: la tecnología a desarrollar, en este caso la energía geotérmica, y la región o país al que se le aplica, España.

Si aplicamos los filtros mencionados aparecen los siguientes fondos de inversión disponibles:

Tabla 3 Fondos de Inversión disponibles en España en IRENA Project Navigator

| Title | Organisation |
|---------------------------------|--|
| Clean Technology Fund (CTF) | World Bank group |
| Symbid | Symbid |
| Global Environment Facility | Global Environment Facility (GEF) secretariat |
| IFC InfraVentures | International Finance Corporation (IFC) |
| Green For Growth Fund | Oppenheim Asset Management Services S.à r.l., Luxembourg |
| European Energy Efficiency Fund | Fund initiated by European Commission and EIB. Current management board is appointed |
| IRENA/ADFD Project Facility | IRENA and ADFD |

Fuente 13 IRENA Project Navigator

Encontramos 7 planes de financiación distintos, que a su vez, promocionan diferentes organizaciones. El primer plan que se lanzó, en el año 2008, fue el de Clean Technology Fund (CTF), el cual cuenta con un amplio fondo de inversión de 5.200 millones de dólares, sin embargo el tamaño máximo de las inversiones son de hasta 50 millones y están destinadas al sector privado, este plan también ofrece asistencia técnica si fuese necesario.

Para obtener el plan ofrecido por Symbid, es necesario adquirir un mínimo del 15% de la inversión antes de poder obtener la ayuda. Su sistema de financiación es a través del crowdfunding, y una vez superada la barrera inicial se hace público el proyecto para recibir el resto de la ayuda.

Otro plan disponible es el de Global Environment Facility (GEF) es una organización que trabaja desde 1991 desarrollando proyectos en países en vías de desarrollo. Ofrecen subvenciones y coinversiones. Los valores medios de las ayudas que ofrecen son de alrededor de unos 4,6 millones de dólares

IFC InfraVentures (Fondo de Desarrollo de Proyectos de Infraestructura Global de IFC) ayuda a desarrollar asociaciones público-privadas y proyectos privados para infraestructura en los países más pobres. Proporciona capital de riesgo en la etapa inicial y participa activamente en la fase de desarrollo del proyecto para crear proyectos de infraestructura privada que sean comercialmente viables y capaces de lograr el cierre financiero más rápidamente.

Green For Growth Fund (GGF) es una asociación público-privada innovadora establecida para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂. GGF proporciona refinanciamiento a instituciones financieras para mejorar su participación en los sectores de energías renovables. El tamaño de la subvención que ofrecen es de hasta 10 millones de euros.

El Fondo Europeo de Eficiencia Energética (EEEEF), a través de financiación por parte de diversos bancos (Banco Europeo de Inversiones, Cassa Depositi e Prestiti SpA y Deutsche Bank) y la Comisión Europea, ofrece préstamos para desarrollar proyectos que ayuden a cumplir los objetivos ambientales europeos. Se financian proyectos de entre 5 y 25 millones de euros

El Servicio de Proyectos IRENA/ADFD financia proyectos de energía renovable en países en desarrollo. El plan se lanzó en 2012 y gestiona un fondo de 350 millones de dólares, de los cuales, asigna 50 millones anualmente en forma de préstamos que pueden durar hasta 20 años.

7 Estado actual de la energía geotérmica en Baviera, Alemania

Para el año 2016 existían 180 centrales geotérmicas de uso directo en Alemania, la profundidad de sus instalaciones es de alrededor de los 400-5.000m. La potencia acumulada entre todas ellas es de hasta 394,6MWt. Su producción energética anual fue de 1.377,5MWt en 2017⁸.

Mientras que en 2018 solo existían 9 instalaciones para aprovechamiento eléctrico. La primera de ellas construida en 2003 en Neustadt-Glewe con una capacidad de 230KWe, las dos siguientes, ubicadas en Landau y Unterhaching, ambas con una capacidad de 3MWe y operativas desde 2008 y 2009 respectivamente. La suma del potencial energético de todas las plantas eléctricas es de 38MWe. Obteniendo un beneficio energético en 2017 de 159,8GWh.

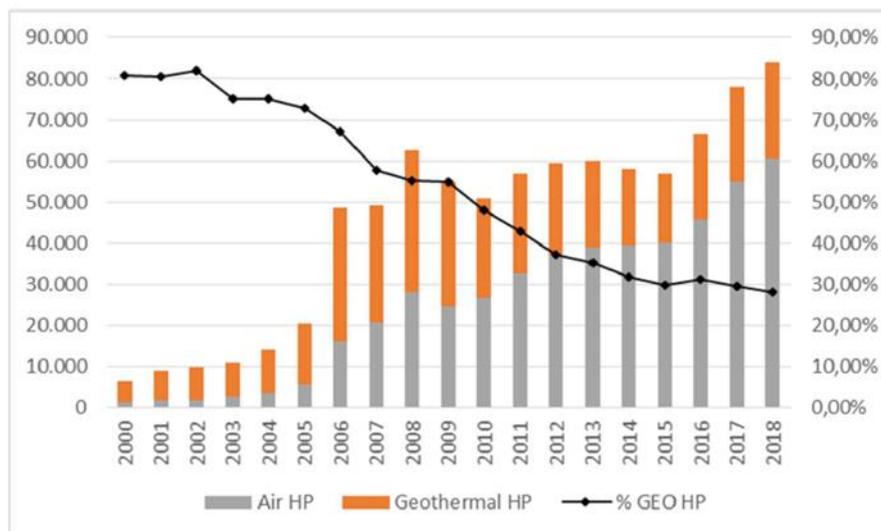
Sin embargo, existen multitud de instalaciones a mediana y pequeña escala descentralizadas, que aprovechan el recurso geotérmico con bombas de calor. Lo que implica que, la suma de capacidades de todas las instalaciones de uso directo de energía geotérmica en Alemania sea mucho mayor, 4.400MWt, con una contribución energética para el año 2018 de 6,6MWh.

Esto se debe a que el desarrollo de pequeñas instalaciones se viene desarrollando desde mediados de 1990. Se desconoce la cantidad exacta de instalaciones descentralizadas en Alemania, es por ello, que se realizaron estimaciones en base al número de ventas. Se estima que en 2008 se instalaron 34.500 pequeñas instalaciones y que la capacidad de estas instalaciones es de alrededor de los 10-15KWt. Sin embargo, para el año 2018, las ventas fueron de 84.000 bombas de calor, lo que marca una clara línea exponencial.

La forma de aprovechamiento más extendida en Alemania del recurso geotérmico en forma de calor es de manera centralizada, y combinada con otras formas de generación de calor.

Por lo general, la bomba de calor geotérmica en Alemania en pequeñas instalaciones suele utilizarse, en intercambiadores de calor en pozos o colectores horizontales (en sistemas de salmuera/agua).

Gráfica 7 Crecimiento del uso de la bomba de calor en Alemania



Fuente 14 Geothermal Energy Use, Country Update for Germany 2016 – 2018

Para el año 2018, se estimaba que podrían estar funcionando 382.000 BCG. De todas ellas, 333.500 funcionaban con el sistema salmuera/agua, mientras que 48.500 funcionaban con el sistema agua/agua

7.1 Instalaciones geotérmicas en Alemania

Actualmente se encuentran operativas 60 instalaciones geotérmicas en la región de Baviera, mientras que dos de ellas están en fase de construcción y cuatro de ellas no se encuentran operativas¹⁹.

El uso del recurso geotérmico, no es solo para sistemas de calefacción, ya que el 61,6% de las instalaciones son salas termales, siendo solo el 33,3% para uso de calefacción y el resto, 3 instalaciones, son de generación eléctrica.

Las instalaciones eléctricas son de una capacidad de entre 5-6MWe, con una producción eléctrica de alrededor de los 30GWe. Las temperaturas alcanzables en todos los casos es de alrededor de los 140°C y la profundidad de las perforaciones de alrededor de los 3.500m.

Por otra parte, la gran cantidad de salas termales en Baviera se debe a que los requisitos necesarios para su desarrollo son más fáciles de encontrar. Los caudales necesarios son inferiores a los 17m/s, y las temperaturas, a partir de los 20°C pueden ser válidas.

En cuanto a las *district heating*, la mayoría de ellas son de uso único, sin embargo, algunas de ellas tienen otros usos secundarios, ya sea para producción eléctrica, uso en invernaderos, o bien, spas.

En la siguiente tabla se muestra información de todas las instalaciones *District heating* de la región de Baviera, algunas de ellas con un uso secundario.

Tabla 4 District heating activos en Baviera

| Nombre | Uso primario | Uso secundario | Temperatura (°C) | Caudal (l/s) | Profundidad (m) | Capacidad geotérmica (MWt) | Capacidad total (MWt) | Producción anual (GWh) |
|---------------------|--------------------|----------------------|------------------|--------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Aschheim | Calefacción urbana | | 87,1 | 84,7 | 2.630,0 | 10,7 | 44,5 | 64,69 |
| Erding | Calefacción urbana | Spa | 65 | 48 | 2.240,0 | 10,2 | 48,8 | 27,15 |
| Freiham | Calefacción urbana | | 91,87 | 120 | 2.517,8 | 13 | 78 | 82 |
| Garching | Calefacción urbana | | 75 | 100 | 2.226,3 | 7,95 | 27,95 | 30,7 |
| Grünwald (Laufzorn) | Calefacción urbana | Generación eléctrica | 135 | 132 | 3.755,2 | 40 | 73 | 87,76 |
| Holzkirchen | Calefacción urbana | Generación eléctrica | 157 | 65 | 5.078,0 | 24 | 24 | 40 |
| Ismaning | Calefacción urbana | | 78 | 85 | | 7,2 | 22 | 32 |
| Kirchweidach | Calefacción urbana | Invernadero | 127 | 80 | | 30,6 | 30,6 | 88,35 |
| München Riem | Calefacción urbana | | 98,4 | 85 | 2.747,0 | 13 | 51 | 72 |
| Poing | Calefacción urbana | | 85 | 100 | 2.790,0 | 9 | 39 | 33,8 |
| Pullach | Calefacción urbana | | 107 | 93 | 3.443,0 | 16 | 33,5 | 61,7 |
| Simbach-Braunau | Calefacción urbana | | 81,7 | 90 | 1.941,8 | 9 | 46,2 | 46,33 |
| Straubing | Calefacción urbana | Spa | 36,5 | 31,4 | 824,8 | 2,1 | 7,33 | 2,9 |
| Taufkirchen | Calefacción urbana | Generación eléctrica | 136 | 120 | 3.696,0 | 40 | 40 | 44,9 |
| Traunreut | Calefacción urbana | Generación eléctrica | 120 | 168,6 | 4.560,0 | 12 | 13,9 | 31,4 |
| Unterföhring | Calefacción urbana | | 87 | 75 | | 10 | 30 | 20,9 |
| Unterföhring II | Calefacción urbana | | 93 | 90 | | 11,3 | 31,3 | 34,8 |
| Unterhaching | Calefacción urbana | | 123,7 | 140 | 3.350,0 | 38 | 83 | 118,9 |
| Unterschleißheim | Calefacción urbana | | 80 | 93,3 | 1.960,0 | 8 | 33,4 | 39,86 |
| Waldkraiburg | Calefacción urbana | | 111,5 | 80 | | 14 | 18,5 | 24,5 |

Fuente 15 Web GeotIS

Por otra parte, de las tres plantas de producción eléctrica geotérmicas, una de ellas aprovecha el calor residual para calefacción. La información de estas instalaciones:

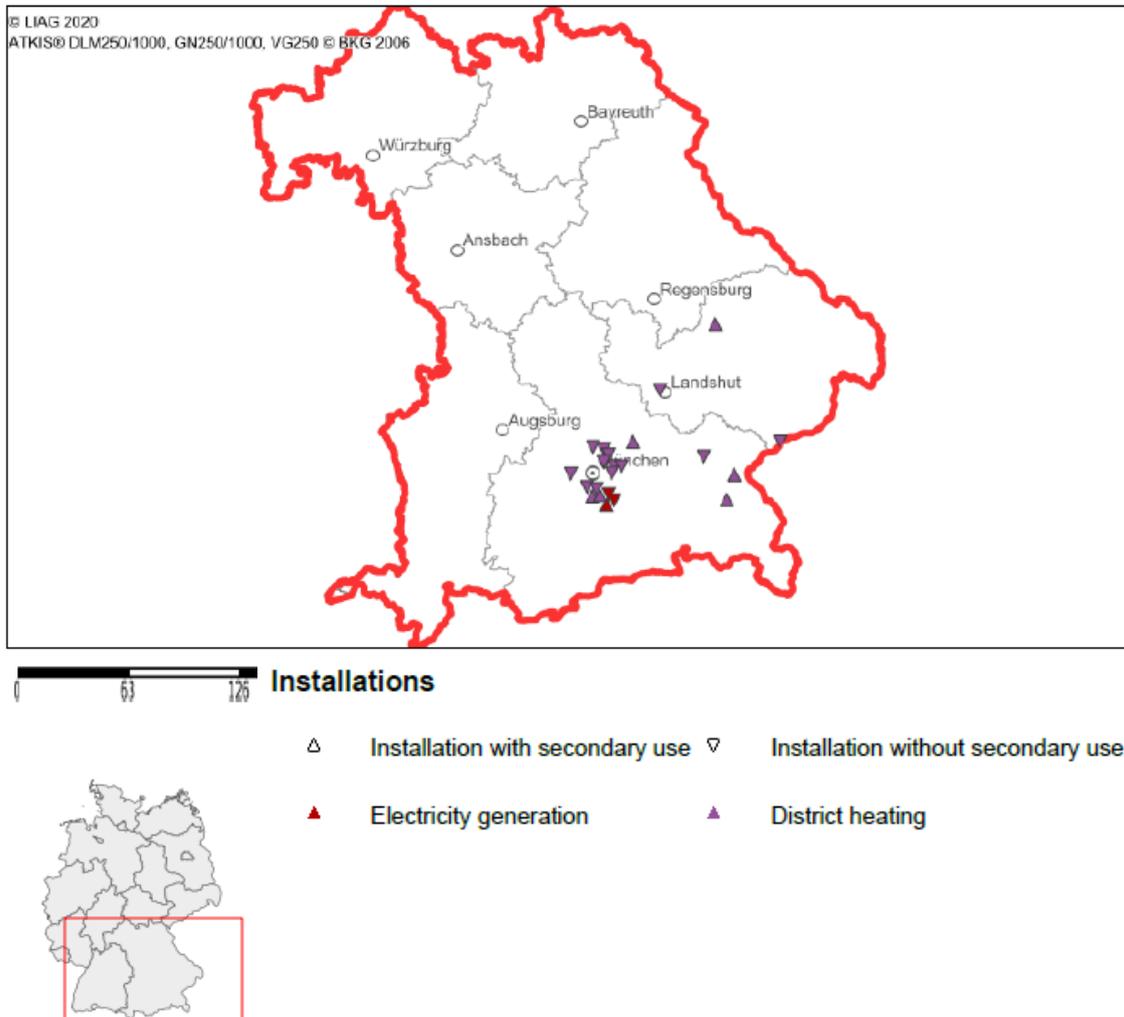
Tabla 5 Plantas de producción eléctrica geotérmicas en Baviera

| Nombre | Uso primario/secundario | Temperatura (°C) | Caudal (l/s) | Profundidad (m) | Capacidad geotérmica (MWt) | Capacidad total (MWt) | Producción anual (GWh) | Capacidad (Mwe) | Producción anual (GWh) |
|---------------|---|------------------|--------------|-----------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Dürrnhaar | Generación eléctrica | 141 | 135 | 3241 | | | | 6 | 36 |
| Kirchstockach | Generación eléctrica | 141 | 135 | 3649 | | | | 6 | 30 |
| Sauerlach | Generación eléctrica/ Calefacción urbana | 140 | 110 | | 4 | 4 | 8 | 5 | 28 |

Fuente 16 Web GeotIS

El siguiente mapa muestra la ubicación de este tipo de instalaciones en la región de Baviera, se observa, que la mayoría de ellas se encuentran en la zona de Oberbayern, y tres de ellas en Landshut

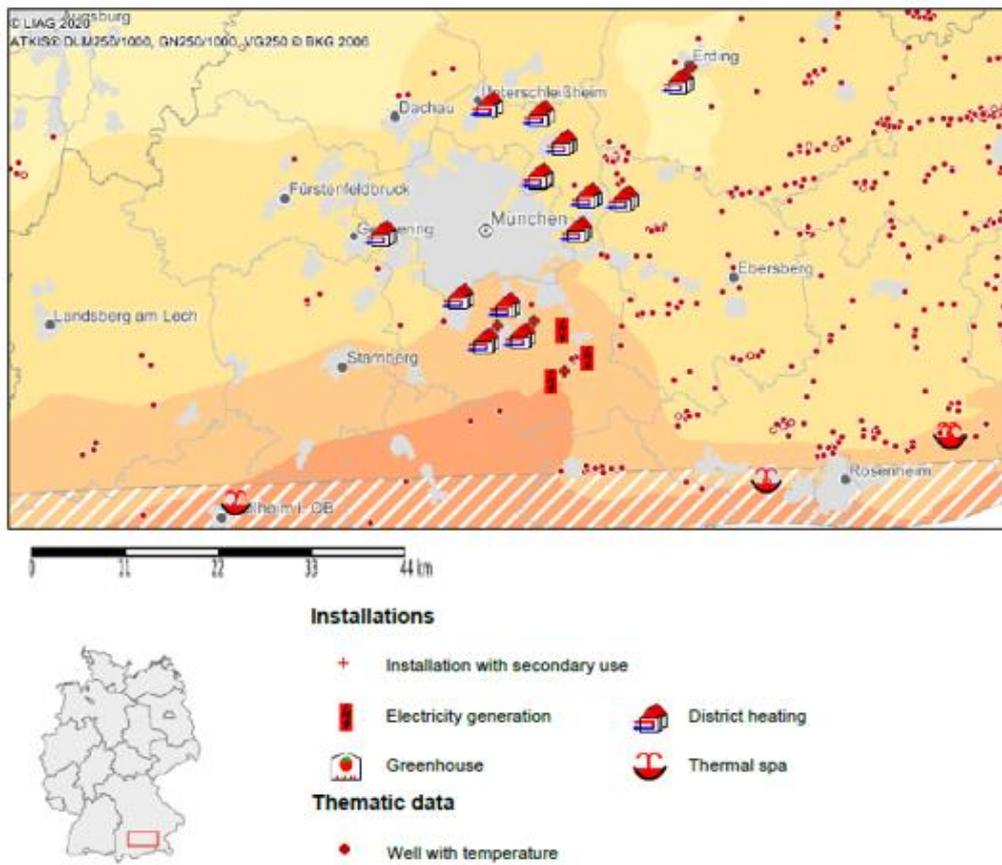
Ilustración 5 Localización de los district heating y puntos de generación eléctrica con geotermia



Fuente 17 Web GeotIS

Si además interesa conocer el número de pozos para uso geotérmico en la zona de Múnich, podemos comprobar que la presencia de estos es muy habitual en todo el territorio.

Ilustración 6 Instalaciones geotérmicas y pozos en Múnich



Fuente 18 Web GeotIS

8 Estado actual de la energía geotérmica en la Región de Murcia

Las zonas de mayor potencial en la Región de Murcia están en los Mazones y Cabecico del Rey, pero el resto del territorio está caracterizado por ser zonas de baja temperatura.

El potencial geotérmico murciano, no es muy alto, como se comentaba anteriormente, las Cordilleras Béticas disponen de zonas de media y baja temperatura según los estudios realizados por el IGME en los años setenta.

Aun así, ya existen precedentes geotérmicos en la región murciana. En el municipio de Arcehna, existe una pequeña instalación para calefacción, ACS y Balneoterapia. Su potencia instalada es de 960KW, con un caudal medio de 6l/s y una energía de sustitución de 435tep/año⁷.

Por otro lado, en el Campo de Cartagena, se aprovecha la geotermia en invernaderos, con una potencia instalada de 12.550KW, sustituyendo una energía de 1.400tep/año y con un caudal medio de 60l/s.

8.1 Áreas geotérmicas murcianas

El Instituto Geológico y Minero de España identificó dos áreas de interés en la Región de Murcia.

Tabla 6 Áreas de interés geotérmico en la Región de Murcia

| | Campo de Cartagena | Cuenca de Mula |
|-------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Almacén | Carbonatos del Triásico y Terciario | Calizas del Jurásico y Terciario |
| Profundidad | 250-1.000 metros | 350-1.000 metros |
| Temperatura | 35-55°C | 35-55°C |
| Salinidad | 3-10 g/l | 2-4g/l |

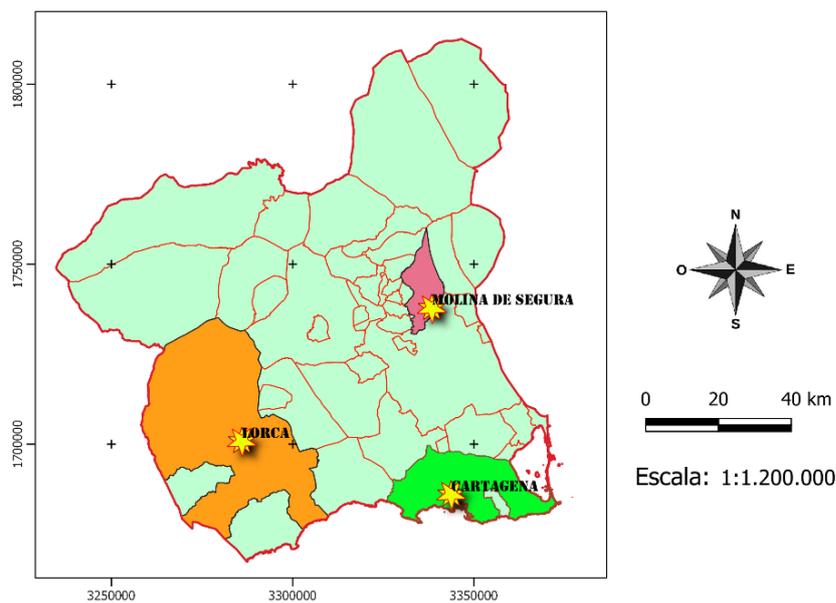
Fuente 19 Instituto Geológico y Minero de España⁷

9 Localidades de estudio

Las localidades seleccionadas para este estudio, son zonas que tienen algunas similitudes entre ellas, y permiten un mejor estudio comparativo: espacio entre viviendas que permite la instalación de la BCG, barrios con viviendas unifamiliares y el tamaño de la selección de viviendas. El elemento principal a tener en cuenta, ha sido el tipo de vivienda, siendo estas de tipo unifamiliar. Este tipo de viviendas facilita la implementación de la geotermia para su uso en sistemas de climatización.

Además, se trata de viviendas en barrios fuera del centro, que poseen una menor densidad de población con extensiones no superiores a los 3km². En la Región de Murcia las zonas escogidas son: Molina de Segura, Cartagena y Lorca.

Ilustración 7 Localidades murcianas de estudio seleccionadas

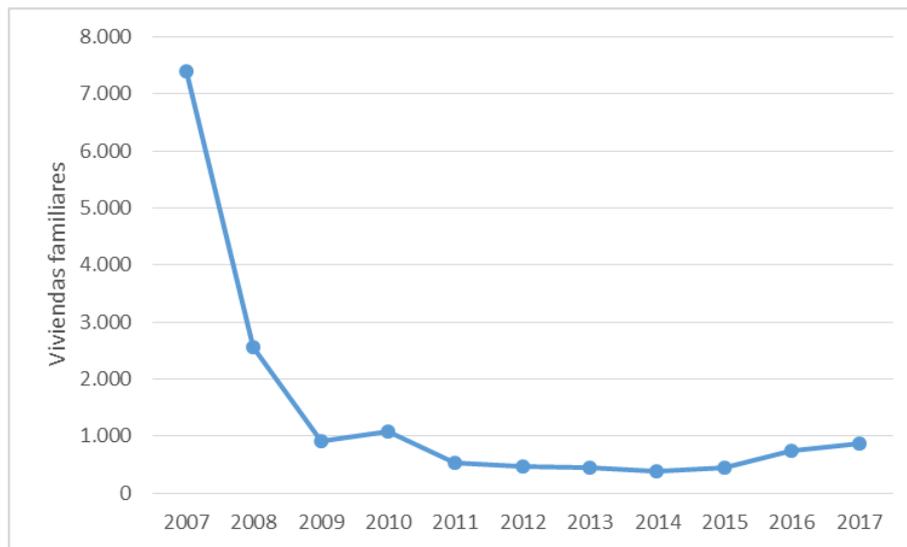


Fuente 20 Elaboración propia

La zona seleccionada de Molina de Segura se trata de una urbanización llamada Altorreal. Por otro lado, la zona de Cartagena se encuentra ubicada en el distrito III de la ciudad, en la Barriada Hispanoamérica. Y la zona de Lorca, se encuentra en el distrito II en La isla de las alamedas.

En cuanto a la alternativa de actuar sobre edificios de nueva construcción, las posibilidades se ven menguadas después de la crisis inmobiliaria que se vivió en España. La evolución de edificios a construir de carácter residencial, vivienda familiar en la Región de Murcia es la siguiente:

Gráfica 8 Evolución de viviendas familiares a construir en la Región de Murcia



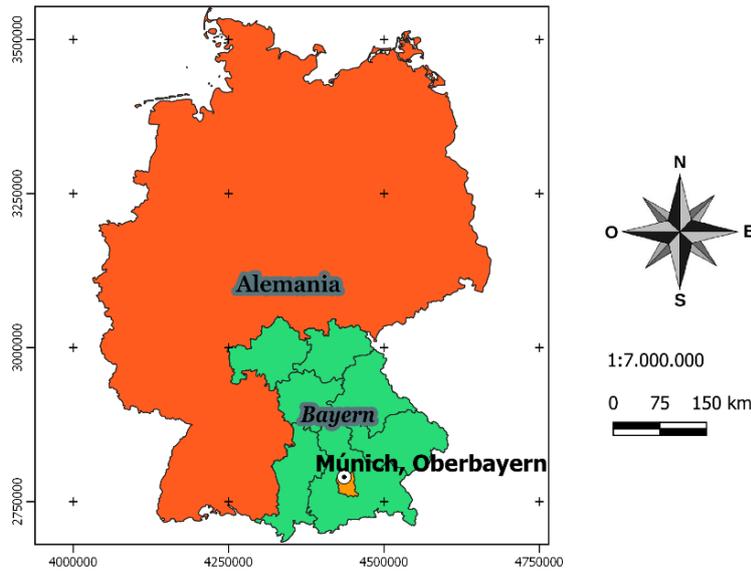
Fuente 21 Elaboración propia, datos del Centro Regional de Estadística de Murcia

Se observa que, a partir del año 2008, la construcción en la Región de Murcia, sufre una gran recesión, y que hasta el año 2014 mantiene este descenso, hasta llegar a mínimos de 389 viviendas familiares, pero estancándose en los años siguientes, llegando a 858 viviendas familiares construidas en 2017, nada que ver con los 7.395 viviendas que se construyeron en 2007.

Es por ello, que cobra especial interés actuar sobre edificios ya construidos, y en la medida de lo posible actuar sobre los de nueva construcción.

Por otra parte, para el estudio comparativo con una zona alemana, se ha seleccionado un área de Múnich en la región de Baviera, con las mismas similitudes. Se ha escogido Múnich porque la ciudad Bávara es un ejemplo de implementación de la geotermia en los hogares y tiene un modelo maduro y consolidado que puede extrapolarse a las zonas murcianas.

Ilustración 8 Localidad alemana de estudio seleccionada



Fuente 22 Elaboración propia

En coordenadas estas ubicaciones se encuentran en:

Tabla 7 Ubicación geográfica de las zonas de estudio

| | Latitud | Longitud |
|------------------|-----------------|----------------|
| Cartagena | 37° 36' 57,6" N | 1° 1' 37,2" W |
| Lorca | 37° 40' 15,6" N | 1° 41' 38,4" W |
| Molina de Segura | 38° 4' 30" N | 1° 9' 46,8" W |
| Múnich | 48° 12' 36" N | 11° 32' 45" E |

Fuente 23 Elaboración propia

9.1 Extensión y viviendas seleccionadas

Para poder medir el impacto que tendría actuar sobre las zonas murcianas de selección, es necesario comparar las áreas y viviendas seleccionadas con respecto a las parcelas catastrales y la superficie de cada localidad. Si bien, los datos para la Región de Murcia son (según el Centro Regional de Estadística de Murcia) para el año 2017:

Tabla 8 Parcelas catastrales y área territorial de las zonas murcianas

| | 2017 | |
|------------------|----------------------|----------------------------------|
| | Parcelas catastrales | Superficie del suelo (hectareas) |
| Cartagena | 59.235 | 5658,8 |
| Lorca | 28.860 | 3018,6 |
| Molina de Segura | 22.497 | 2701,8 |

Fuente 24 Centro Regional de Estadística de Murcia

Y el número de viviendas y el tamaño de la parcela seleccionada en cada municipio es de:

Tabla 9 Área y número de viviendas seleccionadas en la Región de Murcia

| | Parcela seleccionada (km ²) | Nº viviendas |
|------------------|---|--------------|
| Cartagena | 1,85 | 1.404 |
| Lorca | 0,65 | 236 |
| Molina de Segura | 1,15 | 1.270 |

Fuente 25 Elaboración propia

Tenemos en números relativos, que la repercusión de la actuación será de:

Tabla 10 Área y número de viviendas de actuación en datos relativos

| | Parcela seleccionada | Nº viviendas |
|------------------|----------------------|--------------|
| Cartagena | 3,27% | 2,37% |
| Lorca | 2,16% | 0,82% |
| Molina de Segura | 4,25% | 6,15% |

Fuente 26 Elaboración propia

Mientras que, en la zona de Baviera se seleccionaron:

Tabla 11 Área y número de viviendas seleccionadas en Baviera

| | Parcela seleccionada (km ²) | Nº viviendas |
|--------|---|--------------|
| Múnich | 3,57 | 1.403 |

Fuente 27 Elaboración propia

9.2 Características climáticas de la Región de Murcia y Baviera

A pesar de ligeras diferencias, la climatología de todos los municipios de la Región de Murcia es bastante similar. Se caracteriza por no tener muchas precipitaciones. Los inviernos son suaves, sin embargo, en años cálidos las temperaturas pueden ser superiores a los 22 °C durante varios meses al año, lo que exige una mayor demanda en sistemas de refrigeración.

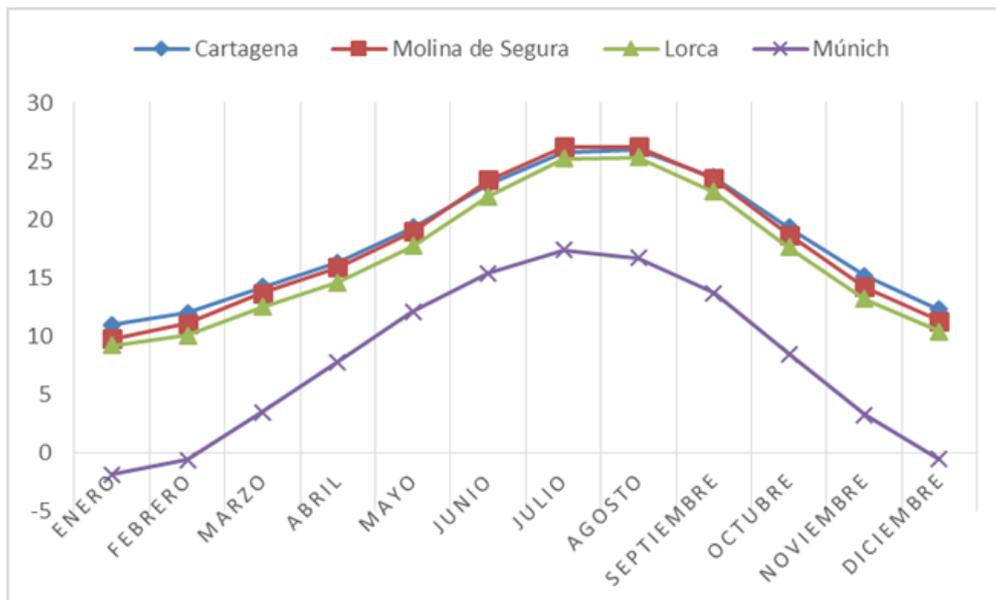
La región de Baviera está formada por grandes municipios como Múnich, Núremberg, Augsburg y Ratisbona entre otros; y abarca una superficie de hasta casi 7 veces más que la Región de Murcia, 70.550Km².

Por eso, para no generalizar el caso, nos centraremos en Múnich en particular. Múnich es una ciudad con temperaturas moderadas en verano y frías en invierno. Además, tiene varias precipitaciones a lo largo del año.

Estas diferencias climatológicas se explican fundamentalmente por la diferencia entre ambas con respecto a la línea ecuatorial. Lo que conlleva una mayor captura de irradiación en la región murciana debido a su cercanía y tener climas más gélidos en Múnich.

A continuación, se muestra una gráfica que muestra los valores medios de temperatura por mes en las diferentes localidades.

Gráfica 9 Temperaturas medias por meses en las zonas seleccionadas



Fuente 28 Elaboración propia, datos: web climate-data.org

La necesidad energética de Múnich es fundamentalmente de calor, exceptuando días aislados en los que la temperatura pueda ser ligeramente mayor de lo habitual, siendo de 27°C la temperatura más extrema que nos podamos encontrar.

10 Eficiencia energética en los edificios

Es importante conocer las características generales de los edificios de las zonas de estudio para estimar la eficiencia energética que ofrecen.

El criterio de calificación energética de los edificios viene determinado por la siguiente tabla:

Tabla 12 Calificación de eficiencia energética de edificios destinados a viviendas

| Calificación de eficiencia energética del edificio | Índices de calificación de eficiencia energética |
|--|--|
| A | $C1 < 0,15$ |
| B | $0,15 \leq C1 < 0.50$ |
| C | $0.50 \leq C1 < 1.00$ |
| D | $1.00 \leq C1 < 1,75$ |
| E | $C1 > 1,75$ y $C2 < 1.00$ |
| F | $C1 > 1,75$ y $1.00 \leq C2 < 1.5$ |
| G | $C1 > 1,75$ y $1.50 \leq C2$ |

Fuente 29 Procedimiento básico para la aprobación de la eficiencia energética de los edificios

La calificación que obtenga cada edificio será la correspondiente al coeficiente que se obtenga de las siguientes ecuaciones. Siendo la calificación más alta la A y la más baja la G.

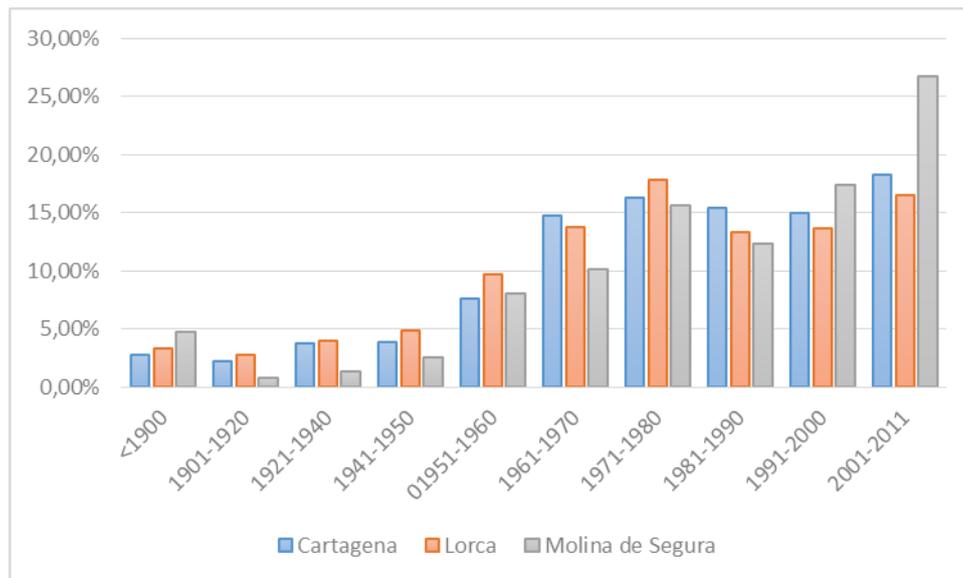
Este estudio al analizar conjuntos de viviendas de manera colectiva y por municipios, impide conocer de manera precisa la calificación energética de los edificios seleccionados, ya que en el mismo conjunto se encontrarán viviendas con diferentes tipos de calificación energética. Lo que sí se puede hacer, es analizar datos estadísticos sobre la evolución de la vivienda y obtener conclusiones en función de las tendencias constructivas.

10.1 Estado actual de los edificios de la Región de Murcia

El Centro Regional de Estadística de Murcia en su página web ofrece multitud de información que sirve para conocer las características que permiten conocer la situación de la vivienda en la Región de Murcia, y en particular de los municipios de Cartagena, Lorca y Molina de Segura. A continuación se muestra información obtenida de dicha web y del Instituto Nacional de Estadística, y analizada y representada de manera gráfica para su mejor comprensión.

En primer lugar, se identifican las décadas del último siglo con mayor tasa de edificación de viviendas. Destacan dos décadas la del 60' y la del 70', años en los que comenzó una expansión económica española que se vio reflejada en el sector de la construcción.

Gráfica 10 Evolución de la construcción en los municipios seleccionados de la Región de Murcia



Fuente 30 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

El pico máximo de edificios construidos en Molina de Segura fue entre 2001 y 2011, siendo especialmente importante en Molina de Segura con un pico de 4.662 nuevos edificios y una diferencia con respecto a su década más próxima en términos de edificación de 1.631 edificios. Es decir, el municipio de Molina, ha presentado un desarrollo importantísimo en los últimos años por lo que podemos deducir que sus viviendas son modernas y eficientes energéticamente.

En el caso de Cartagena la edificación ha sido constante durante 50 años, hasta la llegada de la crisis inmobiliaria, obteniendo su registro más alto también en la primera década de los 2000 con 10.238 edificios registrados.

En cuanto a Lorca, tuvo una alta expansión de crecimiento a finales del siglo XX, obteniendo su valor más alto en edificación en la década de los 70' con un total de 3.500 edificios construidos.

Para las tres localidades, más del 60% de los edificios existentes fueron edificados a partir de la década de los 70', por lo que, podemos deducir que el estado general de la vivienda en la Región de Murcia es bueno. Esta información la refleja el Centro Regional de Estadística de Murcia que indica que el estado de los edificios es el siguiente:

Tabla 13 Estado actual de los edificios de los municipios seleccionados

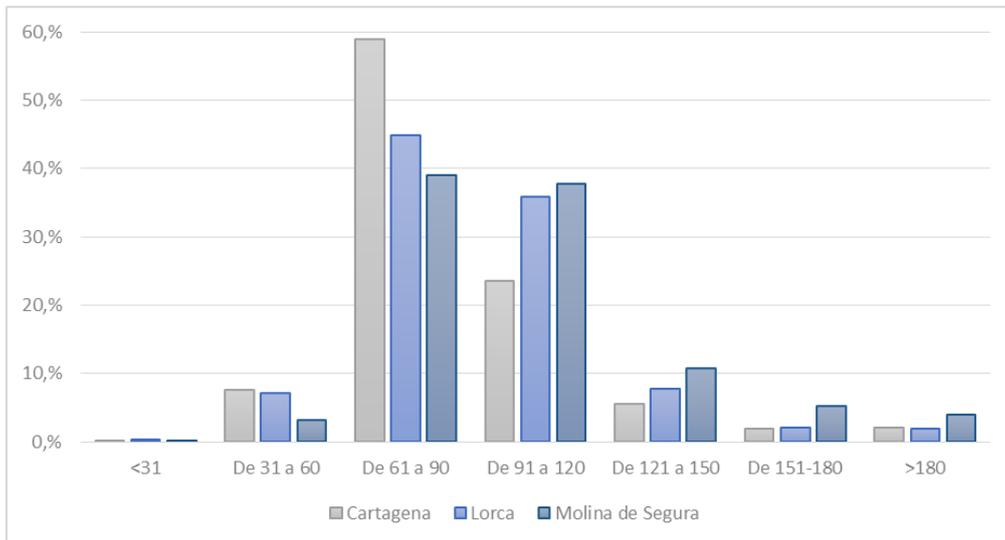
| | Ruinoso | Malo | Deficiente | Bueno |
|------------------|---------|-------|------------|--------|
| Cartagena | 0,16% | 0,69% | 4,57% | 94,57% |
| Lorca | 0,37% | 1,69% | 9,46% | 88,48% |
| Molina de Segura | 0,25% | 0,59% | 3,69% | 95,47% |

Fuente 31 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

Como se explicaba anteriormente, el hecho de que el pico de construcción en el municipio de Lorca fuese en la década de los 70', implica que el estado general de sus viviendas sea ligeramente inferior que el de los municipios de Cartagena y Molina de Segura, siendo el de ambos de un estado bueno para cerca de 95% del total de las viviendas.

Si analizamos el tamaño superficial de las viviendas de los territorios murcianos, podremos deducir la cantidad de viviendas sobre las que se podrá realizar una implantación de instalaciones geotérmicas en los diferentes municipios (se han podido obtener estos datos hasta para el año 1991, por lo que no son de una exactitud total), ya que la existencia de viviendas unifamiliares con una superficie inferior a 150m² es escasa.

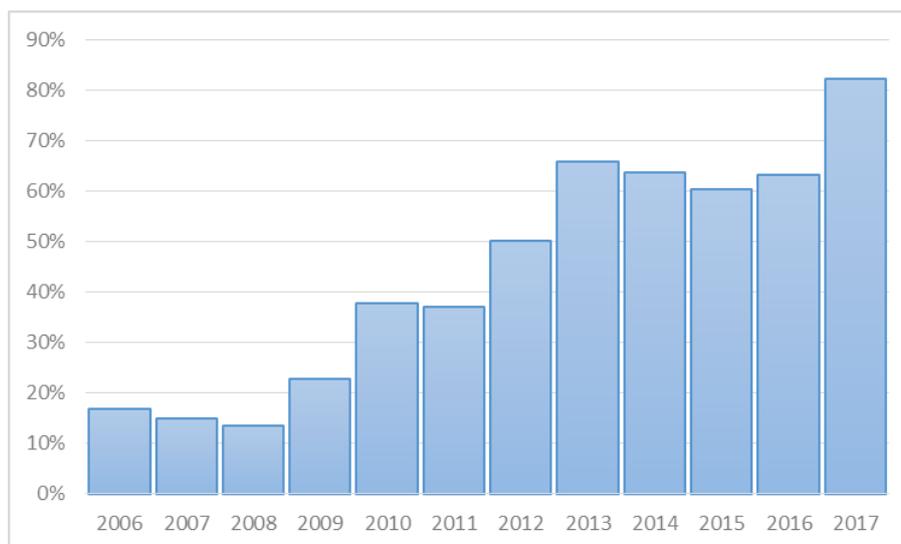
Gráfica 11 Tamaño superficial de las viviendas de los municipios seleccionados (m²)



Fuente 32 Elaboración propia, datos del Centro Regional de Estadística de Murcia

El porcentaje de viviendas con una superficie superior a los 150m² para 1991 era para Cartagena de solo el 4,02%, para Lorca del 4,05% y para Molina de Segura del 9,16%. Sin embargo, a partir del siglo XXI se le dio más importancia a la construcción de viviendas unifamiliares, de tal forma que la evolución del porcentaje de viviendas unifamiliares sobre el total de viviendas de nueva planta fue el siguiente:

Gráfica 12 Porcentaje de construcción de viviendas unifamiliares en la Región de Murcia



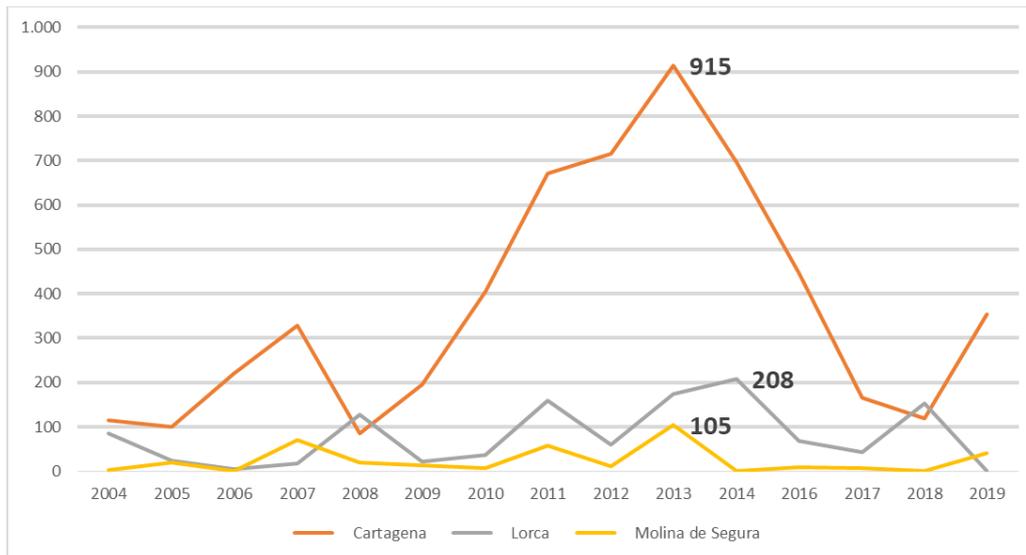
Fuente 33 Elaboración propia, datos del Centro Regional de Estadística de Murcia

De las viviendas construidas en la Región de Murcia a partir del 2013, más del 60% fueron unifamiliares. Aunque en datos absolutos fue en 2007 el año en que más viviendas unifamiliares

se construyeron en el periodo mencionado, con un total de 5.229 viviendas unifamiliares, mientras que en 2017, a pesar de suponer el 82,1% de las viviendas edificadas la cifra fue de tan solo 830 viviendas unifamiliares.

Además, hay que tener en cuenta que la eficiencia energética y la sostenibilidad de los edificios forma parte del interés general de la sociedad, tanto es así, que la rehabilitación de viviendas es una realidad en los municipios de estudio, siendo en Cartagena de especial relevancia. La siguiente gráfica muestra la cantidad de viviendas rehabilitadas en los diferentes municipios a lo largo de los últimos años.

Gráfica 13 Rehabilitación de viviendas en los municipios seleccionados



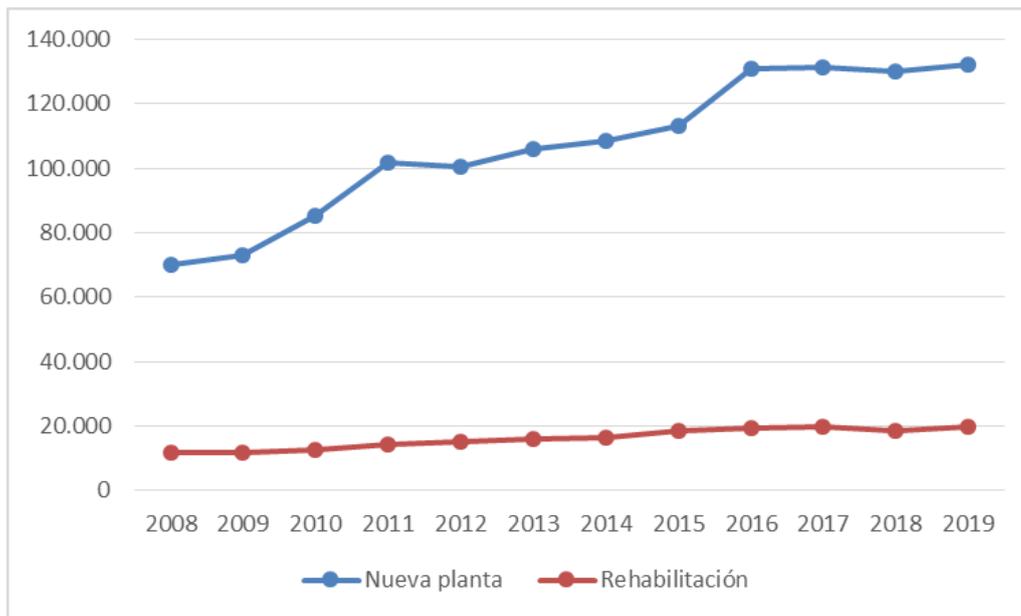
Fuente 34 Elaboración propia, datos del Centro Regional de Estadística de Murcia

Esta práctica tuvo un importante crecimiento de 2008 a 2013 en Cartagena, llegando a rehabilitarse hasta 915 viviendas en un mismo año, mientras que en Lorca y Molina de Segura presentan valores más estables, ofreciendo valores máximos de 208 y 105 viviendas respectivamente.

10.2 Estado actual de los edificios de la región de Baviera

La edificación en Baviera, a diferencia de España no ha sufrido ningún decrecimiento en la última década, sino, que ha mantenido una estabilidad en los últimos 4 años con construcciones de alrededor de los 130.000 edificios y apartamentos residenciales por año.

Gráfica 14 Evolución de la construcción de edificios y apartamentos residenciales en Baviera



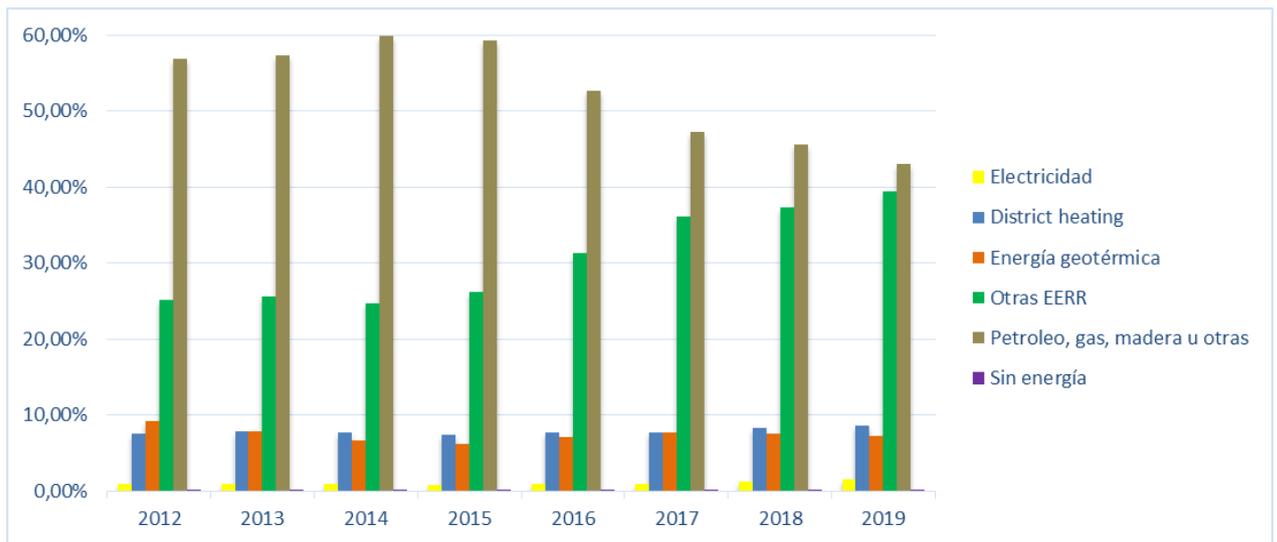
Fuente 35 Oficina Federal de Estadística alemana

En cuanto a la rehabilitación de edificios, también existe una presencia de ellos en la región, con un interés ligeramente creciente. Rehabilitándose alrededor de 20.000 edificios y apartamentos en la región cada año, esto implica que el parque de viviendas de la región alemana mejora en términos generales la eficiencia de sus edificios.

Su pertenencia a una zona climática fría y su gran dependencia de sistemas de calefacción, hace más importante que tengan sistemas sostenibles ambientalmente. En la siguiente gráfica, podemos observar el uso de diferentes energías y sistemas de calefacción como primera alternativa a su modelo energético.

Aún hoy, a pesar de tener una alta presencia el uso del *District heating*, el uso de fuentes energéticas convencionales es la alternativa más relevante en el país. Los combustibles derivados del petróleo, gas y madera representaron hasta 2016 más de un 50% de la totalidad. Sin embargo, desde 2017 el interés en estos combustibles ha ido disminuyendo, siendo restado por otras energías renovables (térmica ambiental, solar térmica, biogás, biometano y biomasa) mientras que el uso de electricidad, *district heating* o energía geotérmica para soluciones energéticas se ha mantenido estable desde 2012.

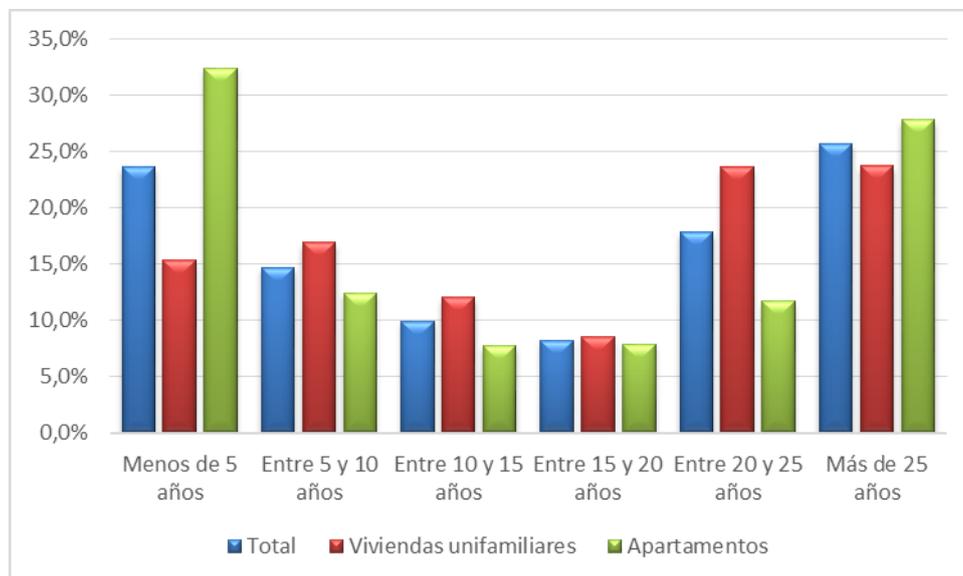
Gráfica 15 Evolución de energía primaria utilizada para calefacción en Alemania



Fuente 36 Oficina Federal de Estadística alemana

También resulta interesante conocer la antigüedad del sistema de calefacción en Baviera, casi el 50% del número total de viviendas tiene menos de 15 años de antigüedad, por lo que casi la mitad del parque de viviendas tiene un sistema de calefacción moderno y eficiente. Sin embargo en lo que respecta a edificios con más de 25 años, alrededor del 25% de los edificios tiene un sistema de calefacción antiguo, es decir, actuar en la sustitución de ese sistema de calefacción podría tener un impacto positivo en el impacto ambiental.

Gráfica 16 Antigüedad del sistema de calefacción en Baviera



Fuente 37 Elaboración propia, datos Wie heizt Bayern?

11 Potencial geotérmico de las localidades de estudio

En el siguiente apartado se recoge información que permite conocer la disponibilidad energética que se tiene en el interior de la tierra en las diferentes zonas de estudio. Para los dos subapartados se ha utilizado la misma metodología²¹ para la obtención del calor extraíble del subsuelo. Esta metodología está basada en la litología del subsuelo (tipo de roca y/o sedimento) y la presencia de agua subterránea. Una vez clasificado el suelo y el nivel de saturación asocia unos valores de capacidad de cesión de calor según la normativa alemana VDI 4640²².

11.1 Potencial geotérmico de las zonas de la Región de Murcia

Para la representación del potencial geotérmico de las zonas seleccionadas de la Región de Murcia se ha utilizado el estudio realizado por Adela Ramos Escudero en su TFM en 2011, titulado *Evaluación del potencial geotérmico de muy baja entalpía de la Región de Murcia mediante el uso de sistemas de información geográficos para la implantación de sistemas de climatización y ACS sistemas de para la ACS*.

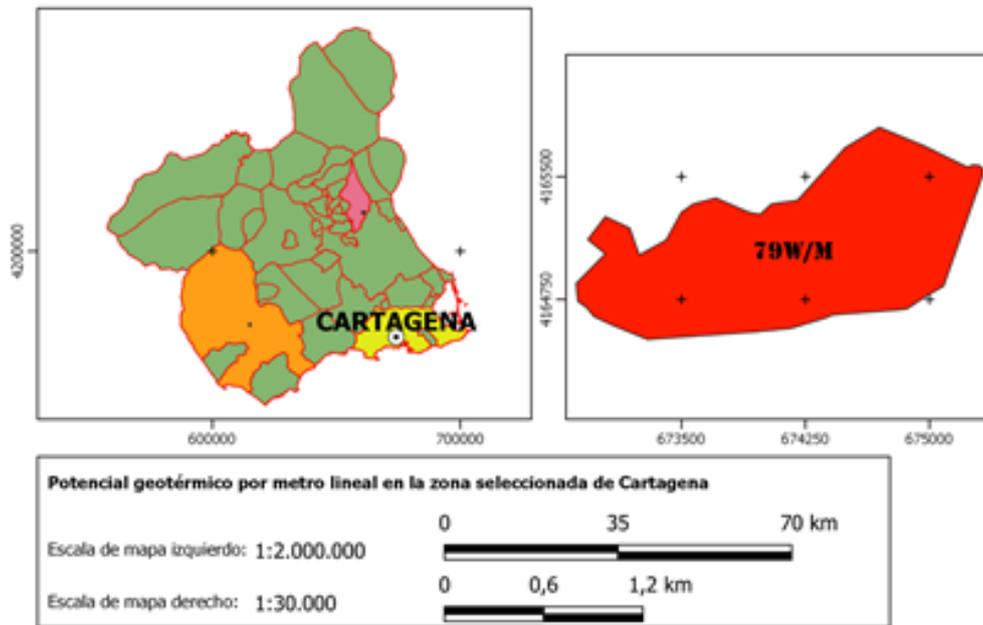
Dicho estudio, a partir de la base de datos del Instituto Geológico y Minero (IGME), obtiene información SIG que clasifica el suelo murciano según su litología. Por otra parte, en su análisis introduce como variable la profundidad de los acuíferos, según datos pertenecientes a la Confederación Hidrográfica del Segura.

Estos dos elementos de estudio, ligados a unas tablas que ofrece la normativa alemana, permiten obtener el calor específico extraíble del suelo (W/m). De este modo, se calculó el potencial geotérmico de la Región de Murcia para cada punto.

En las zonas de estudio de la Región de Murcia, las litologías encontradas fueron bastante homogéneas entre ellas, siendo mayoritariamente margas, gravas y arenas en las tres zonas, aunque una en Molina se encontró también una amplia zona de carbonatos. El nivel freático, por el contrario, varía mucho de unas zonas a otras. En la zona de Molina de Segura, el nivel freático está tan profundo que los materiales no se consideran saturados desde la superficie hasta los 100 metros; en la zona de Lorca, en cambio, encontramos materiales saturados a los 50 metros de profundidad; y por último, en la zona de Cartagena encontramos el freático a unos 80 metros de profundidad y por tanto únicamente los 20 metros más profundos se consideran saturados. Los potenciales geotérmicos obtenidos se muestran en las Ilustraciones 9, 10 y 11.

A continuación, se representa el potencial geotérmico disponible para las áreas en las que se encuentran las viviendas seleccionadas.

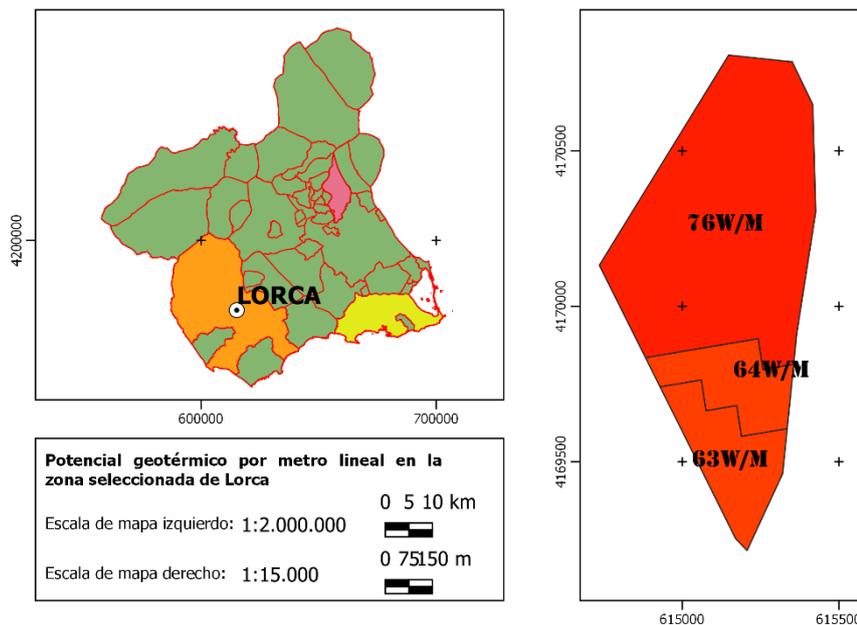
Ilustración 9 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Cartagena seleccionada



Fuente 38 Elaboración propia, datos: TFM de Adela Ramos Escudero

Para el caso de Cartagena (ilustración 9), el calor extraíble del subsuelo en toda su área de extensión, ofrece un único valor 79W/m.

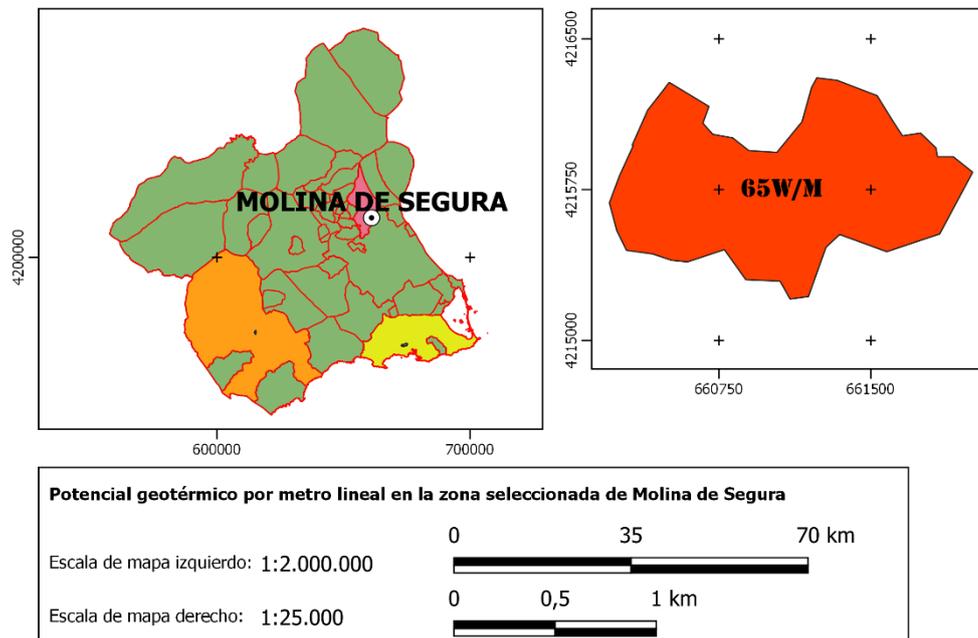
Ilustración 10 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Lorca seleccionada



Fuente 39 Elaboración propia, datos: TFM de Adela Ramos Escudero

Sin embargo, no ocurre lo mismo para la zona de Lorca (ilustración 10), que ofrece tres valores de calor extraíble distintos, todos ellos, con menor potencial que en Cartagena.

Ilustración 11 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Molina de Segura seleccionada



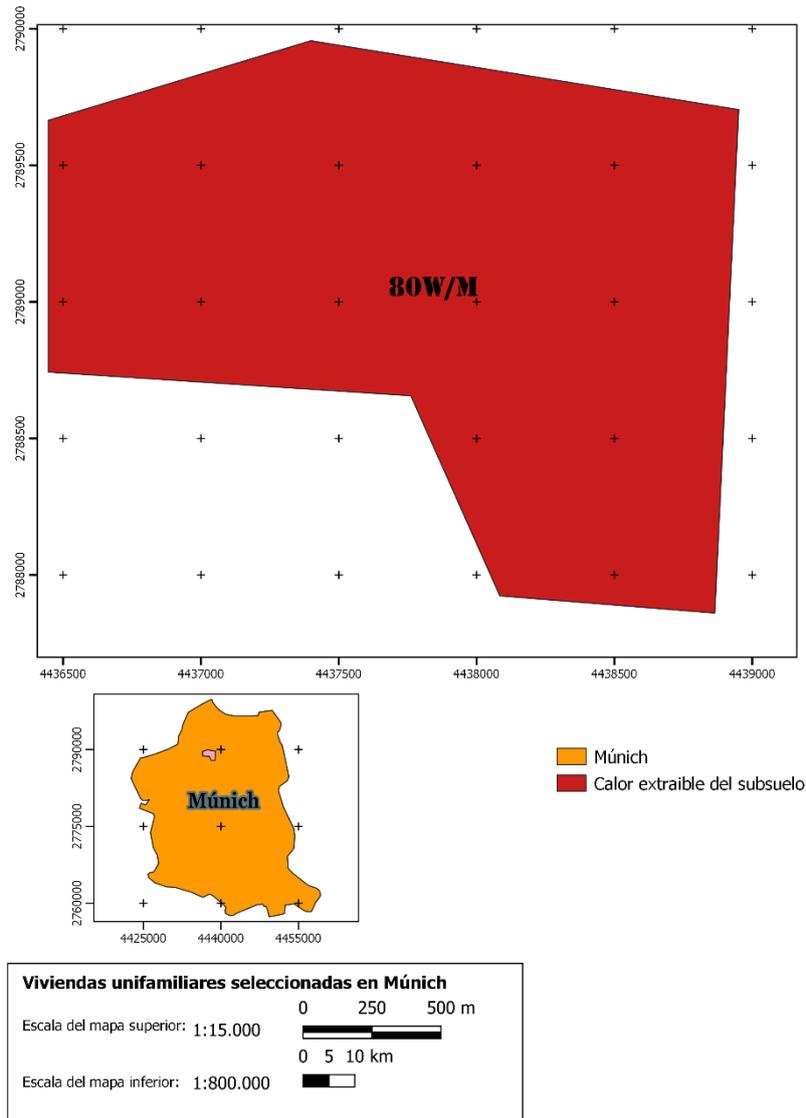
Fuente 40 Elaboración propia, datos: TFM de Adela Ramos Escudero

Para el caso de Molina de Segura (ilustración 11), de nuevo, se podrán extraer 69W/m en cualquier punto del territorio seleccionado.

11.2 Potencial geotérmico de la zona de Baviera

El potencial geotérmico que podemos obtener en la zona alemana seleccionada ha sido obtenido, según la metodología ya mencionada. El terreno seleccionado se trata de una litología constante en todo el municipio de Múnich formada por gravas y sedimentos. Esto, junto con la presencia de un nivel freático casi superficial, hace que el potencial geotérmico sea bastante elevado, de unos 80 W/m lineal de media (según la norma alemana VDI 4640), y queda representado.

Ilustración 12 Calor extraíble del subsuelo de la zona de Múnich seleccionada

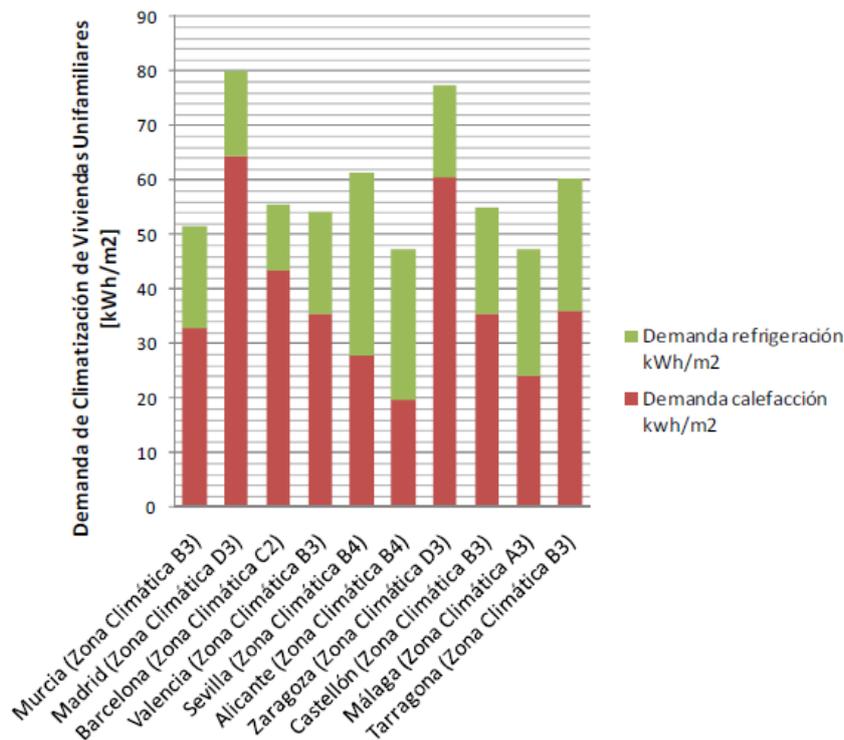


Fuente 41 Elaboración propia

12 Cálculo de la demanda energética para climatización

Las condiciones ambientales en las que se considera que la temperatura es idónea, se encuentran en el rango de entre 20-22°C. Se debe realizar el cálculo necesario de demanda energética que permita obtener esos valores. La siguiente gráfica muestra la demanda energética por metro cuadrado para viviendas unifamiliares en los principales municipios de España.

Gráfica 17 Demanda de Climatización de Viviendas Unifamiliares [KWh/m²]



Fuente 42 Plan de Acción de Energía Sostenible de Murcia²³

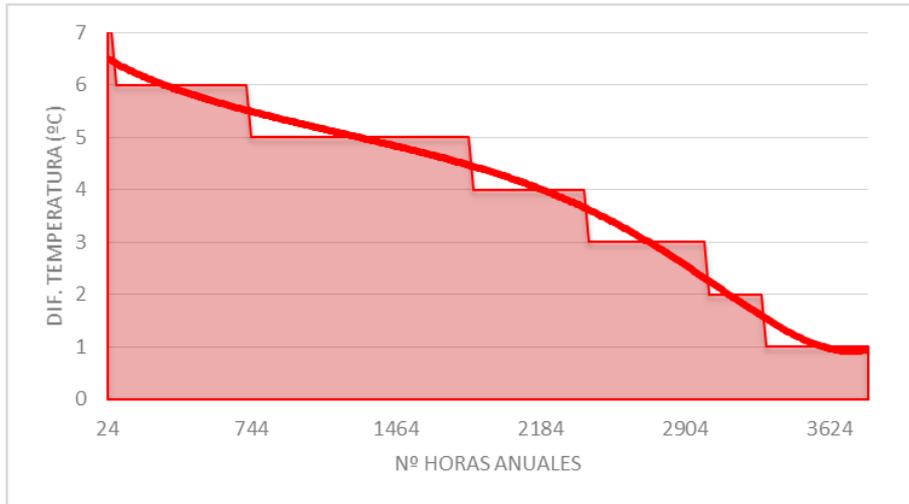
Se observa que la demanda energética en Murcia no es muy elevada en comparación con Madrid o Zaragoza, y que a pesar del clima caluroso se consume más en calefacción que en refrigeración.

12.1 Necesidad energética en °C a lo largo del año

Si analizamos el registro climático de las zonas de estudio a lo largo de todos los días del año podremos observar la cantidad de horas anuales que estaremos por debajo de las temperaturas ideales. Este valor indicará de manera aproximada la cantidad de horas que será necesario hacer uso del sistema de calefacción y permitiría obtener la demanda energética de una vivienda para dichas ciudades si tradujésemos dichas temperaturas en potencia necesaria para adquirirla.

Se considera que las aportaciones de calor serán gratuitas si se encuentran en el rango de temperaturas de 17-25°C debido al aislante térmico del propio edificio. De este modo, la cantidad de horas de necesidad energética para una ciudad como Cartagena en invierno sería de 3.816 horas:

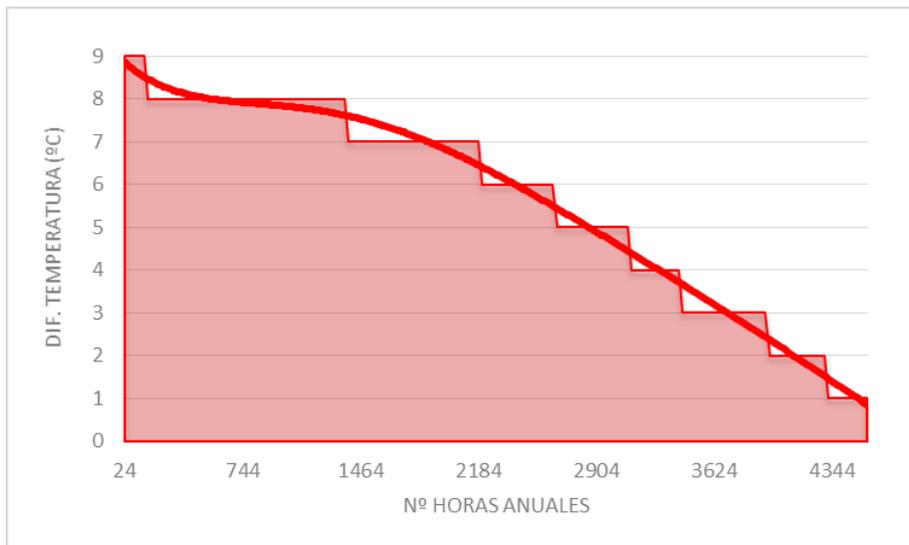
Gráfica 18 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Cartagena



Fuente 43 Elaboración propia

Para el municipio de Lorca:

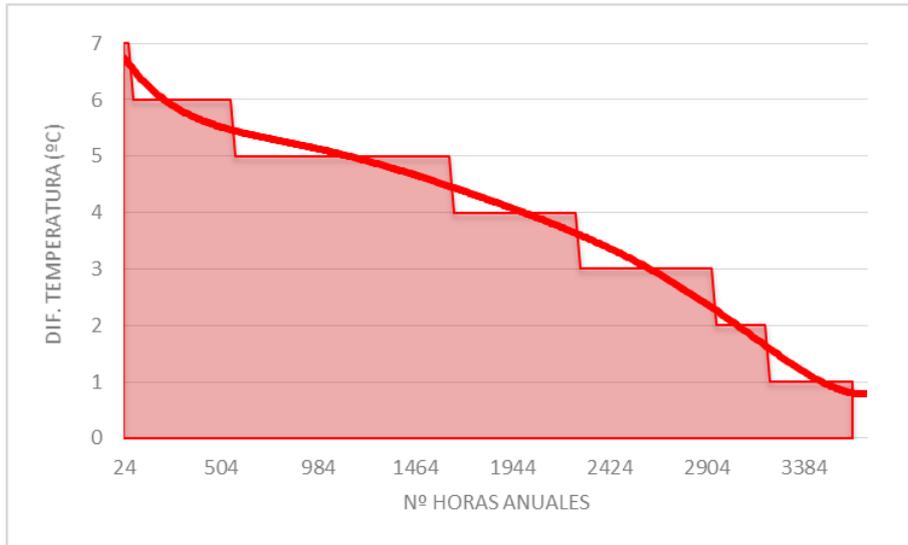
Gráfica 19 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Lorca



Fuente 44 Elaboración propia

Para el municipio de Molina de Segura:

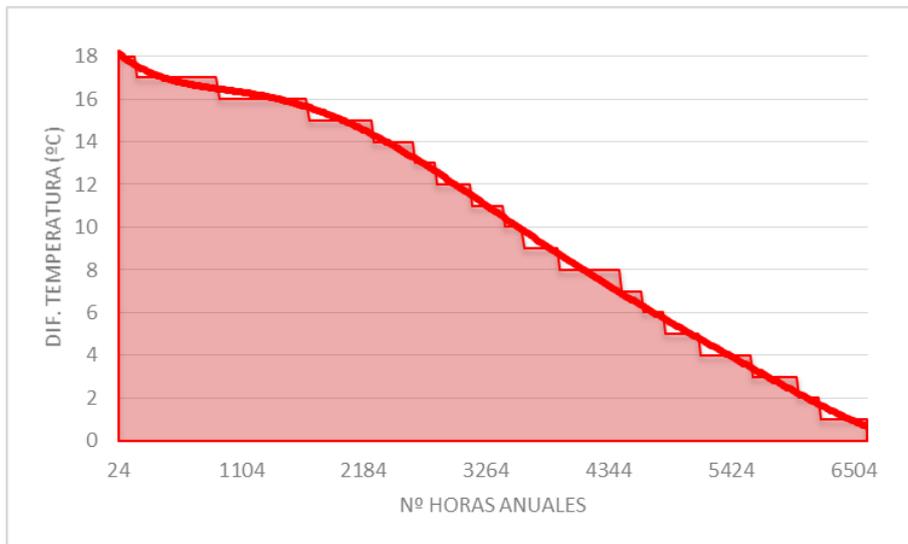
Gráfica 20 Número de horas anuales por debajo de los 17°C Molina de Segura



Fuente 45 Elaboración propia

Sin embargo, los valores a obtener en la zona seleccionada de Múnich, serán totalmente distintos, ya que, no sólo se tendrá en cuenta el número de horas de demanda energética anual, sino también, la elevada demanda energética a lo largo de varios días al año, debido a la existencia de varios días al año con temperaturas bajo cero.

Gráfica 21 Número de horas anuales por debajo de los 17°C en Múnich

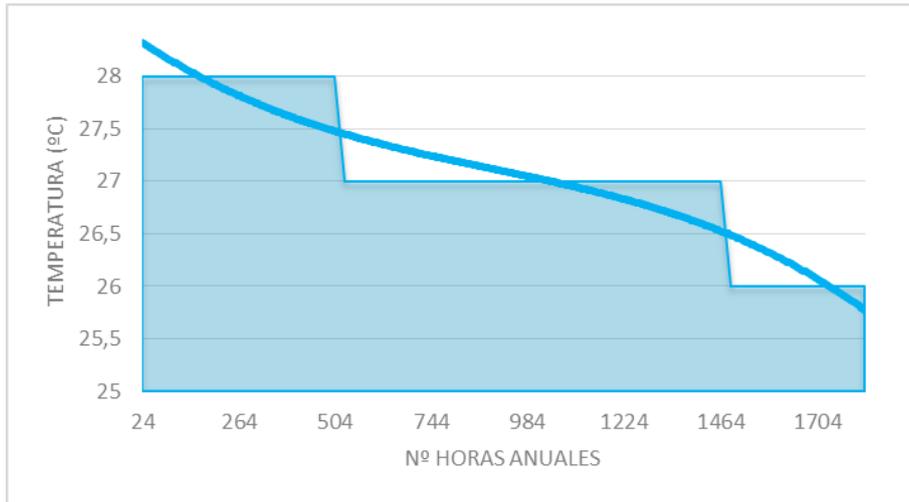


Fuente 46 Elaboración propia

En cambio en verano habrá una alta demanda energética para las zonas murcianas, sin embargo para la zona de Baviera, la demanda será prácticamente nula.

Para la zona de Cartagena

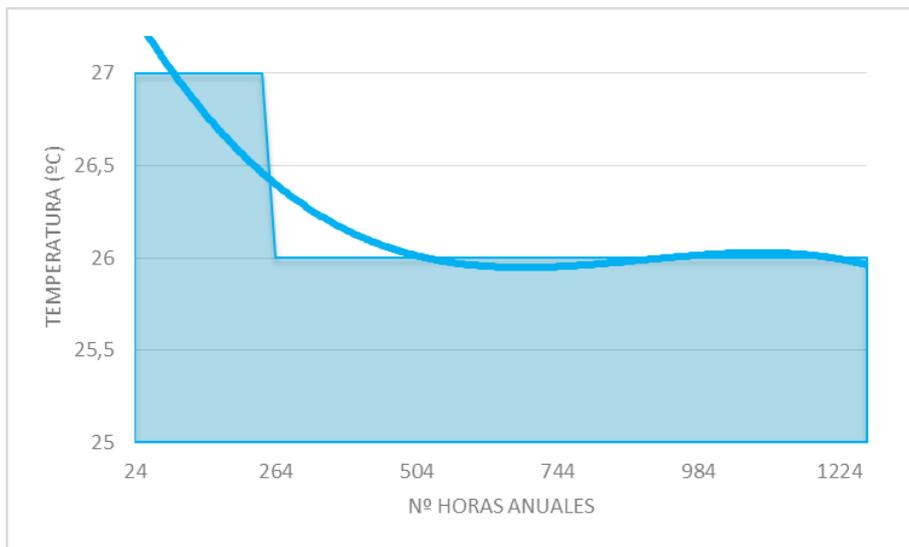
Gráfica 22 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Cartagena



Fuente 47 Elaboración propia

Para el caso de Lorca, se comprueba que las temperaturas elevadas solo se concentran en los meses de julio y agosto, y sus valores se repiten con mucha frecuencia por lo que se obtiene una curva plana con pocas horas anuales.

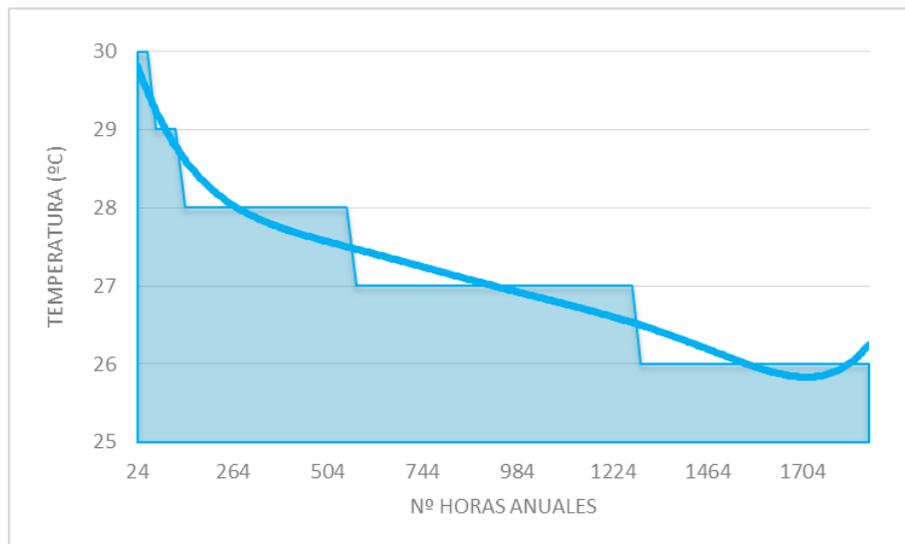
Gráfica 23 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Lorca



Fuente 48 Elaboración propia

Para el caso de Molina de Segura:

Gráfica 24 Número de horas anuales por encima de los 25°C en Molina de Segura



Fuente 49 Elaboración propia

Por otro lado, el sistema de refrigeración en Múnich será escasamente utilizado a lo largo del año.

Para conocer la demanda energética que requieren las localidades de estudio, es necesario aplicar la metodología de cálculo del *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos*²⁴.

La metodología que establece este documento consiste en establecer un comportamiento energético de referencia a cada capital de provincia, para la demanda de calefacción, refrigeración, ACS e incluso emisiones de CO₂ asociadas a ellas, tanto para viviendas unifamiliares, como bloques de viviendas. Para el resto de localidades establece unos parámetros que permiten el cálculo de los mismos indicadores aplicando la variable correspondiente a la severidad climática.

En dicho documento, aparece una tabla en la que se indica el comportamiento energético de referencia, de las localidades capitales de provincia, para viviendas unifamiliares y bloques de viviendas (datos de demanda energética y emisiones de CO₂ por metro cuadrado).

En este estudio se utiliza la misma metodología de cálculo para todas las zonas estudiadas, para así, poder obtener unos resultados que tengan en cuenta los mismos factores de cálculo. Sin embargo, el documento que nos permite este cálculo solo valora los municipios españoles, de tal modo que asociaremos a Múnich el municipio que más se ajuste a sus características.

12.2 Necesidad energética en las zonas murcianas

El cálculo de la necesidad energética de las localidades de Murcia será realizado para la particularidad de vivienda unifamiliar debido a ser el tipo de viviendas que se han seleccionado previamente. La demanda será de:

Tabla 14 Valores de referencia para calefacción y refrigeración en viviendas unifamiliares en Murcia

| Localidad | Zona climática | Demanda calefacción (KWh/m ²) | Demanda refrigeración (KWh/m ²) | Emisiones calefacción (KgCO ₂ /m ²) | Emisiones refrigeración (KgCO ₂ /m ²) | Demanda ACS (KWh/m ²) |
|-----------|----------------|---|---|--|--|-----------------------------------|
| Murcia | B3 | 33,0 | 18,5 | 10,6 | 4,6 | 17,1 |

Fuente 50 Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativo²³

Una vez se conocidos los valores de referencia de la capital de provincia de las viviendas seleccionadas, Murcia, se deben obtener los valores de referencia de cada municipio en cuestión, para ello, es necesaria la severidad climática.

La severidad climática se podrá calcular una vez conocida la zona climática. En el apéndice D del Documento Básico HE Ahorro de Energía publicado en abril de 2009, se explica cómo determinar la zona climática de cualquier localidad, a partir de la capital de provincia. Para ello es necesario, realizar la diferencia entre el desnivel de la localidad y su capital. Para el caso de Murcia se tiene que:

Tabla 15 Zonas climáticas (Murcia)

| Capital de Provincia | Capital | Altura de referencia (m) | Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m) | | | | |
|----------------------|---------|--------------------------|--|-----------|-----------|------------|-------|
| | | | [200,400) | [400,600) | [600,800) | [800,1000) | ≥1000 |
| Murcia | B3 | 25 | C2 | C1 | D1 | D1 | E1 |

Fuente 51 Documento Básico HE Ahorro de Energía

Para ajustar los valores de Murcia a nuestras localidades tendremos en cuenta su Severidad Climática de Invierno (SCI) y la de Verano (SCV). Siendo:

$$\text{Demanda de refrigeración} = a + b \cdot \text{SCV}$$

$$\text{Demanda de calefacción} = a + b \cdot \text{SCI}$$

Para poder resolver esta ecuación es necesario conocer la Severidad Climática en Invierno, la Severidad Climática en Verano, y los coeficientes de correlación a y b asignados a nuestro tipo de vivienda.

Los valores para determinar la severidad climática se encuentran limitados por un pequeño rango, siendo su selección arbitraria, y se pueden encontrar en los documentos mencionados. Para invierno:

Tabla 16 Severidad climática en invierno

| A | B | C | D | E |
|-----------|-----------------|------------------|------------------|-----------|
| SCI ≤ 0,3 | 0,3 < SCI ≤ 0,6 | 0,6 < SCI ≤ 0,95 | 0,95 < SCI ≤ 1,3 | SCI > 1,3 |

Fuente 52 Documento Básico HE Ahorro de Energía

Para verano:

Tabla 17 Severidad climática en verano

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------|-----------------|------------------|------------|
| SCV ≤ 0,6 | 0,6 < SCV ≤ 0,9 | 0,9 < SCV ≤ 1,25 | SCV > 1,25 |

Fuente 53 Documento Básico HE Ahorro de Energía

En cuanto a los coeficientes que permiten la resolución de la ecuación para viviendas unifamiliares. Los coeficientes *a* y *b* son:

Tabla 18 Coeficientes de correlación para la demanda de calefacción y refrigeración

| Viviendas unifamiliares | a | b |
|-------------------------|-------|-------|
| Calefacción | 9,29 | 54,98 |
| Refrigeración | -4,24 | 20,41 |

Fuente 54 Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos

Por tanto, solo debemos conocer el desnivel, para determinar las demandas de nuestras localidades. De esta manera los resultados son:

Tabla 19 Demanda energética para climatización por superficie en los municipios murcianos

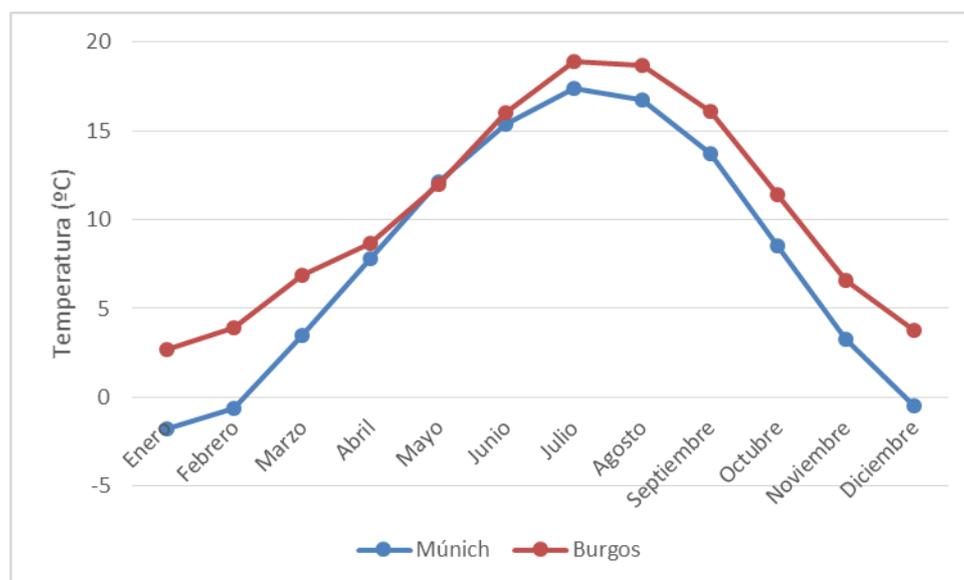
| | altitud (m) | Diferencia (m) | Zona | SCI | SCV | Demanda de calefacción (Kwh/m2) | Demanda de refrigeración (Kwh/m2) |
|---------------|-------------|----------------|------|-------|-------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Lorca | 353 | 328 | C2 | 0,775 | 0,750 | 51,900 | 11,068 |
| Molina Segura | 125 | 100 | B3 | 0,450 | 1,075 | 34,031 | 17,701 |
| Cartagena | 10 | -15 | B3 | 0,450 | 1,075 | 34,031 | 17,701 |

Fuente 55 Elaboración propia

12.3 Necesidades energéticas en la zona de Baviera

La ciudad española asociada a Múnich es Burgos, ya que, la diferencia de las temperaturas medias anuales es muy pequeñas entre las dos ciudades y están localizadas en altitudes similares.

Gráfica 25 Comparación de temperaturas medias entre Burgos y Múnich



Fuente 56 climate-data.org

Como en el anterior apartado, las ciudades de estudio son unifamiliares. De este modo, la demanda para viviendas unifamiliares es:

Tabla 20 Valores de referencia para calefacción y refrigeración en viviendas unifamiliares en Burgos

| Localidad | Zona climática | Demanda calefacción (KWh/m ²) | Demanda refrigeración (KWh/m ²) | Emisiones calefacción (KgCO ₂ /m ²) | Emisiones refrigeración (KgCO ₂ /m ²) | Demanda ACS (KWh/m ²) |
|-----------|----------------|---|---|--|--|-----------------------------------|
| Burgos | E1 | 113,1 | 0,0 | 36,2 | 0,0 | 18,8 |

Fuente 57 Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos

Al comprobar que las temperaturas medias a lo largo del año son menores en Múnich, no se tendrá en cuenta el desnivel, y no se aplicará la ecuación de cálculo para municipios dentro de la capital de provincia. Por tanto nos quedaremos con los 113,1Kwh/m² de necesidad energética en invierno. Por otro lado, y tal y como se preveía para refrigeración la necesidad energética es nula.

12.4 Resultados

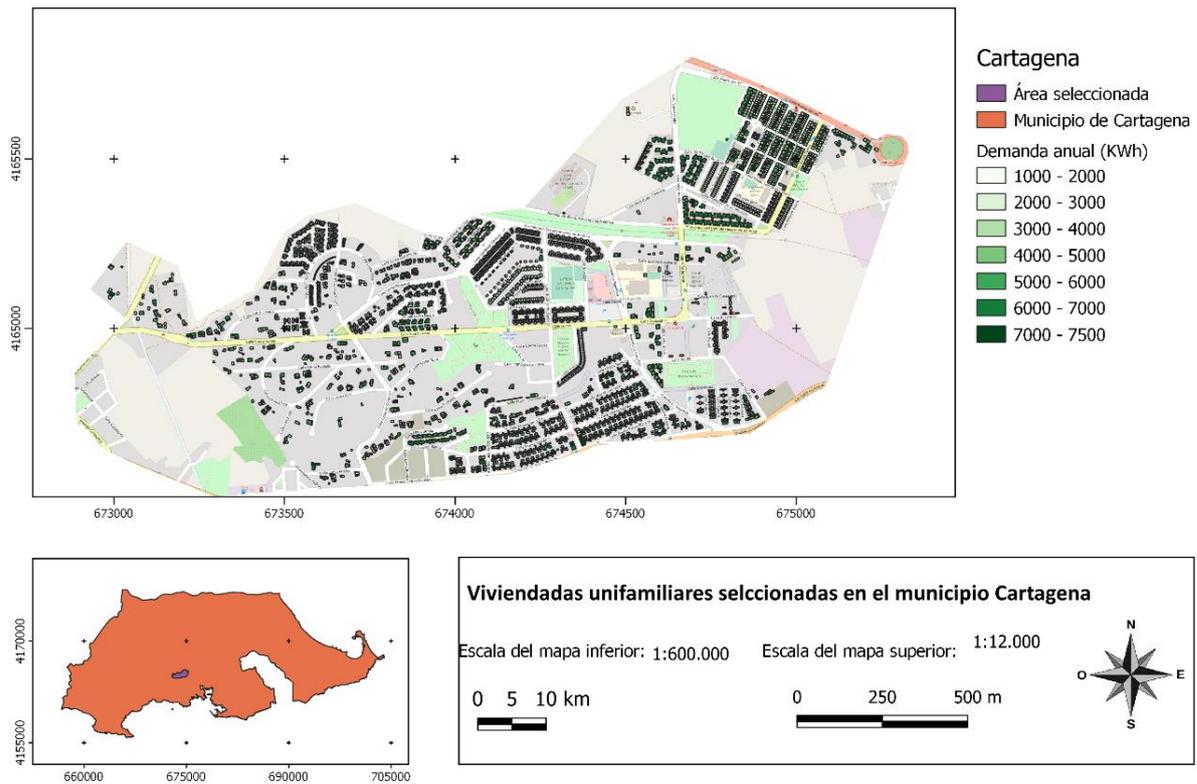
A continuación se presentan las demandas energéticas para las diferentes zonas y edificios seleccionados. Lo primero que se realizó, fue la correcta filtración de las viviendas a seleccionar, es decir, viviendas unifamiliares con una mayor facilidad para la implementación de la instalación geotérmica.

Una vez obtenida la selección adecuada de las viviendas unifamiliares se calculó el área a climatizar de cada vivienda. En este punto es importante comprobar el número de plantas de cada vivienda, y si estas, no están superpuestas entre ellas, en ese caso, sería la suma de ellas.

Por último, utilizando los valores previamente calculados en el apartado anterior, que permite conocer la demanda energética de una vivienda, en función de su área, se determina la demanda energética necesaria para satisfacer las necesidades a lo largo de un año.

La distribución de viviendas y demanda energética para climatización para el área seleccionada de Cartagena, 1,85km², es de:

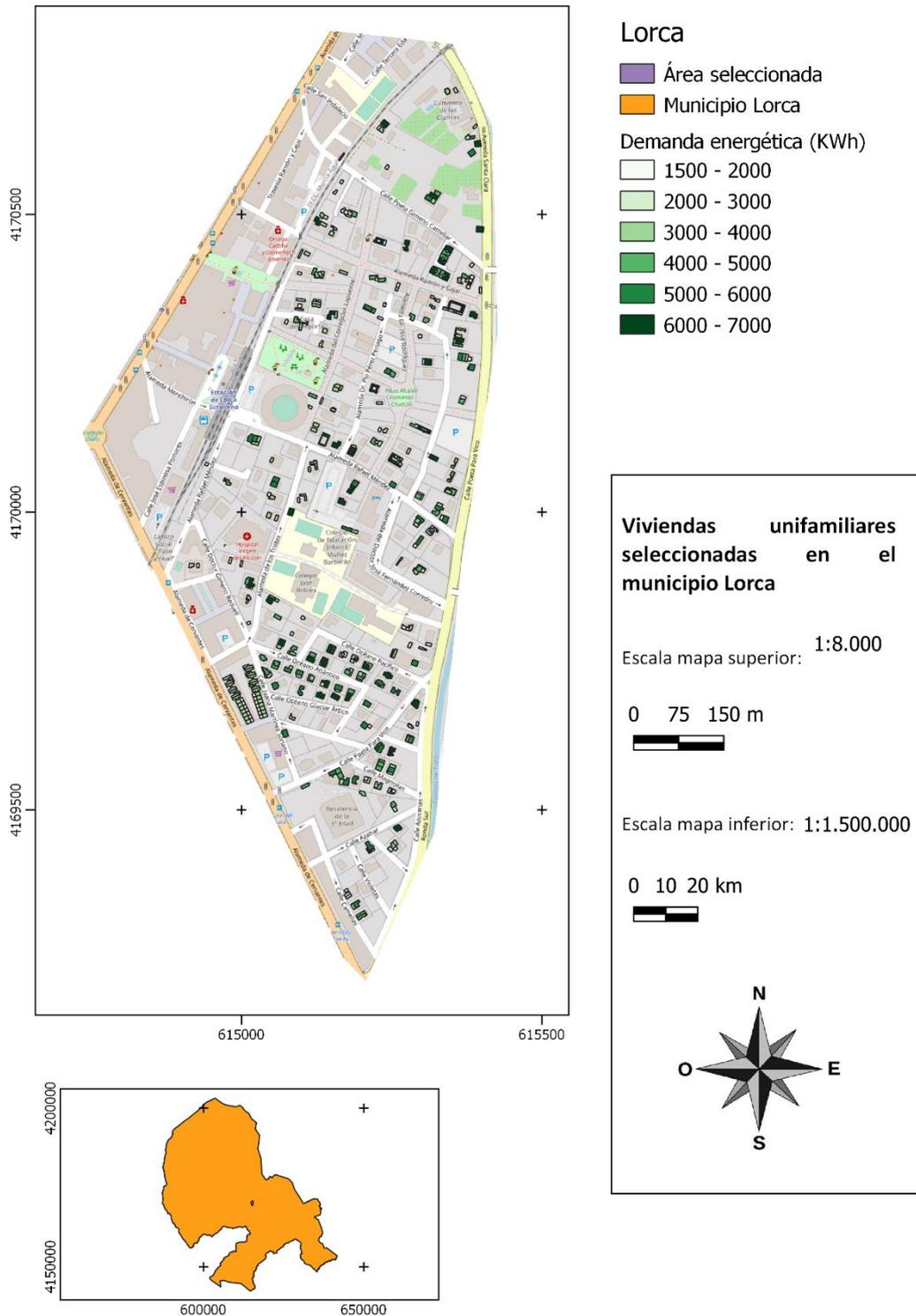
Ilustración 13 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Cartagena



Fuente 58 Elaboración propia

La distribución de las viviendas y sus demandas en el área seleccionada de Lorca, 0,65Km², es de:

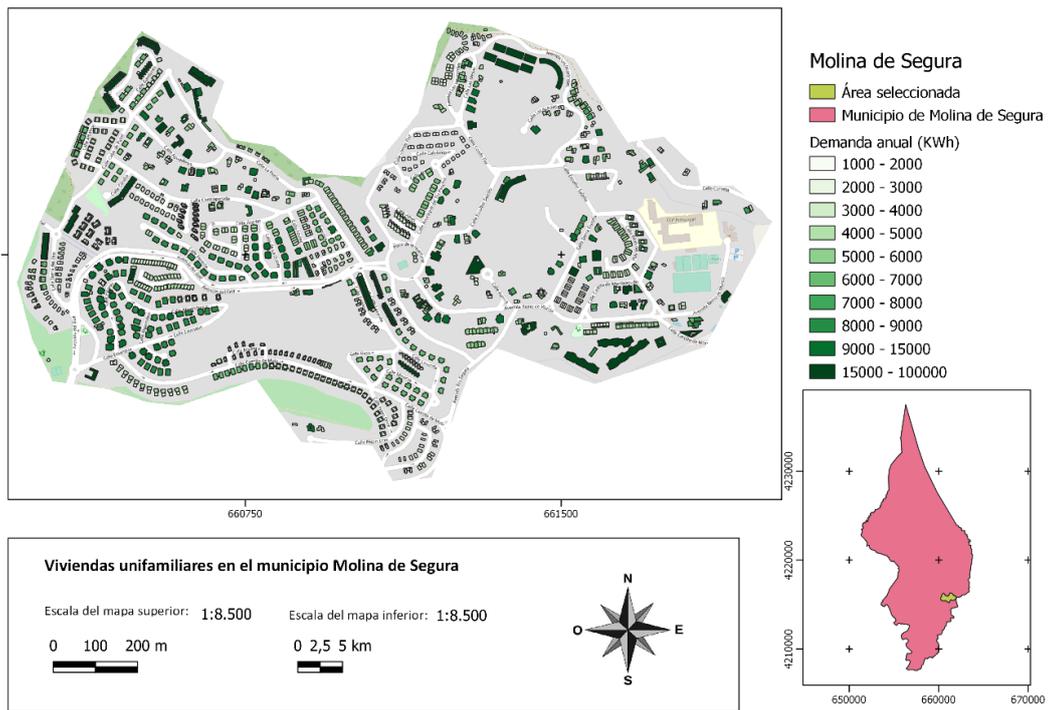
Ilustración 14 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Lorca



Fuente 59 Elaboración propia

La distribución de las viviendas y sus demandas en el área seleccionada de Molina de Segura, 1,15Km², es de:

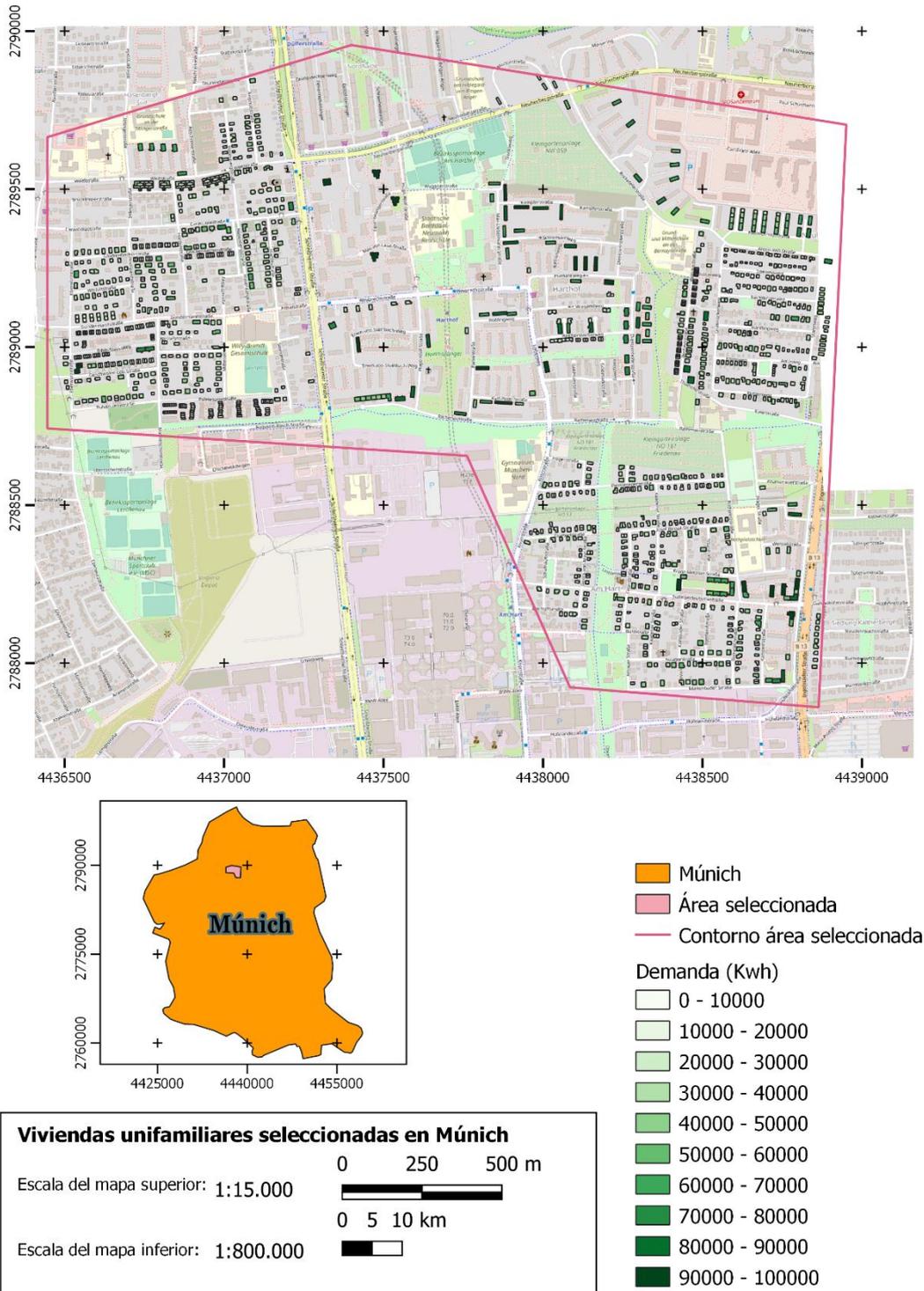
Ilustración 15 Viviendas unifamiliares seleccionadas en el municipio de Molina de Segura



Fuente 60 Elaboración propia

La distribución de las viviendas y sus demandas en el área seleccionada de Múnich, 3,57Km², es de:

Ilustración 16 Viviendas unifamiliares seleccionadas en Múnich



Fuente 61 Elaboración propia

12.5 Consumo energético mensualizado

Una vez conocida la demanda energética para calefacción y refrigeración que las viviendas estudiadas pueden necesitar podemos precisar su distribución mensual. De esta manera se

podrá prever cuál será el mes o los meses con mayor exigencia de consumo y qué volumen de consumo será necesario satisfacer.

A partir de los valores medios de temperatura diarios que se tienen registrados para cada ubicación, podemos analizar qué días son los que difieren de las temperaturas que consideramos están fuera de uso del sistema de climatización. Es decir, se puede saber el número de días anuales en los que la temperatura sea inferior a 17°C o superior a 25°C, en dichos casos será preciso el sistema de calefacción, o refrigeración respectivamente.

Por otra parte, se puede analizar el diferencial de temperatura que existirá entre los valores mínimos o máximos para el uso del sistema geotérmico. Este diferencial será indicador de la intensidad de uso del sistema instalado, es decir, a mayor diferencia de temperatura, mayor uso de la calefacción o la refrigeración.

Si reflejamos estos resultados diarios de forma mensual, es decir, sumando los diferenciales de cada día del mes, y además, asociamos las demandas anuales calculadas de calefacción y refrigeración de manera proporcional a estos diferenciales, tenemos:

Tabla 21 Demanda energética mensualizada I

| | | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|------------------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| CARTAGENA | Calefacción (dt) | -172 | -140 | -76 | -16 | 0 | 0 |
| | Refrigeración (dt) | | | | | 0 | 9 |
| | Calefacción (KWh) | 2.816.766 | 2.292.716 | 1.244.617 | 262.025 | 0 | 0 |
| | Refrigeración (KWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 305.199 |
| | Total (KWh) | 2.816.766 | 2.292.716 | 1.244.617 | 262.025 | 0 | 305.199 |
| LORCA | Calefacción (dt) | -251 | -210 | -149 | -72 | -7 | |
| | Refrigeración (dt) | | | | | | 31 |
| | Calefacción (KWh) | 264.161 | 221.011 | 156.813 | 75.775 | 7.367 | 0 |
| | Refrigeración (KWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29.845 |
| | Total (KWh) | 264.161 | 221.011 | 156.813 | 75.775 | 7.367 | 29.845 |
| MOLINA DE SEGURA | Calefacción (dt) | -158 | -133 | -72 | -12 | 0 | 0 |
| | Refrigeración (dt) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| | Calefacción (KWh) | 2.579.096 | 2.171.011 | 1.175.284 | 195.881 | 0 | 0 |
| | Refrigeración (KWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 310.795 |
| | Total (KWh) | 2.579.096 | 2.171.011 | 1.175.284 | 195.881 | 0 | 310.795 |
| MÚNICH | Calefacción (dt) | -522 | -462 | -370 | -220 | -91 | -4 |
| | Calefacción (KWh) | 9.418.150 | 8.335.604 | 6.675.700 | 3.969.335 | 1.641.861 | 72.170 |

Fuente 62 Elaboración propia

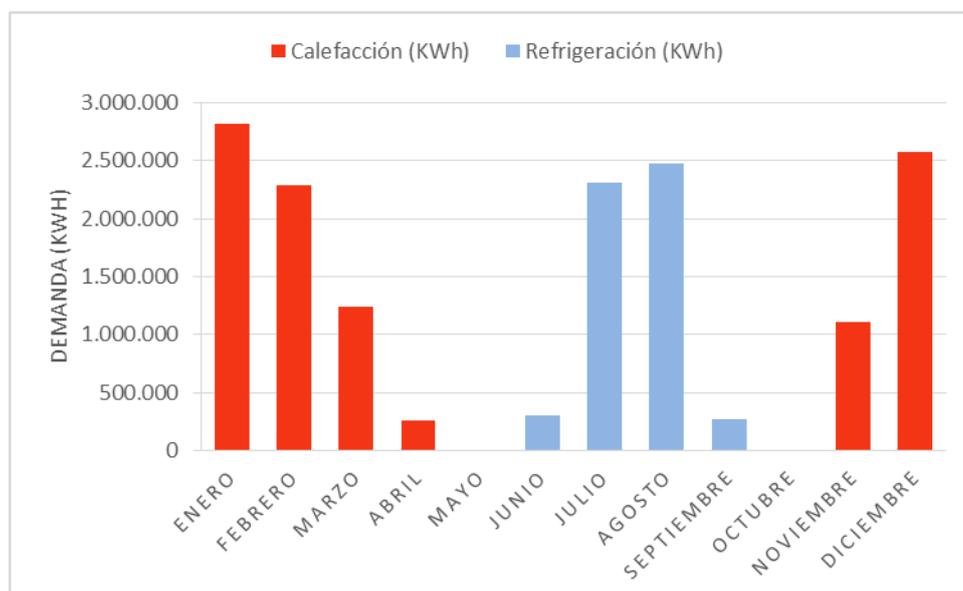
Tabla 22 Demanda energética mensualizada II

| | | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|------------------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|
| CARTAGENA | Calefacción (dt) | | | | 0 | -68 | -157 |
| | Refrigeración (dt) | 68 | 73 | 8 | 0 | 0 | |
| | Calefacción (KWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.113.605 | 2.571.117 |
| | Refrigeración (KWh) | 2.305.945 | 2.475.500 | 271.288 | 0 | 0 | 0 |
| | Total (KWh) | 2.305.945 | 2.475.500 | 271.288 | 0 | 1.113.605 | 2.571.117 |
| LORCA | Calefacción (dt) | | | | -58 | -229 | -328 |
| | Refrigeración (dt) | 125 | 124 | 24 | | | |
| | Calefacción (KWh) | 0 | 0 | 0 | 61.041 | 241.008 | 345.199 |
| | Refrigeración (KWh) | 120.344 | 119.381 | 23.106 | 0 | 0 | 0 |
| | Total (KWh) | 120.344 | 119.381 | 23.106 | 61.041 | 241.008 | 345.199 |
| MOLINA DE SEGURA | Calefacción (dt) | 0 | 0 | 0 | 0 | -61 | -157 |
| | Refrigeración (dt) | 60 | 82 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| | Calefacción (KWh) | 0 | 0 | 0 | 0 | 995.727 | 2.562.772 |
| | Refrigeración (KWh) | 1.864.767 | 2.548.515 | 310.795 | 0 | 0 | 0 |
| | Total (KWh) | 1.864.767 | 2.548.515 | 310.795 | 0 | 995.727 | 2.562.772 |
| MÚNICH | Calefacción (dt) | 0 | -2 | -76 | -217 | -374 | -490 |
| | Calefacción (KWh) | 0 | 36.085 | 1.371.225 | 3.915.208 | 6.747.870 | 8.840.792 |

Fuente 63 Elaboración propia

Si representamos estos valores de manera gráfica, se puede observar de manera más clara la intensidad de consumo de cada mes por ubicación. Se comprueba que los meses de diciembre, enero y febrero, el consumo de calefacción en Cartagena será similar, y que en los meses de julio y agosto tampoco difieren mucho en el uso de refrigeración; siendo el resto de los meses del año, meses con poca necesidad de consumo.

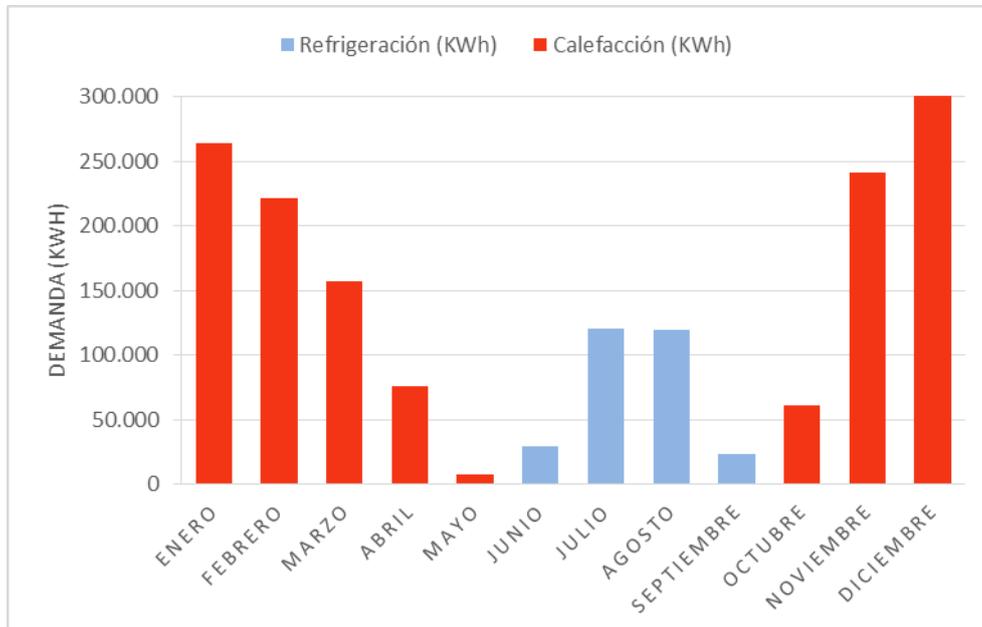
Gráfica 26 Demanda energética mensualizada de Cartagena



Fuente 64 Elaboración propia

Para el caso de Lorca, podemos ver que el gráfico de consumos es escalonado, aumentando y disminuyendo con progresividad el uso de calefacción, y siendo el mes de diciembre el más severo. Por otra parte, el uso de la refrigeración será más escaso que en el caso de Cartagena.

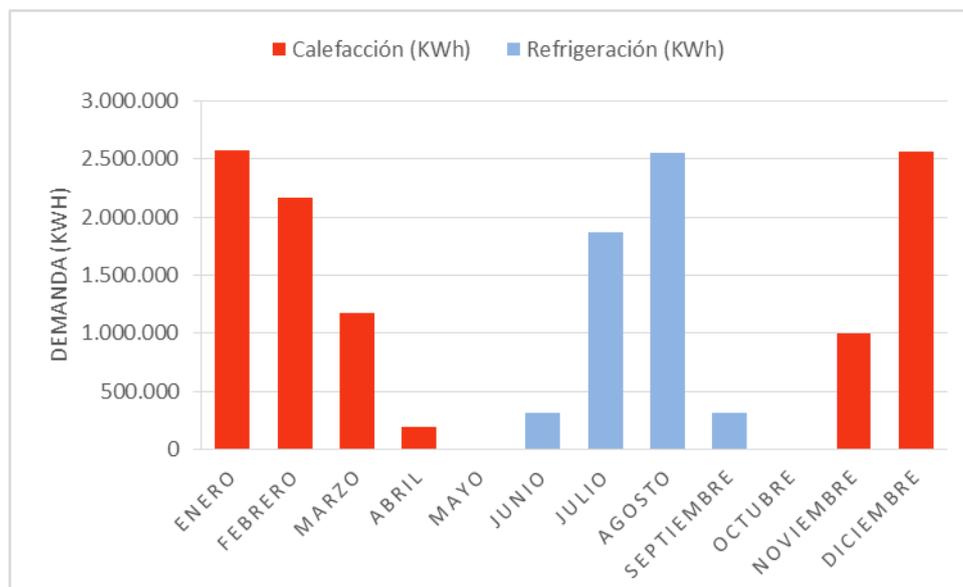
Gráfica 27 Demanda energética mensualizada de Lorca



Fuente 65 Elaboración propia

En Molina de Segura se comprueba que el mes de diciembre y enero tiene una alta similitud en la necesidad de calefacción, y que además, en el mes de agosto la necesidad energética será tan alta como en los meses de diciembre o enero.

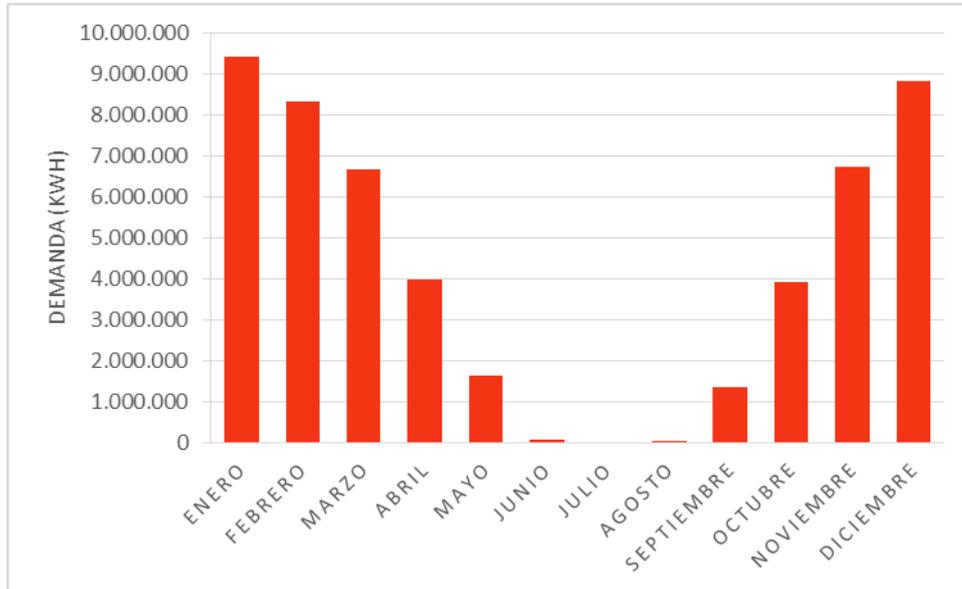
Gráfica 28 Demanda energética mensualizada de Molina de Segura



Fuente 66 Elaboración propia

Por el contra, a diferencia de las zonas murcianas, en Múnich el uso de la calefacción será necesario en todos los meses del año, a excepción del mes de julio, siendo de muy baja intensidad en los meses de junio y agosto. Y el uso del sistema de refrigeración será necesario cuando existan temperaturas extremas.

Gráfica 29 Demanda energética mensualizada de Múnich



Fuente 67 Elaboración propia

13 Energía geotérmica anual extraíble del subsuelo

En este apartado, se aborda la cuestión de si la demanda de calor para la calefacción de espacios para los barrios seleccionados puede satisfacerse con este tipo de sistemas geotérmicos. Para ello, se calcula la energía geotérmica anual total extraíble del subsuelo²⁵, un indicador muy útil, para planificar la instalación de sistemas geotérmicos para todo un barrio o ciudad en lugar de centrarse solo en viviendas de manera individual.

Este indicador se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$E_{vGSHP} = \sum_i^n q_{vGSHP,i} \cdot t_h \cdot l_{vGSHP,i} / (1 - \frac{1}{COP})$$

Las variables a tener en cuenta son:

- El calor extraíble, *q*
- Las horas de operación anuales de la bomba, *t*
- La longitud de las sondas geotérmicas, *l*
- La eficiencia de la bomba, COP
- El tamaño del estudio, *n*

Para la resolución de este apartado, se toman los datos previamente calculados de calor extraíble y el número de viviendas seleccionadas. Para el cálculo de horas de operación, se utilizan los datos que muestran los valores de temperatura en número de horas anuales en cada municipio de la Región de Murcia²⁶ y los datos estadísticos utilizados en apartados anteriores. En cuanto al tiempo de uso de la BCG, se realiza una estimación sobre la cantidad de tiempo necesario del sistema de climatización diario. El IDAE aconseja el encendido de la calefacción cuando se está en el hogar²⁷, ya que, mantener una temperatura estable a lo largo del día, supone un mayor consumo energético final, mientras que encenderla al llegar a casa, a pesar de suponer un pico de consumo de energía para calentar el hogar el balance final es inferior. Además, el IDAE, también aconseja su apagado en las horas de sueño, ya que supone un gasto innecesario. Si a esto añadimos que las temperaturas más frías del año son en horario nocturno, y que, la jornada laboral supone 8 horas diarias, podemos estimar que el funcionamiento de la bomba de calor será del 25% del tiempo.

Para las variables de longitud de la sonda, aunque esta se puede ajustar a cada instalación, se aplican 100 metros como valor medio. Y para la variable de COP, establecemos el valor de eficiencia que tiene la bomba de calor geotérmica que se propone en el apartado 14, de 4,6. La última variable a considerar, es el tamaño de estudio, es decir, el número de viviendas seleccionadas. De esta manera se obtiene.

Tabla 23 Energía extraíble del subsuelo

| | Demanda energética (KWh) | Nº viviendas | Calor extraíble (W/m) | Funcionamiento de la bomba (h) | Longitud de la sonda (m) | COP | Energía extraíble (KWh) |
|------------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|-----|-------------------------|
| Cartagena | 15.658.778 | 1.404 | 79 | 1048 | 100 | 4,6 | 14.845.799 |
| Lorca | 1.665.052 | 236 | 72 | 1471 | 100 | 4,6 | 3.186.442 |
| Molina de Segura | 14.728.930 | 1.270 | 65 | 1425 | 100 | 4,6 | 15.030.979 |
| Múnich | 51.023.999 | 1.403 | 80 | 1656 | 100 | 4,6 | 23.749.984 |

Fuente 68 Elaboración propia

A continuación, se recuperan los valores de demanda energética para el sistema de climatización de los municipios de estudio, y con el valor máximo de energía extraíble, se calcula el ratio que indica la cantidad total posible de demandada a satisfacer.

Tabla 24 Cantidad de demanda energética asumible por las BCGs

| | Demanda energética (KWh) | Energía extraíble (KW) | Ratio |
|------------------|--------------------------|------------------------|-------|
| Cartagena | 15.658.778 | 14.845.799 | 0,95 |
| Lorca | 1.665.052 | 3.186.442 | 1,91 |
| Molina de Segura | 14.728.930 | 15.030.979 | 1,02 |
| Múnich | 51.023.999 | 23.749.984 | 0,47 |

Fuente 69 Elaboración propia

Estos datos ponen de relieve, la ventaja estratégica de la Región de Murcia sobre Baviera, ya que, a pesar de tener un mayor interés económico o energético la región alemana, la Región de Murcia permite cubrir la totalidad o casi la totalidad de la demanda de los edificios seleccionados con un sistema geotérmico, mientras que, la zona de Múnich tiene un limitante energético de casi el 50%, por lo que, no se espera que en un futuro se pueda abastecer todos los edificios alemanes con sistemas geotérmicos. Este ratio podría verse incrementado si el pozo a perforar fuese más largo, pero no es común encontrarse pozos con una profundidad superior a los 100 metros.

14 Propuesta de instalación geotérmica

Una vez conocida la necesidad energética para diferentes conjuntos de viviendas en diferentes localidades, a continuación se propone la alternativa al modelo energético actual de manera individualizada. Es decir, se realiza una propuesta para la sustitución de los modelos actuales de climatización por uno con tecnología geotérmica.

Al tener características similares las localidades murcianas, se hace la propuesta para el municipio de Cartagena, ya que las características son muy similares en los tres municipios murcianos seleccionados.

14.1 Cálculo de la potencia de la bomba de calor geotérmica

La demanda energética anual por unidad de superficie la hemos calculado previamente, si suponemos que se pretende realizar la sustitución del modelo de climatización en una vivienda de 250m² podemos obtener la necesidad energética anual.

Tabla 25 Necesidades energéticas

| Demanda | Kwh/(m ² año) | Superficie (m ²) | Kwh/año |
|---------------|--------------------------|------------------------------|----------|
| Calefacción | 34,03 | 250 | 8.507,75 |
| Refrigeración | 17,07 | 250 | 4.425,25 |

Fuente 70 Elaboración propia

A partir de datos estadísticos, también comentados anteriormente, sabemos que la media de días anuales por debajo de la temperatura mínima para uso de calefacción y de refrigeración, relacionamos dicho valor con la energía necesaria anual obtenemos.

Tabla 26 Capacidad de calefacción

| Demanda | Kwh/año | Horas | Capacidad de la BCG (Kw) |
|---------------|----------|-------|--------------------------|
| Calefacción | 8.507,75 | 969 | 8,78 |
| Refrigeración | 4.425,25 | 805 | 5,50 |

Fuente 71 Elaboración propia

La capacidad de la BCG para satisfacer ambas demandas es similar, ya que, a pesar de, tener una menor demanda energética de refrigeración al año, esta se concentra en meno días.

14.2 Cálculo del campo de captación

En cuanto al modelo de captación geotérmica, ésta debe de ser de tipo vertical debido a la limitación de espacio. A partir de la potencia media de extracción que podemos obtener del apartado anterior en el que se analiza el potencial geotérmico de la Región de Murcia, y del COP medio de la BCG, se obtiene que:

$$P_{consumida} = \frac{P_{entregada}}{COP} = \frac{8,78Kw}{4,5} = 1,95Kw$$

$$P_{campo\ de\ captación} = P_{entregada} - P_{consumida} = 8,78Kw - 1,95Kw = 6,83Kw$$

A partir de la potencia del campo de captación y con la potencia térmica del interior de la tierra, que para el caso de Cartagena es de 79W por metro lineal, se obtiene que:

$$\text{Metros de perforación} = \frac{P_{\text{campo de captación}}}{P_{\text{térmica del suelo}}} = \frac{8.508w}{79w/m} = 107,69m$$

Debemos aplicar los mismos cálculos a la demanda de frío, para comprobar cuál es el tamaño máximo necesario.

$$P_{\text{consumida}} = \frac{P_{\text{entregada}}}{EER} = \frac{5,5w}{5,2} = 1,06Kw$$

$$P_{\text{campo de captación}} = P_{\text{entregada}} - P_{\text{consumida}} = 5,5Kw - 1,06Kw = 6,83Kw$$

$$\text{Metros de perforación} = \frac{P_{\text{campo de captación}}}{P_{\text{térmica del suelo}}} = \frac{4.4026w}{79w/m} = 56,01m$$

Comprobamos que es el sistema de calefacción el que delimita el tamaño de la perforación. En el siguiente apartado, se determinarán los metros finales de perforación, una vez seleccionado la sonda vertical.

14.3 Accesorios de la instalación

A continuación se detallan los elementos necesarios para el desarrollo de la instalación.

14.3.1 La bomba de calor geotérmica

En primer lugar, se selecciona el elemento más importante de la instalación, la bomba de calor geotérmica. La BCG escogida es agua-agua reversible con conexión monofásica.

La potencia de calefacción es de hasta 7Kw con un COP de 4,6, mientras que la de refrigeración es de hasta 5Kw, con un EER de 3,16. Por otro lado, la contaminación acústica es muy baja, con unos niveles de entre 31,15db.

A pesar de haber realizado los cálculos y el estudio para sustituir el sistema de climatización, la bomba seleccionada permite satisfacer las demandas energéticas de ACS. Tiene unas dimensiones de 1.230x650x695mm³, y su peso es de 133Kg.

Ilustración 17 EcoGEO HTR B3



Fuente 72 Tarifa '20 Ecoforest

14.3.2 Sistema de captación

Otro elemento fundamental en toda instalación geotérmica es el relacionado con el sistema de captación, en este caso, es necesario seleccionar una sonda vertical. Se ha calculado previamente la profundidad que debe tener la sonda (mayor de 107,69m), por lo que, se debe seleccionar una sonda que sea inmediatamente superior a dicho valor.

En este caso, al tratarse de una instalación sencilla, es suficiente con una sonda tipo simple de 2 tubos, con un diámetro de 32mm, un espesor de 2,9mm, un peso de 272,25Kg y con una longitud de 110m, valor que determinará el tamaño de la perforación.

Ilustración 18 Sonda vertical



Fuente 73 Catálogo Ferroplast

Para la inyección de material de relleno en la sonda vertical es necesario un tubo de inyección, en este caso de polietileno de alta densidad de 25mm de diámetro exterior y 2,3mm de espesor. Se necesita una longitud de 112 metros.

Ilustración 19 Tubo de inyección



Fuente 74 Catálogo Ferroplast

Adicionalmente, se necesita un distanciador cada 10 metros en la sonda, por lo que se precisarán de 11 unidades para el guiado del tubo de inyección, y mortero de bentonita y cemento, con una conductividad de 2,35W/mK.

No hay que olvidar que para poder realizar esta instalación es necesario una obra de perforación previa. Los gastos estimados de perforación se sitúan alrededor de los 30€/m lineal²⁶.

14.3.3 La arqueta

La arqueta será el instrumento que conecta el sistema de captación con el de emisión. Para su instalación se necesita adicionalmente de grava de cantera y hormigón, materiales complementarios que no afectan al grueso del presupuesto.

La arqueta seleccionada es la DN650 con dimensiones de 660x460x500mm y pesa 15,2Kg. En cuanto a las conexiones con la bomba de calor es de 63mm de diámetro y 5,8mm de espesor, y de 32mm de diámetro y 2,9mm de espesor con las sondas geotérmicas.

Ilustración 20 Arqueta DN650

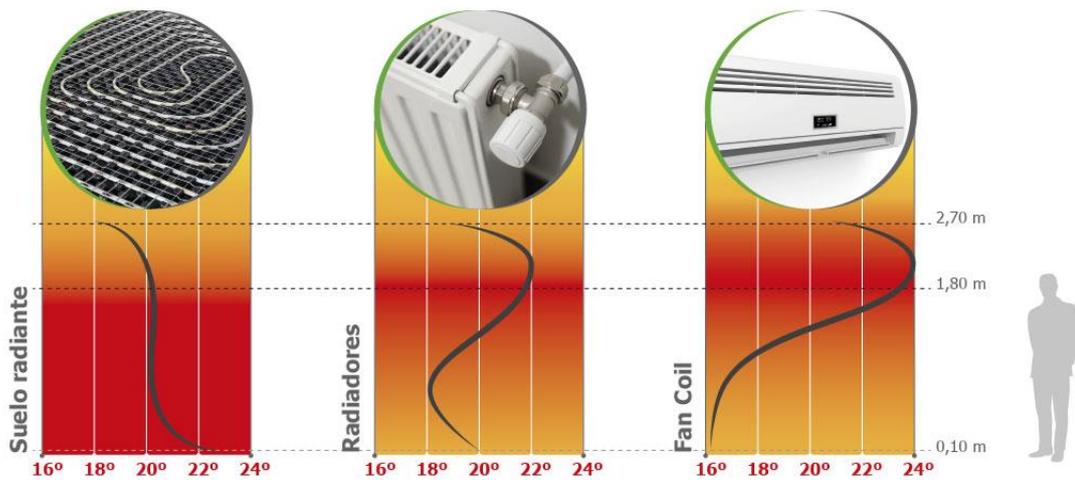


Fuente 75 Web Muovitech

14.3.4 Sistema de emisión

El sistema de emisión tiene multitud de variables, puede ser por suelo radiante, radiadores o fancoil. El suelo radiante, es el menos económico, a pesar de ser el más cómodo, ya que su instalación requeriría cambiar el suelo entero de la vivienda. Es por ello que se propone la instalación de radiadores, ya que son operaciones sencillas y sigue siendo un sistema cómodo. Además, si la vivienda ya dispusiese de otro tipo de sistema de emisión compatible o radiadores, estos serían posibles de aprovechar.

Ilustración 21 Distribución del calor según el tipo de emisor



Fuente 76 Web <https://www.ingeka.es/energia-geotermica-en-viviendas/instalacion-geotermica/>

En cualquier caso, se supondrá que el sistema de emisión antiguo no es válido para que esta propuesta sea aplicable para cualquier variante, siendo un apartado suprimible, si para la vivienda de aplicación ya tiene un sistema válido.

El circuito secundario de una instalación geotérmica debe constar idealmente de suelo radiante ya que las temperaturas que se obtienen son más bajas que las de una caldera y el suelo distribuye de forma más eficiente el calor.

Ilustración 22 Radiador de aluminio Cointra Orion Hp600



Fuente 77 Web Leroymerlin²²

El radiador escogido es de aluminio Cointra Orion Hp600, sus dimensiones son $60 \times 88 \times 9,8\text{cm}^3$. Este radiador necesita de la compra de los siguientes elementos necesarios para su funcionamiento. El soporte para radiador (20 unidades), el panel reflectante de calor (10 unidades) y el cabezal termostático (10 unidades).

Además en este supapartado hay que tener en cuenta las conexiones entre el sistema de captación y el de emisión, es decir, los tubos para el circuito de distribución del agua. A esta partida, se le añade un incremento del precio, en concepto de accesorios y piezas especiales que puedan precisarse para su conexión. En este caso se trata de tubo de polietileno PE 100, de 40 mm de diámetro exterior y 3,7mm de espesor, y se entiende que se necesitande 60 metros para realizar todas las conexiones.

Por último, para obtener una mayor eficiencia en la captación de calor, se propone el aislamiento del circuito de tuberías de la vivienda.

Ilustración 23 Aislante Pipe section Alu 2



Fuente 78 Web Isove²³

El aislante Pipe section Alu 2 contiene una coquilla de lana, revestida por su cara exterior con una lámina de aluminio reforzada con malla de vidrio, que actúa como barrera de vapor. La conductividad térmica de este elemento es de $0,037\text{W/mk}$ cuando el fluido se encuentra a 50° , y aumenta ligeramente su conductividad al trabajar con fluidos a mayor temperatura, siendo la conductividad de $0,052\text{W/mk}$ cuando el fluido se encuentra a 150° . En este caso, se deben cubrir los 60 metros que se ha supuesto que se necesitan para realizar todas las conexiones.

14.4 Presupuesto

Se obtienen dos presupuestos para poder llevar a cabo la propuesta. El primero no incluye el circuito secundario, debido a la alta probabilidad de ser recuperable del sistema de climatización antiguo, y el segundo incluye los gastos que implicaría una obra nueva. Sin circuito secundario queda:

Tabla 27 Presupuesto de la propuesta de instalación sin circuito secundario

| | Cantidad | Unidad | Precio unidad (€) | Precio (€) |
|--|-----------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| BCG | 1 | Ud | 2.625,00 | 2.625,00 |
| Sonda vertical | 1 | Ud | 486,50 | 486,50 |
| Tubo de inyección | 110 | m | 1,24 | 136,40 |
| Distanciador de tubos | 11 | Ud | 4,40 | 48,40 |
| Mortero preparado de bentonita y cemento | 1.980 | Kg | 0,70 | 1.386,00 |
| Perforaciones | 110 | m | 30,00 | 3.300,00 |
| Arqueta | 1 | Ud | 1.276,80 | 1.276,80 |
| Hormigón | 0,137 | m ³ | 73,13 | 10,02 |
| Grava de cantera | 0,304 | T | 7,23 | 2,20 |
| Mano de obra oficial | 15 | h | 18,00 | 270,00 |
| Mano de obra ayudante | 15 | h | 15,00 | 225,00 |
| Total bruto | | | | 9.766,32 |
| IVA | 21% | | | 2.050,93 |
| TOTAL | | | | 11.817,24 |

Fuente 79 Elaboración propia

Y con circuito secundario:

Tabla 28 Presupuesto de la propuesta de instalación con circuito secundario

| | Cantidad | Unidad | Precio unidad (€) | Precio (€) |
|--|----------|----------------|-------------------|------------------|
| BCG | 1 | Ud | 2.625,00 | 2.625,00 |
| Sonda vertical | 1 | Ud | 486,50 | 486,50 |
| Tubo de inyección | 110 | m | 1,24 | 136,40 |
| Distanciador de tubos | 11 | Ud | 4,40 | 48,40 |
| Mortero preparado de bentonita y cemento | 1.980 | Kg | 0,70 | 1.386,00 |
| Perforaciones | 110 | m | 30,00 | 3.300,00 |
| Arqueta | 1 | Ud | 1.276,80 | 1.276,80 |
| Hormigón | 0,137 | m ³ | 73,13 | 10,02 |
| Grava de cantera | 0,304 | T | 7,23 | 2,20 |
| Radiadores | 10 | Un | 68,09 | 680,90 |
| Soportes | 20 | Un | 1,56 | 31,20 |
| Panel reflectante de calor | 10 | Un | 8,25 | 82,50 |
| Cabezal termostático | 10 | Un | 4,33 | 43,30 |
| Tubería para circuito de distribución de agua. | 60 | m | 3,06 | 183,60 |
| Aislante Pipe section Alu 2 | 60 | m | 7,95 | 477,00 |
| Mano de obra oficial | 25 | h | 18,00 | 450,00 |
| Mano de obra ayudante | 25 | h | 15,00 | 375,00 |
| Total bruto | | | | 11.594,82 |
| IVA | 21% | | | 2.434,91 |
| TOTAL | | | | 14.029,73 |

Fuente 80 Elaboración propia

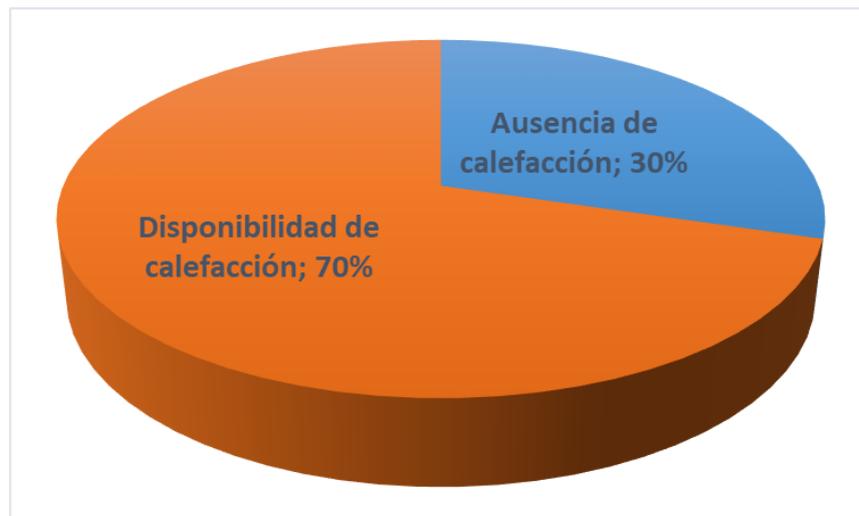
15 Impacto ambiental

En este apartado se pretende cuantificar la repercusión ambiental que produciría la sustitución del modelo de climatización actual por uno geotérmico. Para ello, primero se analiza y compara el modelo actual de consumo y la repercusión ambiental que supone dicho modelo.

15.1 Impacto actual en la Región de Murcia

En primer lugar se estudia la presencia de sistemas de calefacción o refrigeración en las viviendas murcianas. Según la Encuesta de Hogares y Medio Ambiente realizada en 2008 por el Instituto Nacional de Estadística a las diferentes comunidades autónomas, se determinó el sistema de calefacción disponible en cada territorio, si bien, no todas las viviendas disponían de uno.

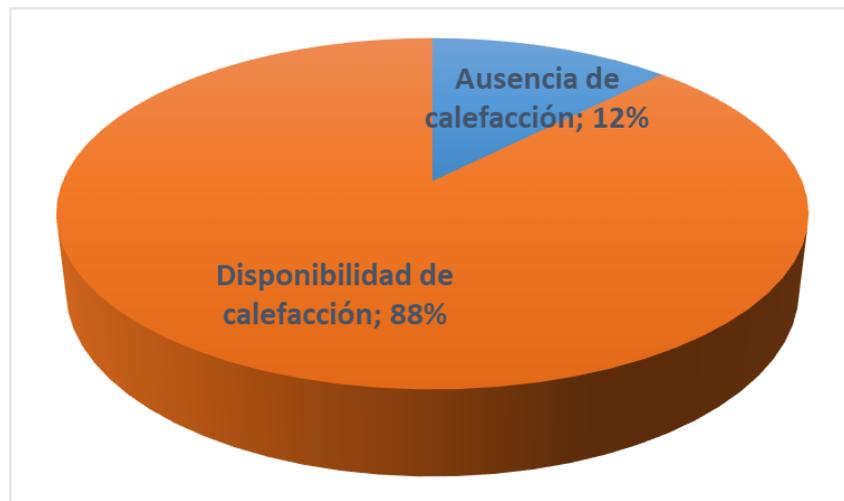
Gráfica 30 Presencia de calefacción en los hogares españoles



Fuente 81 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

La presencia de calefacción en los hogares españoles es del 70%, sin embargo, si analizamos la Región de Murcia, comprobamos que, a pesar de tener uno de los climas más cálidos de España, el uso de la calefacción es más extendido en la región.

Gráfica 31 Presencia de calefacción en los hogares murcianos

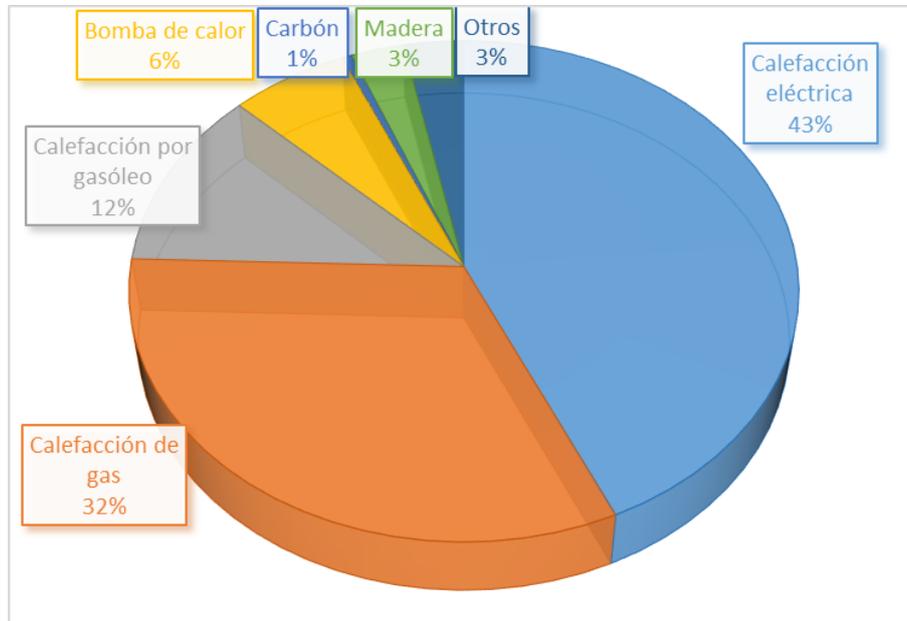


Fuente 82 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

Para la Región de Murcia, la ausencia de calefacción en sus hogares solo representa el 12% de las viviendas.

De la misma manera, también ha sido posible analizar las fuentes de consumo para la obtención de energía térmica para los hogares, españoles y murcianos.

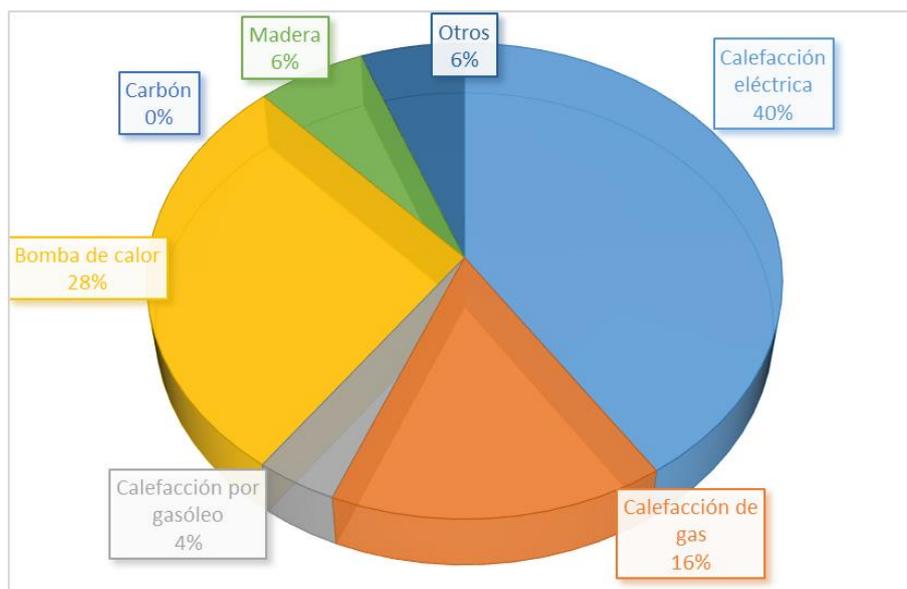
Gráfica 32 Sistema de calefacción actual en España



Fuente 83 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

Se observa que el grado de electrificación de los hogares españoles es alto, y que, a pesar de ser sistemas menos eficientes, un mix energético basado en energías renovables, reduciría en gran medida las emisiones de GEI a la atmósfera debido a calefacción. Los recursos alternativos a la calefacción eléctrica, siguen siendo el gas natural y el gasóleo.

Gráfica 33 Sistema de calefacción actual en la Región de Murcia



Fuente 84 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

La Región de Murcia presenta valores similares en cuanto al porcentaje de uso de la calefacción eléctrica en los hogares, sin embargo la presencia del gas natural y es gasóleo es baja, siendo notable la presencia de la bomba de calor en la región.

En cuanto a la cantidad de viviendas que disponen de un sistema de aire acondicionado, la encuesta mencionada anteriormente, ofrece datos al respecto.

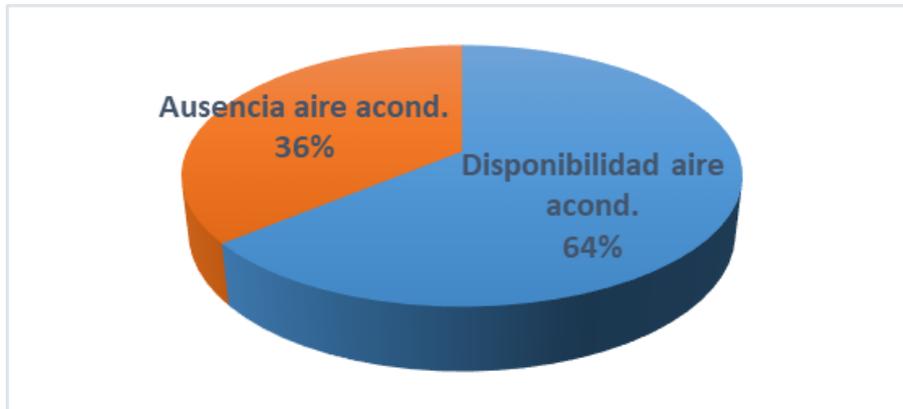
Gráfica 34 Presencia de aire acondicionado en los hogares españoles



Fuente 85 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

Una baja disponibilidad para el computo medio en España, debido a las regiones como Castilla y León, Cantabria o Asturias, entre otras comunidades, en las que su uso no es considerable.

Gráfica 35 Presencia de aire acondicionado en los hogares murcianos



Fuente 86 Elaboración propia, datos del Instituto Nacional de Estadística

La presencia de aire acondicionado en la Región de Murcia, representa casi dos tercios de los hogares murcianos, y según la Agencia Local de Energía y Cambio Climático de Murcia (AEM), el 70% de su uso es eléctrico, el componente restante podemos suponer que se trata de uso de bombas de calor reversibles que se utilizan también en el sistema de calefacción.

Una vez conocidas las fuentes energéticas usadas para el uso del sistema de refrigeración, debemos conocer el potencial de calentamiento global de cada recurso utilizado, es decir, su factor de emisión de CO₂. El *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos* ofrece un listado en el que se detalla las emisiones asociadas a cada combustible y a la electricidad.

Tabla 29 Factores de emisiones de CO₂I

| Energía térmica | Emisiones | |
|--------------------------------------|-----------|------------------------|
| Gas natural | 204 | g CO ² /kwh |
| Gasóleo | 287 | g CO ² /kwh |
| Carbón uso doméstico | 347 | g CO ² /kwh |
| Biomasa | NEUTRO | g CO ² /kwh |
| Electricidad convencional peninsular | 331 | g CO ² /kwh |

Fuente 87 Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos

Esta tabla no permite conocer el impacto ambiental de las bombas de calor instaladas en la región, para ello es necesario conocer los valores de eficiencia *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (SEER) y *Seasonal Coefficient Of Performance* (SCOP), que permiten conocer los consumos eléctricos necesarios para satisfacer una demanda calorífica.

$$SCOP = \frac{\text{Calor entregado de la vivienda}}{\text{Energía eléctrica consumida}}$$

$$SEER = \frac{\text{Calor extraído de la vivienda}}{\text{Energía eléctrica consumida}}$$

Estos rendimientos estacionales se pueden encontrar en el etiquetado energético de las bombas de calor.

Tabla 30 Rendimiento energético de las bombas de calor

| Etiqueta | Rendimiento en Refrigeración | Rendimiento en Calefacción |
|----------|------------------------------|----------------------------|
| A+++ | SEER ≥ 8,50 | SCOP ≥ 5,10 |
| A++ | 6,10 ≤ SEER < 8,50 | 4,60 ≤ SCOP < 5,10 |
| A+ | 5,60 ≤ SEER < 6,10 | 4,00 ≤ SCOP < 4,60 |
| A | 5,10 ≤ SEER < 5,60 | 3,40 ≤ SCOP < 4,00 |
| B | 4,60 ≤ SEER < 5,10 | 3,10 ≤ SCOP < 3,40 |
| C | 4,10 ≤ SEER < 4,60 | 2,80 ≤ SCOP < 3,10 |
| D | 3,60 ≤ SEER < 4,10 | 2,50 ≤ SCOP < 2,80 |
| E | 3,10 ≤ SEER < 3,60 | 2,20 ≤ SCOP < 2,50 |
| F | 2,60 ≤ SEER < 3,10 | 1,90 ≤ SCOP < 2,20 |
| G | SEER < 2,60 | SCOP < 1,90 |

Fuente 88 Revista digital INESEM

Es decir, si suponemos que las bombas de calor actuales instaladas en la Región de Murcia son de A (SEER=5,50 y SCOP=3,50), podremos determinar el consumo eléctrico asociado a estas.

De esta forma, las emisiones de CO₂ anuales esperadas debido al uso de calefacción en las zonas murcianas seleccionadas, teniendo en cuenta la necesidad energética previamente calculada es:

Tabla 31 Emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera en las localidades murcianas con el sistema actual

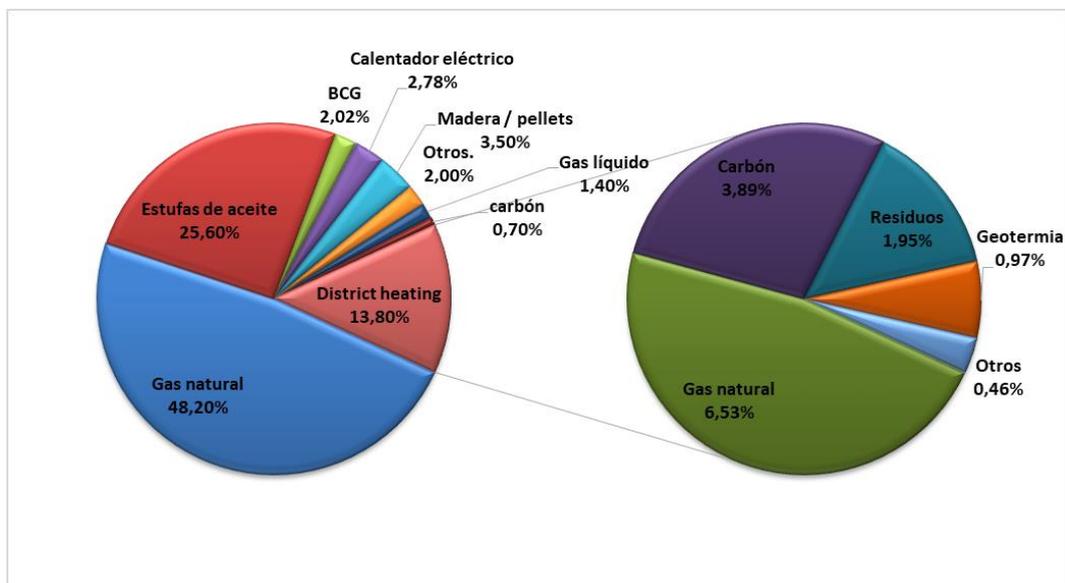
| | Área a climatizar (m ²) | Calefacción (KWh) | Emisiones por uso de calefacción (Tn CO ²) | Refrigeración (KWh) | Emisiones por uso de refrigeración (Tn CO ²) | Total (KWh) | Emisiones totales (Tn CO ²) |
|------------------|-------------------------------------|-------------------|--|---------------------|--|-------------|---|
| Cartagena | 302.689 | 10.300.846 | 2.011 | 5.357.932 | 206 | 15.658.778 | 2.218 |
| Lorca | 26.443 | 1.372.375 | 268 | 292.677 | 11 | 1.665.052 | 279 |
| Molina de Segura | 284.716 | 9.689.170 | 1.892 | 5.039.760 | 194 | 14.728.930 | 2.086 |

Fuente 89 Elaboración propia

15.2 Impacto actual en Baviera

Para el caso de Alemania, la presencia de calefacción en los hogares es de la totalidad, con la particularidad de que el uso de la refrigeración es nulo. Otra característica distintiva en Alemania, son los ya mencionados *district heating*, o calefacción urbana.

Gráfica 36 Sistema de calefacción actual en Alemania

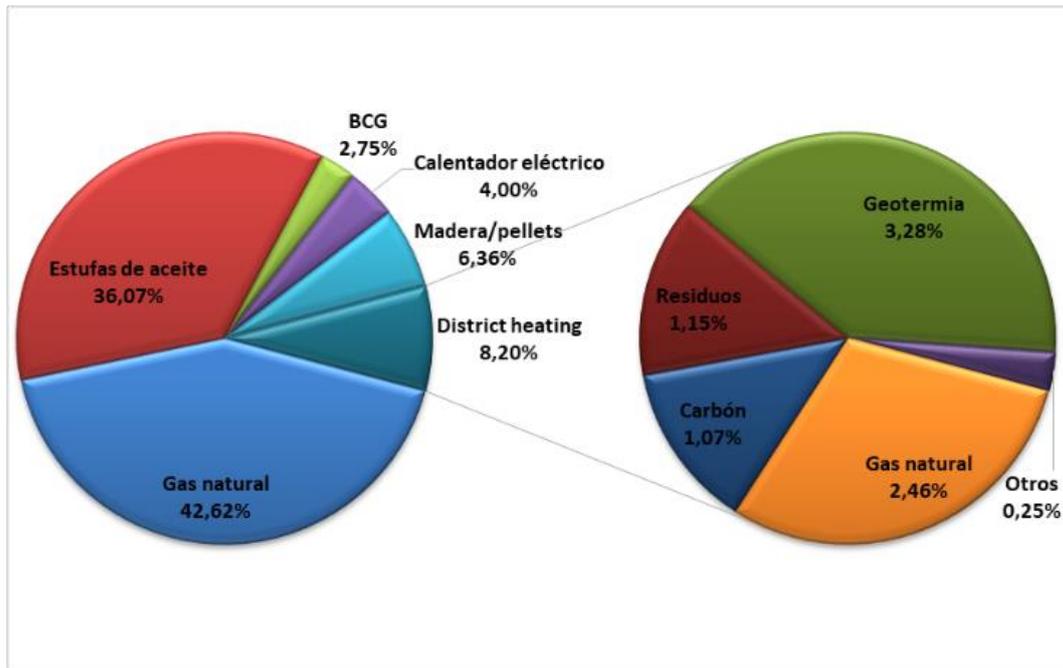


Fuente 90 Elaboración propia, datos *Wie heizt Bayern?*²⁸

En la gráfica superior, se puede observar que el uso del gas natural es la principal fuente de energía para el calentamiento de sus hogares, mientras que las estufas que funcionan con aceite tienen también una alta presencia en al menos uno de cada cuatro hogares, la presencia de energías renovables es escasa, pero está marcada por la geotermia y el uso de pellets, tanto en calefacción individual como en calefacción urbana.

En el caso de Baviera, la presencia del uso de la geotermia es más extendido, aunque sigue sin tener una presencia relevante en la totalidad. En el caso del *district heating*, su presencia sí es más relevante, representando el 40% de ésta. En cualquier caso, Baviera mantiene una dependencia energética con el gas natural a pesar del crecimiento del uso de la geotermia en los últimos años.

Gráfica 37 Sistema de calefacción actual en Baviera



Fuente 91 Elaboración propia, datos Wie heizt Bayern²²⁷

Si atendemos al factor de emisiones de gases de efecto invernadero que implica la obtención de la energía primaria para la obtención de calor, se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 32 Factores de emisiones de CO₂ II

| Energía térmica | Emisiones | |
|------------------------------|-----------|------------------------|
| Gas natural | 204 | g CO ² /kwh |
| Aceite | 259 | g CO ² /kwh |
| Carbón | 347 | g CO ² /kwh |
| Madera/pellets | NEUTRO | g CO ² /kwh |
| Electricidad | 219 | g CO ² /kwh |
| Residuos | 59 | g CO ² /kwh |
| Geotermia=1/4,5·electricidad | 49 | g CO ² /kwh |
| Otros | NEUTRO | g CO ² /kwh |

Fuente 92 Elaboración propia, datos

A partir de la tabla superior y de la gráfica inmediatamente superior, conociendo la necesidad energética de la zona seleccionada, se obtienen las emisiones que se producen anualmente para suministrar la demanda energética.

Tabla 33 Emisiones de CO₂ emitidas a la atmósfera en Baviera con el sistema actual

| | Área a climatizar (m ²) | Calefacción (KWh) | Emisiones por uso de calefacción (Tn CO ²) |
|--------|-------------------------------------|-------------------|--|
| Múnich | 451.140 | 51.023.999 | 10.281 |

Fuente 93 Elaboración propia

Se emiten anualmente alrededor de 10 toneladas de CO₂ para calentar 1.403 hogares, siendo el tamaño medio de la vivienda de 322m².

15.3 El Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Las directrices técnicas para el desarrollo de la metodología ACV han sido estandarizadas por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Se describe como un procedimiento con cuatro fases:

1. Definición de objetivo y alcance, en la que se define el producto estudiado y el propósito del estudio
2. Análisis de inventario, en el que los datos de los procesos unitarios del sistema de productos se recopilan, analizan y finalmente se relacionan con una salida cuantitativa del mismo sistema, la llamada unidad funcional
3. Evaluación de impacto, que se esfuerza por evaluar la importancia de los impactos ambientales contenidos en un inventario del ciclo de vida y ayuda a determinar la importancia relativa de cada uno de estos elementos del inventario
4. Paso de interpretación en el que se evalúa los resultados y se comparan con las metas definidas para sacar conclusiones y formular recomendaciones

En este análisis, se tienen en cuenta todas las etapas de la vida de un producto, desde la extracción de los recursos naturales y el procesamiento de las materias primas, pasando por la producción, distribución, uso, hasta la disposición final.

El concepto de ACV existente no solo se centra en cuestiones relacionadas con los flujos de energía y el calentamiento global, sino que también examinan los posibles efectos adversos sobre otros temas ambientales, como la reducción de la capa de ozono o el uso de la tierra. Se elabora una gama de diferentes factores y consecuencias ambientalmente relevantes y luego se integran en su conjunto.

Los ahorros de emisiones de GEI de una BCG varían y dependen de condiciones geológicas, tecnológicas, de diseño, requisitos de calefacción/refrigeración...

Un factor ambientalmente crucial que con frecuencia se ignora al sopesar los aspectos ecológicos de las BCG es el uso de refrigerantes en la bomba de calor. Las emisiones a la atmósfera debido al gas refrigerante se producen por fugas durante el funcionamiento y al desmontar la bomba de calor, por lo que deben tenerse en cuenta para una evaluación medioambiental completa. Aunque, se consideran alternativas a los refrigerantes comunes menos contaminantes, como los hidrocarburos y el amoníaco, éstos tienen un COP menor y por tanto de un mayor consumo energético²⁹.

Factores como la degradación del coeficiente de rendimiento, la fuga total del fluido portador de calor al suelo y al acuífero también se evalúan cuidadosamente, pero su impacto ambiental es menor.

Otro refrigerante que debe tenerse en cuenta para los sistemas BCG cerrados es el líquido portador de calor que circula en el intercambiador de calor del pozo. Las más comunes son las soluciones acuosas de glicol y alcohol etílico.

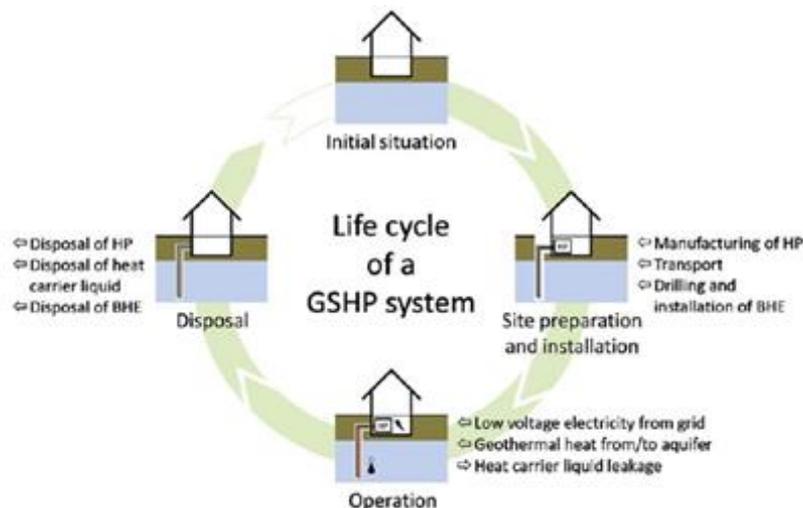
En cuanto a la biodegradabilidad y el riesgo potencial de contaminación de las aguas subterráneas de dichos líquidos, el etileno y el propilenglicol son fácilmente biodegradables en condiciones tanto óxicas como anóxicas. Por lo tanto, no se espera una contaminación a largo plazo del agua subterránea por estos glicoles. Sin embargo, otros aditivos químicos críticos y tóxicos se utilizan comúnmente en dichos fluidos, como inhibidores de corrosión o biocidas (por ejemplo, boratos y nitrito de sodio), pequeñas cantidades de estos aditivos pueden representar amenazas específicas al mismo tiempo que actúan como inhibidores de la degradación del glicol in situ.²⁹

15.3.1 Definición de objetivo y alcance de ACV

El objetivo del estudio es evaluar el ciclo de vida de un sistema BCG vertical y de baja entalpía.

El ciclo de vida incluye la fabricación de la bomba de calor, la preparación del terreno y la perforación del pozo, el transporte de equipos al emplazamiento, la instalación del intercambiador de calor y la bomba de calor, así como la operación y eliminación del sistema BCG.

Ilustración 24 Ciclo de Vida de una BCG vertical



Fuente 94 *Is it only CO2 that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems*

Se realiza el ACV para las mismas características de la vivienda unifamiliar considerada en el apartado de propuesta, es decir, para la bomba de calor EcoGEO HTR B3 con una potencia de entre 1,3 y 11Kw; y un COP de 4,5. Las propiedades del suelo, determinadas por el mortero de bentonita y cemento son de:

El diámetro del pozo se establece en 50 mm y el caudal de captación de la bomba seleccionada es de en el BHE es de 1.700l/h, mientras que el COP es de 4,5 y el EER de 5,2. Por otro lado, se espera que la vida útil de la bomba de calor sea de 25 años.

15.3.1.1 Situación inicial

Aportación de las necesidades de calefacción y refrigeración para la residencia mediante gas natural y electricidad respectivamente.

15.3.1.2 Preparación del sistema

Se transporta el equipo de perforación a la propiedad y se perfora el pozo en el que se introducirá la sonda. La bomba de calor se ubica en el interior de la vivienda, y allí se conecta al intercambiador de calor de pozo y se enchufa a la red eléctrica.

15.3.1.3 Durante el funcionamiento

El sistema necesita aporte eléctrico para hacer funcionar la bomba de circulación del líquido portador de calor, trabajará a 1,98Kw cuando esté funcionando en su máxima capacidad. Además, debido a las leves fugas continuas, el refrigerante de la bomba de calor debe rellenarse anualmente.

15.3.1.4 Final del ciclo de vida/fase de eliminación

Las partes metálicas de la bomba de calor se reciclan por completo, el refrigerante de la bomba de calor se reutiliza y el líquido portador de calor es extraído de los tubos del intercambiador y tratado en una planta de tratamiento de aguas residuales.

15.3.2 Análisis de inventario

La función principal del sistema de BCG es la provisión de calor y enfriamiento. Por lo tanto, en el estudio actual, la unidad funcional se define como el calor producido por el sistema de BCG durante toda su vida útil, 25 años.

El sistema de BCG está diseñado para una sola vivienda, que tiene una potencia de calefacción de casi 10Kw, tanto para calor, como para frío. La vivienda tiene una superficie habitable de 250m².

En la fase de inventario del ciclo de vida (ICV) del ACV, la información sobre los procesos unitarios del sistema de productos se recopila, analiza y finalmente se relaciona cuantitativamente con la unidad funcional. El inventario del sistema de BCG se divide en los siguientes subgrupos.

15.3.2.1 Pozo, intercambiador de calor de pozo y líquido portador de calor

El calor se extrae del suelo por medio de un intercambiador con una profundidad de 110m. El pozo se perfora mediante la técnica de descarga o martillo, consumiendo 2,1l de diésel por metro²⁹.

Para el relleno del pozo se usa mortero de bentonita y cemento. Para determinar la toxicidad potencial y los impactos ambientales, se debe conocer el líquido portador de calor. Como solución anticongelante, se utiliza un litro de agua-monoetilenglicol, con una concentración de anticongelante puro del 25%.

15.3.2.2 Bomba de calor y refrigerante de bomba de calor

La bomba de calor se compone principalmente de cobre y acero, y pesa 184kg. Los tubos y los cables eléctricos están aislados con elastómero y PVC.

El refrigerante de la bomba de calor es crucial para la transmisión de calor del suelo al sistema de calefacción. Se trata del R410A y se utilizan 0,85kg. Además, existen pérdidas promedio de refrigerante del 1% durante la fabricación y del 2% anual durante la operación²⁹.

15.3.2.3 *Transporte*

Se supone que la bomba de calor y sus artículos, necesitan de un viaje de ida y vuelta para el transporte de los materiales al lugar de instalación, y además el mortero precisa de otro viaje independiente debido a su excesivo peso, cada entrega se transporta en camión y se recorre una distancia de 100km. Además, la perforadora y los materiales para la preparación del terreno se transportan en un camión de 16 toneladas a lo largo de una distancia de 100km.

15.3.2.4 *Electricidad*

Durante el funcionamiento, el sistema de BCG necesita electricidad para ejecutar el ciclo de refrigeración y la circulación del líquido portador de calor. Se espera que la BCG trabaje a 1,98Kw en calor, y 1,87Kw en frío, durante 954 y 456 horas anuales respectivamente.

La combinación de electricidad promedio en el sistema peninsular en España genera un impacto en la huella de carbono de 0,331 de CO₂ por kWh.

A partir de los datos de demanda anual de calor y frío, y con los valores de COP de 4,5 y EER de 5,2 de la BCG, se obtiene la demanda eléctrica en su ciclo de vida, siendo ésta de 68,541MWh para los 25 años.

15.3.3 Evaluación del impacto del ciclo de vida

Para lograrlo, la ISO 14042 define los siguientes pasos: selección y definición de las categorías de impacto de interés, asignación de los datos del inventario a las categorías de impacto elegidas (clasificación) y cálculo de los indicadores de la categoría de impacto utilizando factores de caracterización.

Los factores de caracterización para la evaluación de impacto se obtuvieron del método de evaluación del impacto del ciclo de vida ReCiPe 2008. En ella, se tiene en cuenta tres áreas de protección: la contribución al agotamiento de los recursos (34%), la salud humana (43%) y la calidad del ecosistema (23%).

Existen 18 categorías que valoran el impacto ambiental, de todas ellas, el cambio climático representa el 55,6% del total. Las 18 categorías de estudio que permiten conocer el impacto ambiental de la instalación de la BCG son: el cambio climático, la reducción de la capa de ozono la acidificación de la tierra la eutrofización del agua dulce, la eutrofización del agua del mar la toxicidad humana la oxidación fotoquímica la formación de partículas la ecotoxicidad terrestre, la ecotoxicidad agua dulce, la ecotoxicidad marina, la radiación iónica, la ocupación de tierra agrícola, la ocupación de tierra urbana, la ocupación de tierra natural, el agotamiento del agua, el agotamiento del metal y el agotamiento de recursos fósiles.

Debido a la multitud de elementos a tener en cuenta, y a la insignificancia de la mayoría de ellos en el impacto final ambiental, se reduce el estudio a los que mayor influencia tienen.

Tabla 34 Impacto ambiental de las áreas y elementos de protección

| Áreas y elementos de protección | Impacto ambiental |
|---|-------------------|
| La contribución al agotamiento de los recursos | 34,0% |
| Agotamiento de los recursos fósiles (t petróleo eq) | 33,8% |
| La salud humana | 43,0% |
| Cambio climático (Tn CO ₂) | 33,6% |
| La calidad del ecosistema | 23,0% |
| Cambio climático (Tn CO ₂) | 22,0% |
| Porcentaje total de análisis | 89,4% |

Fuente 95 Elaboración propia, datos de *Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal system*

La metodología cataloga el impacto ambiental de la instalación de una BCG en tres áreas de protección y considerando las características propias de la BCG divide el porcentaje del impacto ambiental total de la instalación en las tres áreas, según la relevancia del daño en cada área, siendo la salud humana la que se ve más afectada con un 43% del impacto.

Por otro lado, esa cantidad asociada a cada área se distribuye entre los 18 elementos que generan el impacto ambiental, siendo el agotamiento de los recursos fósiles, junto con el cambio climático, dos elementos que representan casi el 90% del impacto total.

15.3.4 Resultados para una BCG en la Región de Murcia

En este subapartado se analizan la influencia de los diferentes elementos tecnológicos en los dos elementos de mayor influencia en el impacto ambiental. Prestando especial atención al consumo eléctrico, que representa casi la totalidad de la influencia ambiental total.

15.3.4.1 Contribución al cambio climático

Se ha calculado previamente el consumo eléctrico total de la BCG a lo largo de su ciclo de vida, se espera que este sea de 2,743Mwh anuales, y 68,571Mwh para los 25 años de periodo de vida. Si tenemos en cuenta el factor de emisiones de CO₂ debido a la producción eléctrica en el sistema peninsular español, 0,331Kg CO₂ por Kwh, podemos saber que la repercusión en el cambio climático del consumo eléctrico será de 22.697Kg CO₂ en toda su vida útil.

La influencia de la perforación del suelo para conseguir el pozo, se puede obtener a partir del consumo de combustible necesario para perforar el metro lineal. Se ha mencionado anteriormente que este valor es de 2,1l diésel por metro lineal. Teniendo en cuenta que se pretenden perforar 110m y el factor de emisiones del diésel es de 2,596Kg CO₂/l, la contribución al cambio climático para la obtención del pozo es de 600Kg de CO₂.

Otro elemento que tiene influencia en la etapa inicial de la instalación es el transporte. Se han previsto previamente 2 viajes de 100km en total para un camión convencional, a este tipo de camiones se le asocian un consumo de 11 litros de diésel por cada 100km, se necesita otro viaje de un camión de 16 toneladas de carga de 100km para el transporte de la perforadora, en este caso el consumo de diésel asciende a los 25 litros de diésel por cada 100km. Es decir, el transporte lleva asociado un consumo de 49 litros de diésel, con el factor de emisiones de CO₂ mencionado en el párrafo superior, tenemos un impacto asociado de 122,01Kg de CO₂.

La composición del gas refrigerante usado por la BCG seleccionada es el R410A su composición está formado por HFC-32 y HFC-125 en partes iguales, su potencial contaminador se determina aplicando los potenciales de cada uno de ellos. El *IPCC 2006- Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3: Industrial Processes and Product Use*, señala que el impacto de este gas es de 2.088Kg de CO₂ equivalentes por Kg. Para determinar la cantidad de R510A total consumida a lo largo del periodo de vida útil, se deben tener en cuenta las pérdidas. La BCG necesita de 0,85Kg para su funcionamiento, pero una vez desmantelada la instalación, este gas se recicla, por lo que se tiene en cuenta las pérdidas, del 6% anual, es decir, 0,051Kg de gas, si esto se rellena anualmente durante los 25 años, se espera un relleno de 1,28Kg, además durante la fabricación se pierde el 2%, es decir, 0,017Kg. La suma total de gas a consumir a lo largo de su ciclo de vida es de 1,292Kg de R410A, lo que supone un impacto de 2.165Kg de CO₂.

Nos quedan tres elementos tecnológicos de estudio, la BCG, el intercambiador de calor y el fluido portador de calor. La contribución del último elemento es nula, ya que el fluido portador no tendrá ningún componente de carbono, y en cuanto a las dos primeras, se debe tener cuenta su etapa de producción y la de reciclaje. Es decir, hay que tener cuenta el impacto que tiene el trabajar y reciclar 130Kg de cobre y acero; y 273Kg de polietileno de alta densidad.

La media de emisiones de CO₂ asociada al cobre es de 2,2Kg de CO₂ por kg³⁰, suponiendo que la estructura física de la BCG es de 50% acero y 50% cobre, las emisiones asociadas a la parte de cobre son de 143Kg de CO₂. Por otro lado, el acero es una aleación de hierro y carbono, su obtención conlleva unas emisiones asociadas de 3,81Kg de CO₂ por kilogramo de acero inoxidable³¹, lo que conlleva a unas emisiones asociadas a la BCG de 248Kg. Es decir, a pesar de considerar un reciclaje de este material una vez finalizada su vida útil, su producción habrá supuesto la emisión de 391Kg de CO₂.

El proceso de producción del polietileno emite 3Kg de CO₂ para la producción de un kilogramo de polietileno, es decir, supone 817kg de CO₂ emitidas a la atmósfera para su producción. Y para su reciclaje se necesitan 0,6Kwh de electricidad y 0,084Kg de diésel por cada kilogramo de polietileno³², es decir, acabado el ciclo de vida, el reciclaje supondría 55Kg de CO₂ asociado al consumo eléctrico y 59Kg de CO₂ asociado al diésel.

Si recogemos los resultados obtenidos en los párrafos anteriores se obtiene la siguiente tabla.

Tabla 35 Impacto en el cambio climático de los 7 elementos tecnológicos

| Elementos tecnológicos distinguidos | Cambio climático (Kg CO ₂) |
|-------------------------------------|--|
| Electricidad | 22.697 |
| El refrigerante de la BCG | 2.698 |
| BCG | 391 |
| Fluido portador de calor | 0 |
| Intercambiador de calor | 931 |
| Pozo | 600 |
| Transporte | 122 |
| Total | 27.439 |

Fuente 96 Elaboración propia

Al tratarse de una instalación para una vivienda unifamiliar con un consumo para climatización bajo, casi todos los elementos cobran una relevancia similar en las emisiones de gases de efecto invernadero, excepto el del consumo de electricidad, que es el mayor debido a su continua contribución durante los 25 años de vida.

15.3.4.2 *Contribución al agotamiento de los recursos fósiles*

Este impacto se mide en kilogramos de petróleo equivalente y mide el uso de recursos fósiles para el desarrollo de la instalación, es decir, debemos distinguir si estas emisiones se deben a uso de fuentes energéticas carbonatadas o tienen algún tipo de vínculo, y si no guaran ningún tipo de relación, su contribución será de 0.

En el caso del fluido portador de calor la contribución es nula, ya que no emite emisiones, y en el del refrigerante también, ya que sus emisiones no se deben al consumo de fuentes energéticas, si no a las propiedades químicas del gas.

La relación entre toneladas equivalentes de petróleo (tep) y las distintas cantidades de combustibles fósiles es la siguiente:

- 0,9275tep por cada 10^3m^3 de gas natural
- 0,4267tep por cada tonelada de carbón
- 1,035tep por cada tonelada de gasóleo

En 2019 el mix eléctrico en España dependía del gas natural en un 32,79%, tanto para el funcionamiento de ciclos combinados (el 11,96%), como para la cogeneración (el 20,83%), mientras que el uso de carbón solo representaba un 4,33%.

Por tanto de los 68,541Mwh que consume la BCG, solo el 37,12% de la electricidad contribuye al agotamiento de los recursos fósiles. El poder calorífico del gas es de $10,83\text{Kwh}/\text{m}^3$, teniendo en cuenta que el rendimiento del ciclo combinado es del 58% y el de la cogeneración del 90%, se calcula que el volumen de consumo de gas natural a lo largo del ciclo de vida de la instalación será de 1.305m^3 y 1.465m^3 respectivamente, expresado en cantidades equivalentes de petróleo, son 1.210Kg de petróleo en el caso del ciclo combinado y 1.359Kg de petróleo debidos a la cogeneración.

En el caso de las centrales de carbón su eficiencia suele ser del 33%, sabiendo que su poder calorífico es de $9,08\text{Kwh}/\text{Kg}$, se calcula que se necesitan 990Kg de carbón, o lo que es lo mismo, 423 kilogramos de petróleo.

Los elementos relativos al pozo y al transporte, tienen su influencia en el consumo de diésel. Se ha calculado previamente un consumo de 231 litros de gasóleo para la perforación del pozo y 49 litros debido al transporte. Teniendo en cuenta la densidad del diésel, $0,85\text{kg}/\text{l}$ y la equivalencia en tep del diésel, se obtiene que la cantidad de petróleo equivalente debido a la construcción del pozo es de 203Kg de petróleo equivalente, y para el caso del transporte 43Kg.

El material con el que se ha hecho el intercambiador de calor es el polietileno, es un derivado del petróleo, concretamente del etileno, por lo que para calcular su repercusión en el agotamiento de los recursos fósiles, analizamos su proceso de fabricación. Se ha calculado anteriormente, que las emisiones debidas a su producción son de 931Kg de CO_2 , si se tiene en cuenta que el combustible usado para su obtención es el gas natural y que el factor de emisiones del gas natural es de $0,182\text{Kg}$ de $\text{CO}_2/\text{Kwh}^{33}$, se consumió 5.115Kwh para la obtención del material, es decir, 473m^3 de gas natural, o lo que es lo mismo, 438Kg equivalentes de petróleo.

Por último, queda el estudio de la BCG, si consideramos que el combustible utilizado en las diferentes etapas para la obtención final de las piezas que la componen ha sido el gas natural, se obtiene que de los 391Kg CO₂ asociados equivalen a (considerando las premisas aplicadas en los apartados anteriores) 33Kg petróleo equivalente.

Todos estos resultados se encuentran recogidos en la siguiente tabla.

Tabla 36 Impacto en el agotamiento de los recursos fósiles de los 7 elementos tecnológicos

| Elementos tecnológicos distinguidos | Agotamiento del recursos fosiles (Kg petroleo eq) |
|-------------------------------------|---|
| Electricidad | 2.992 |
| El refrigerante de la BCG | 0 |
| BCG | 33 |
| Fluido portador de calor | 0 |
| Intercambiador de calor | 438 |
| Pozo | 203 |
| Transporte | 43 |
| Total | 3.710 |

Fuente 97 Elaboración propia

16 Comparativa

En este apartado, se relacionan algunos resultados anteriormente obtenidos que nos permitan conocer las diferencias más notables entre la Región de Murcia y Baviera. Se selecciona el municipio de Cartagena, por tener características más similares con la de Múnich.

La primera característica notable, es que el tamaño de la vivienda media de las zonas seleccionadas es mucho mayor en el caso de Múnich. El tamaño de la vivienda media seleccionada en Cartagena es de 216m², mientras que en Múnich es de 322m². Esta primera diferencia será un factor que influirá en gran medida en los resultados obtenidos tanto para demanda energética, como para emisiones asociadas, ya que, otra relevante es la relativa a la climatología que es más severa en la zona de Baviera.

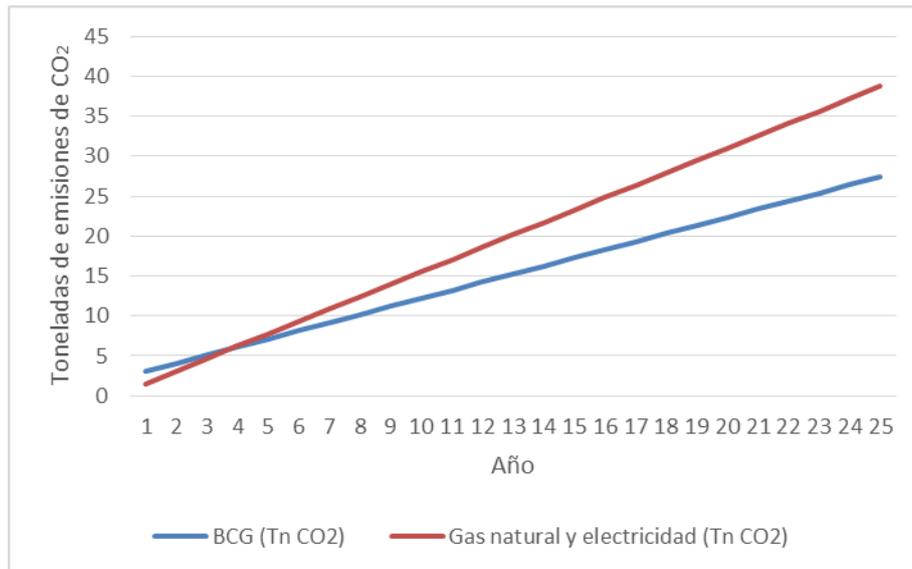
Por otro lado, existe una mayor concentración de la vivienda en la Región de Murcia que en Alemania. Mientras que en Cartagena se pueden encontrar alrededor de 750 viviendas por km², en Múnich la concentración es de alrededor de 400 viviendas por km², es decir, la facilidad con la que poder llevar a cabo proyectos geotérmicos será mayor en la zona alemana. El número de viviendas unifamiliares en Múnich es mayor que en Cartagena, donde se encuentran predominantemente viviendas en edificios.

La demanda energética que necesita Múnich es mucho mayor de la que puede necesitar una localidad murciana, a pesar de no necesitar del suministro de frío. Para una vivienda de 250m² la demanda energética anual en Múnich es de 28.275KWh, mientras que en Cartagena es de menos de la mitad, 12.933KWh, es decir, se necesita solo la mitad de potencial geotérmico del que puede depender una vivienda bávara para satisfacer las demandas de climatización anuales en una localidad murciana.

Si se analizan las emisiones de CO₂ medias por unidad de KWh, en ambas localidades la media de emisiones para viviendas que disponen de sistema de climatización son similares. Siendo ligeramente superior para el caso de la Región de Murcia, 203,6g CO₂ por KWh, frente a los 201,5g CO₂ de Baviera. Sin embargo, en Baviera al tratarse de viviendas de mayor tamaño y una mayor demanda energética, las emisiones finales serán mucho mayores que en una localidad murciana. Para el mismo tipo de vivienda, de 250m², la repercusión ambiental en cada una de ellas sería de 2,15Tn CO₂ para Cartagena, frente a los 5,77Tn CO₂ de Múnich.

En el apartado anterior, se analizaba el impacto ambiental que produciría la instalación de una BCG en la Región de Murcia a lo largo de su ciclo de vida. A continuación, se observa de manera contrastada el impacto que supondría la BCG a lo largo del tiempo, frente a un sistema de climatización convencional, de gas natural para calefacción y refrigeración para electricidad.

Gráfica 38 Comparativa de emisiones de CO₂ emitidas



Fuente 98 Elaboración propia

Se puede comprobar que queda rápidamente compensado ambientalmente el uso de la BCG, de tal manera que al tercer año, la sustitución del viejo modelo energético quedaría compensado ambientalmente, y al final de su ciclo de vida, se podrían haber ahorrado la emisión de casi 12 toneladas de CO₂ por cada vivienda modificada.

Otro dato a tener en cuenta, es el precio de la electricidad, es una variable que puede ser determinante para el conseguimiento del rendimiento económico. En Alemania, el precio de la electricidad es de alrededor 3 veces más caro que en España, su valor varía en función del consumo eléctrico anual y el suministrador, pero para un caso general es de 0,3147€/KWh³⁵, aunque hay que tener en cuenta que el salario medio alemán, también es más elevado, siendo de 3.994€ en 2019³⁵. En cuanto al precio del gas natural se asemeja más al precio español, siendo este de 0,0582€/KWh.

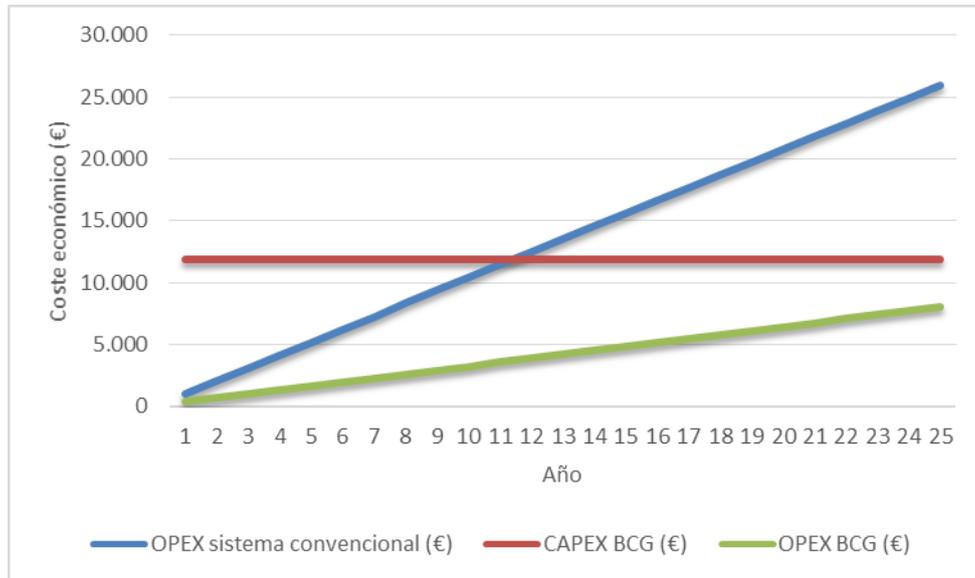
En España, el precio de los combustibles fósiles es especialmente bajo. El precio del gas natural es de 0,0484€/KWh³⁶, a este precio hay que sumarle el término fijo de la factura de gas, 8,73€/mes (estos precios son los que se encuentran en el mercado para tarifas 3.2. es decir, viviendas con un consumo de gas de más de 5.000KWh anuales); y el precio de la electricidad en el mercado regulado es de 0,1175€/Kwh. A pesar de tener, en relación económica, similitudes entre los precios energéticos en España y Alemania, la viabilidad económica sigue siendo un problema.

La inversión económica para una vivienda de 250m² para la sustitución del sistema antiguo de climatización tendría una recuperación económica pasados 17 años de su instalación, sin embargo la sustitución de los elementos desfasados de la instalación una vez superados los 25 años, podrían alargar el ciclo de vida de esta y un mayor rendimiento económico a largo plazo.

Podemos dividir los gastos en dos tipos: de capital (CAPEX) y de operación (OPEX). La principal barrera para llevar a cabo esta iniciativa es poder afrontar los costes CAPEX, ya que, mantener una instalación convencional, no suponen gastos de inversión. En cuanto al balance de los costes OPEX, su viabilidad económica es clara.

El coste económico mensual, OPEX, del sistema antiguo supondría 1.037€ anuales, frente a los 321€ de consumo de electricidad de la BCG, el ahorro económico debido a gastos operacionales supondría 17.893€ pasados los 25 años. Mientras que el ahorro económico si tenemos en cuenta costes OPEX y CAPEX sería de 6.076€, siendo los costes CAPEX de la BCG de 11.817€. La siguiente gráfica muestra la comparativa entre los gastos de CAPEX y OPEX de la BCG, por separado, frente a los gastos OPEX del gas natural.

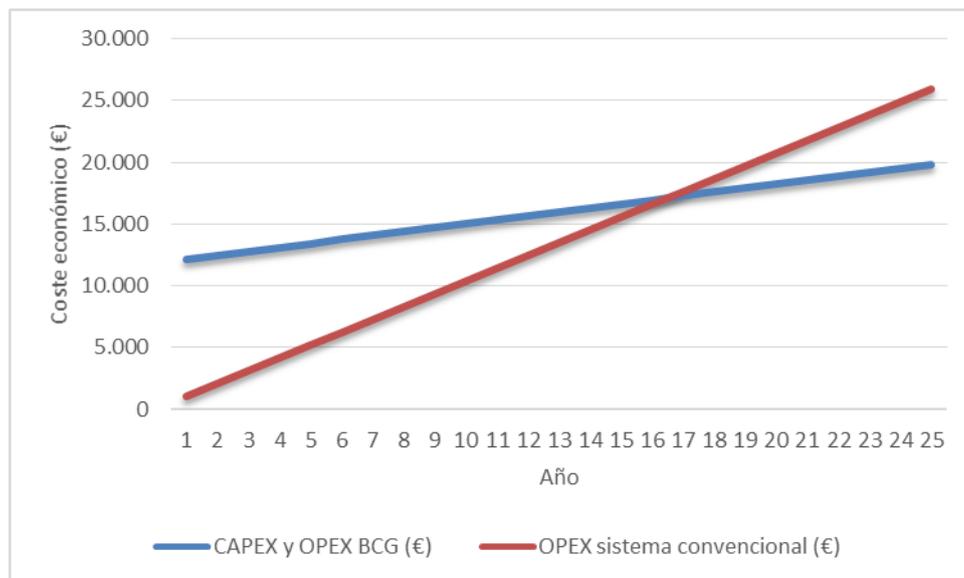
Gráfica 39 Comparativa de costes de dos modelos de climatización (separados)



Fuente 99 Elaboración propia

La siguiente gráfica muestra la comparativa entre los gastos de instalación completa y gastos de electricidad de la BCG, en conjunto, frente a los gastos debidos al consumo del gas natural

Gráfica 40 Comparativa de costes de dos modelos de climatización (juntos)



Fuente 100 Elaboración propia

Esta gráfica pone de relieve la necesidad la necesidad del apoyo por parte de las entidades gubernativas para poder llevar a cabo este tipo de instalaciones. Actuar sobre el IVA en este tipo

de instalación, supondría un gran ahorro inicial por parte del interesado de 2.050€. Otra posible medida podría ser la reducción del precio de la electricidad para los ciudadanos que dispongan de este tipo de instalación.

Los resultados obtenidos en este trabajo quedan resumidos en las siguientes tablas.

Ilustración 25 Tabla resumen resultados del trabajo I

| Municipio | Nº viviendas | Demanda de calefacción (KWh) | Demanda de refrigeración (KWh) | Demanda total (Kwh) | Emisiones de CO ₂ totales asociadas (Tn) | Calor extraíble del subsuelo (W/m) | Energía anual extraíble (KWh) | Ratio de suministro máximo |
|------------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Cartagena | 1.404 | 10.300.846 | 5.357.932 | 15.658.778 | 2.218 | 79 | 14.845.799 | 0,95 |
| Lorca | 236 | 1.372.375 | 292.677 | 1.665.052 | 279 | (76), (64) y (63) | 3.186.442 | 1,91 |
| Molina de Segura | 1.270 | 9.689.170 | 5.039.760 | 14.728.930 | 2.086 | 65 | 15.030.979 | 1,02 |
| Múnich | 1.403 | 51.023.999 | | 51.023.999 | 10.281 | 80 | 23.749.984 | 0,47 |

Fuente 101 Elaboración propia

En la siguiente tabla se muestran los relativos a la propuesta económica.

Tabla 37 Tabla resumen resultados del trabajo II

| Municipio | Propuesta económica (€) | Retorno de la inversión (año) | Emisiones asociadas en su ciclo de vida (Tn de CO ₂) | Emisiones de un sistema convencional (Tn de CO ₂) | Ahorro de emisiones (Tn CO ₂) | Agotamiento de los recursos fósiles (Kg eq de petróleo) |
|-----------|-------------------------|-------------------------------|--|---|---|---|
| Cartagena | 11.818 | 17 | 27 | 39 | 11 | 3.710 |

Fuente 102 Elaboración propia

16.1 Análisis DAFO

El análisis DAFO resulta útil para conocer las ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas, en base a las condiciones técnicas, económicas y ambientales.

El análisis interno tiene como objetivo definir las fortalezas y debilidades (eficiencia energética, fiabilidad, eficiencia económica...), mientras que el análisis externo, las oportunidades y las amenazas de las áreas objetivo (evaluación del mercado local, medio ambiente y las alternativas).

Algunas debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades han sido obtenidas a partir de la publicación mencionada en la bibliografía. *Energy performance strategies for the large scale introduction of geothermal energy in residential and industrial buildings: The GEO.POWER project*¹⁷.

Tabla 38 Debilidades para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas

| DEBILIDADES | | |
|--|-----------------------------------|--|
| Comunes | Baviera | Región de Murcia |
| Altos costos | Altos picos de demanda energética | Desconocimiento social |
| Requisito de ingenieros y contratistas calificados para la instalación del sistema | | No se mantiene una tendencia creciente en el sector de la construcción |
| Limitaciones de desarrollo en ubicaciones con alta densidad poblacional | | Ausencia de ayudas económicas para instalaciones de BCG |

Fuente 103 Elaboración propia

Algunas de las barreras que podemos encontrar para el desarrollo de la tecnología geotérmica se encuentran marcadas por los puntos definidos en la tabla de debilidades. Sin embargo, las que diferencian a la Región de Murcia de Baviera, se pueden combatir con publicidad, actuando sobre los edificios de nueva construcción si se cumplen las características necesarias y haciendo pública la reivindicación de la necesidad de llevar medidas a cabo para combatir el cambio climático. Por otro lado, los elevados costos de operación dejarán de ser una debilidad conforme se desarrolle la tecnología.

Tabla 39 Amenazas para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas

| AMENAZAS | | |
|---|----------------|---|
| Comunes | Baviera | Región de Murcia |
| Incertidumbres del mercado | | Falta de regulaciones gubernamentales e incentivos significativos |
| Segmento de mercado limitado | | Disponibilidad de terreno para desarrollo de la instalación |
| Economía en recesión | | |
| Alta sensibilidad a los precios | | |
| Barreras de mercado con los combustibles fósiles | | |
| Riesgos de inversión inicial antes de la recuperación | | |

Fuente 104 Elaboración propia

Existen numerosas amenazas que pueden actuar de barrera para el desarrollo de la geotermia, sin embargo, la mayoría son comunes a nivel mundial, y estas no han impedido su entrada en el modelo de consumo alemán. Podemos esperar, que a medio-largo plazo, la barrera del mercado con los combustibles fósiles, también deje de ser una barrera, debido a la previsión de su agotamiento en un futuro próximo. Faltan regulaciones estatales en España que faciliten el desarrollo de la geotermia en las viviendas españolas.

Tabla 40 Fortalezas para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas

| FORTALEZAS | | |
|--|---|--|
| Comunes | Baviera | Región de Murcia |
| Edificios con poca antigüedad | Alto potencial geotérmico en el interior de la tierra | Bajos picos de demanda energética |
| Alto desarrollo científico y tecnológico | Objetivos geotérmicos definidos desde el gobierno | Edificios en buen estado |
| Alta variedad de desarrollo de proyectos geotérmicos | Baja densidad de viviendas | Posibilidad de realizar una transición casi total geotérmica |
| Alta eficiencia de las BCG | Normalización del uso de la geotermia en calefacción | |

Fuente 105 Elaboración propia

La tabla superior define algunos de los puntos que pueden ayudar a la aceptación del uso geotérmico en los hogares. El gran desarrollo tecnológico de las bombas es el principal aliado, falta claridad en la definición de los objetivos españoles en materia geotérmica.

Tabla 41 Oportunidades para la aplicación de la tecnología de la BCG en las zonas identificadas

| OPORTUNIDADES | | |
|---|---|---|
| Comunes | Baviera | Región de Murcia |
| Avances tecnológicos | Incentivos gubernamentales y deducciones fiscales | No existe una presencia total de sistemas de calefacción y refrigeración en los hogares murcianos |
| Aumento de los costos de energía | Aumento de las tasas de crecimiento del mercado | Existencia de estudios geológicos e hidrológicos del IGME |
| Falta de certeza del suministro de materia prima para la producción energética | Mayor repercusión ambiental | Mayor crecimiento de viviendas unifamiliares que de bloques en los últimos años |
| Determinación política de reducir las emisiones contaminantes relacionadas con los combustibles fósiles | | |
| Políticas europeas y nacionales para la reducción de CO ₂ | | |
| Aumento del interés de los clientes y los inversores | | |
| Aceptación pública | | |
| Alta posibilidad de atraer la cooperación y crear nuevos puestos de trabajo | | |
| Existencia de planes de financiamiento europeos | | |
| Ejemplo de desarrollo de proyectos en otros países | | |
| Disponibilidad del potencial geotérmico necesario para su aprovechamiento en climatización | | |

Fuente 106 Elaboración propia

Por último, se analizan las oportunidades que se deben tener en cuenta a la hora de valorar la aplicación de esta tecnología. El interés internacional creciente en desarrollar las energías renovables y los ambiciosos objetivos de una Europa 0 emisiones en 2050 prometen facilitar el desarrollo de todo tipo de medidas que combatan el cambio climático. No se debe olvidar que en los últimos años, la conciencia social sobre el impacto ambiental de los combustibles fósiles ha aumentado, y es una oportunidad que puede ser determinante a la hora de tomar las decisiones finales.

17 Conclusiones

La geotermia se presenta en el siglo XXI como una alternativa que puede ser parte de las soluciones a los problemas energéticos que se viven actualmente. Mientras que su aporte se ha ido reconociendo en otros países europeos, en España no se le ha prestado especial atención, debido a encontrar soluciones más económicas, de mayor facilidad en su instalación y con un mayor conocimiento en su aplicación.

El impacto ambiental que puede suponer el uso de la energía geotérmica en la contribución al conseguimiento de los retos energéticos nacionales e internacionales es importante. Su implantación en el sistema energético nacional, es ya una realidad en muchos países europeos. Los avances tecnológicos y de eficiencia, además del previsible agotamiento de los recursos fósiles empujan a esta tecnología a su implementación.

Actualmente en la Región de Murcia, existe una numerosa cantidad de viviendas que reúnen las características necesarias para instalar la tecnología de la bomba de calor geotérmica. La implementación de la BCG podría ser más económica que su implementación en otros países europeos, debido a la menor necesidad energética y la distribución de esta de manera más estable a lo largo del año, pero el rendimiento económico obtenido por ella mucho menor, debido a la misma razón, su uso es menor.

Sin embargo, sigue siendo necesario que en España se tomen medidas políticas que faciliten su desarrollo. En este sentido, un ejemplo en el incentivo de la modernización del sistema de calefacción ha sido Alemania, y puede servir de modelo para la consecución de nuestros objetivos. El gobierno alemán, consciente de la necesidad de incentivar la transición hacia otro modelo en el consumo de calor en los hogares ofreció algunas facilidades para el desarrollo de estos proyectos, algunas de ellas fueron: la financiación de servicios de asesoría para los interesados en cambiar el sistema de calefacción, el desarrolló un programa de préstamos para los proyectos de perforación geotérmica, la aprobación de leyes que obligaban a los propietarios de nuevas viviendas a asociar parte de su demanda de climatización a las energías renovables o la oferta de ayudas para la instalación de las BCG.

Por otro lado, el volumen de mercado al que pueden interesar estas alternativas podría ser mayor si se promocionasen desde las entidades estatales estas inversiones. Los grupos de interesados, a priori, son los propietarios de una vivienda unifamiliar y las obras de nueva construcción.

En cualquier caso, el impacto positivo ambiental es indiscutible, y siendo esta una razón de preocupación global, justifica el apoyo económico por parte de autoridades estatales para su desarrollo. Pero, las ayudas económicas, no solo se pueden encontrar en España, existen diversas plataformas a nivel internacional que financian este tipo de instalaciones.

Podemos concluir que la principal razón, y causa de que exista más apoyo estatal, por las que el uso de la geotermia en Alemania es más extendido, es por la elevada capacidad de ahorro energético y económico que supone esta alternativa para ciudades como Múnich. Ya que, además de tratarse de viviendas por norma general unifamiliares y que estas son más grandes que las murcianas, la severidad climática implica un consumo energético anual en una vivienda alemana de 2,18 veces superior al de una vivienda en la Región de Murcia del mismo tamaño.

Si a esto incluimos que el potencial geotérmico puede ser de hasta 1,27 veces mayor que en algunos puntos de la Región de Murcia seleccionados, la capacidad económica de los ciudadanos alemanes es mayor, y la BCG es una alternativa socialmente aceptada y apoyada

gubernamentalmente; se puede entender por qué la evolución del uso de la geotermia en Baviera ha tenido éxito.

En definitiva, para el conseguimiento de la implementación del uso de la geotermia en España, se debe mantener una actitud divulgativa, que manifieste las ventajas de este tipo de instalaciones, su uso extendido en otros países y la necesidad del apoyo en la financiación de ellas.

18 Bibliografía

- [1] Excel 2016 (v16.0) (2015). Recuperado de <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>
- [2] QGIS Girona (3.0) (2018). Recuperado de <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>
- [3] Web climate-data (s.f.). <https://es.climate-data.org/europe/espana/region-de-murcia-276/>
- [4] Centro Nacional de Información Geográfica (s.f.). <http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- [5] Guillermo, L. y Vicente, R. (s.f.) *Guía de la energía geotérmica*. Madrid, España
- [6] *Plan de Acción de Energía Sostenible de Murcia*. (s.f.) Murcia, España
- [7] *Página web Instituto Geológico Minero de España (IGME)* Recuperado de <https://www.igme.es/Geotermia/La%20geotermia%20en%20el%20mundo.htm>
- [8] José Sanchez Guzmán, Laura Sanz López, Luis Ocaña Robles (2011). *Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020*. Madrid, España
- [9] *Developing geothermal district heating in Europe*. (s.f). Recuperado de https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/geodh_final_publishable_results_oriented_report.pdf
- [10] José, S., Laura S., y Luis O. (2011). *Evaluación del potencial de la energía geotérmica. Estudio técnico PER 2011-2020*. Madrid, España
- [11] Josef, W., Holger, B., Inga, M. (2019). *Geothermal Energy Use, Country Update for Germany 2016 – 2018*. Den Haag, The Netherlands
- [12] IGME e IDAE (2008). *Manual de geotermia*. Madrid, España
- [13] Jesús, P., Claudio M., Francisco M., Ignacio R. (2016). *Parque de Bombas de Calor de España. Síntesis del Estudio*. Madrid, España
- [14] Web del Ministerio Federal de Economía y Energía (2020). <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/energiewende-im-gebaeudebereich.html>
- [15] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (2019). *Bayerisches Aktionsprogramm Energie*
- [16] *Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España (2011-2020)*. (2010). Madrid, España
- [17] ReGEeoCities - promoting shallow geothermal as a resource for Europe's cities. (2015). Recuperado de <https://setis.ec.europa.eu/publications/setis-magazine/geothermal-energy/regeecities-promoting-shallow-geothermal-resource>
- [18] Beatrice, M., Dimitrios, M., Francesco, T., Micòl, M. (2013). *Energy performance strategies for the large scale introduction of geothermal energy in residential and industrial buildings: The GEO.POWER project*. Ferrara, Italia
- [19] Web geotis. <https://www.geotis.de/geotisapp/geotis.php>

- [20] José Enrique Azcarate Martín. (s.f.). *La energía geotérmica*. Madrid, España
- [21] Adela Ramos, Nieves Espinosa y María Socorro García-Cascales. *Evaluación y Valoración mediante SIG del Potencial Geotérmico de muy baja entalpía en la Región de Murcia*.
- [22] Sachsen-Anhalt. VDI 4640. Recuperado de <http://www.geodaten.lagb.sachsen-anhalt.de/wilma.aspx?pgId=43>
- [23] *Programa Integral de Ahorro y Eficiencia de la Energía de la Región de Murcia 2010-2016*. (2008). Murcia, España
- [24] *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos*. (s.f.) Madrid, España
- [25] Carolin Tissen, Kathrin Menberg, Peter Bayer and Philipp Blum *Meeting the demand: geothermal heat supply rates for an urban quarter in Germany*
- [26] Atecyr (s.f.). *Informe sobre la necesidad de calefacción en la Región de Murcia*.
- [27] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (s.f.). Recuperado de <https://www.idae.es/faq/como-debo-gestionar-mi-sistema-de-calefaccion-para-que-sea-eficiente-sin-reducir-el-comfort#:~:text=El%20consejo%20de%20IDAE%20es,es%20suficiente%20para%20dormir%20confortablemente>
- [28] Livia Beier, Christian Bantle (2019). *Wie heizt Bayern?* Berlin, Alemania
- [29] Dominik, S., Ronnie, J., Markus, K., Philipp, B., Stefanie, H., Peter, B. (2010). *Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems*. doi:10.1016/j.rser.2010.04.002
- [30] José Antonio Espí Rodríguez y J. Luis Sanz Contreras. *La Huella del Carbono en la clasificación ambiental de los proyectos mineros: Cobre Las Cruces. (España)*. Madrid, España
- [31] Societe de Calcul Mhatematique *Acero inoxidable y CO₂: Hechos y observaciones científicas*. Bruselas, Bélgica
- [32] Daniel Garraín, Rosario Vidal, Vicente Franco y Pilar Martínez (2008). *Análisis del ciclo de vida del reciclado del polietileno de alta densidad*.
- [33] Oficina Española del Cambio Climático (2020). *Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*.
- [34] <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/strompreise-bestandteile.html#:~:text=So%20betrug%20der%20durchschnittliche%20Strompreis,der%20%C3%B6rtliche%20Grundversorger%20ist%2C%20durchschnittlich>
- [35] <https://www.merkur.de/leben/karriere/gehalt-lohn-verdienen-durchschnitt-deutschland-zr-10493938.html>
- [36] <https://www.papernest.es/energia/precio-gas-natural/precio-kwh/>