



# **7. ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE SIG PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO EN GRAN CANARIA.**

**AUTORES:  
FRANCISCO VIDAL FERNÁNDEZ, FRANCISCO SANTANA SARMIENTO**

## **RESUMEN.**

Este trabajo tiene como objetivo presentar un análisis multicriterio mediante SIG que sirva como propuesta de partida para la optimización del recurso geotérmico existente en la isla de Gran Canaria.

Este objetivo se ha conseguido en dos fases. En la primera fase se han tenido en cuenta aquellos factores que favorecen la existencia de un buen recurso geotérmico: evidencias geológicas, anomalías térmicas y la permeabilidad del terreno. Su resultado ha sido un Mapa de Recurso Geotérmico en Gran Canaria categorizado en función de su potencial. Su información permite identificar los municipios con mayor potencial geotérmico en la isla.

En la segunda fase se ha realizado otro análisis en el que se ha tenido en cuenta los factores que favorecen la instalación de diferentes aplicaciones de energía geotérmica: colectores horizontales, sondas verticales, invernaderos y desaladoras. El resultado ha sido un conjunto de mapas en los que se definen las zonas más idóneas para la implantación de cada una de dichas aplicaciones.

El resultado obtenido ofrece una información objetiva y precisa de las posibilidades de localización de diferentes instalaciones de energía geotérmica en Gran Canaria. Esta información es potencialmente muy útil como herramienta para la planificación y toma de decisiones en este ámbito.

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo sostenible de un territorio está estrechamente relacionado con la gestión eficiente de sus recursos. En este sentido, Rutkauskas (2008) indica que la competitividad de un territorio depende de su capacidad para utilizar eficientemente los recursos disponibles, así como de su habilidad para introducir innovaciones y cambios positivos en el entorno que garanticen su desarrollo sostenible. Los estudios realizados en los años 70 y 80 dentro del Plan Energético Nacional por parte del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), y en los posteriores por el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (ITER) y el Instituto Volcanológico de Canarias (INVOLCAN), se definió a Canarias como una de las zonas del territorio nacional con potencial para el desarrollo de la energía geotérmica. Teniendo en cuenta estos trabajos preliminares y que las energías renovables es un factor clave para el desarrollo sostenible de los territorios, el recurso territorial objeto de estudio ha sido la energía geotérmica. El área de estudio se localiza en Gran Canaria (archipiélago canario). Este territorio se caracteriza por su dependencia de la importación de petróleo para abastecer sus necesidades energéticas.

Esta circunstancia ha motivado la realización de un análisis multicriterio (EMC) mediante un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objetivo de identificar las zonas con potencial para explotar el recurso geotérmico en dicha isla. En los últimos años, esta combinación (SIG-EMC) ha contribuido considerablemente a la investigación territorial y ha favorecido un progreso notable en la cantidad y calidad de la investigación relacionada con el territorio (Malczewski, 2006). En la literatura se pueden encontrar variados ejemplos de su aplicación en planificación de energías renovables (e.g., Izquierdo et

En el contexto de este trabajo, la utilización de esta técnica posibilita evaluar de forma simultánea el conjunto de recursos territoriales que pueden estar implicados en el desarrollo de la energía geotérmica. En este sentido, la utilización de geoinformación mediante SIG permite la localización precisa de los recursos territoriales a partir de capas temáticas, cada una de las cuales representará un recurso. A su vez, teniendo en cuenta que no todos los recursos influyen con la misma importancia, posibilita un análisis ponderado entre los mismos.



Para realizar este estudio es necesario determinar los factores que hacen que exista un buen recurso geotérmico. En este sentido, Llopis y Rodrigo (2008) indican que los tres factores esenciales para la existencia de dicho recurso son la temperatura, los fluidos y la permeabilidad. El factor más importante es la temperatura (su cantidad determina las aplicaciones geotérmicas que se pueden llevar a cabo), los fluidos tienen la función de transportar el calor (ya sea de manera natural o artificial), y la permeabilidad favorece el tránsito del fluido portador del calor.

Las posibles aplicaciones de la energía geotérmica son muy diversas y se clasifican según su nivel de temperatura o entalpía. En general, la energía geotérmica se aprovecha principalmente para la producción de electricidad, cuando se trata de recursos de alta entalpía. Cuando la temperatura no es suficiente para producir energía eléctrica, sus principales aplicaciones son térmicas en los sectores industrial, servicios y residencial. En el caso de temperaturas por debajo de los 100 °C, puede hacerse un aprovechamiento directo o a través de bombas de calor geotérmicas (calefacción y refrigeración). Cuando se trata de recursos de temperaturas muy bajas (por debajo de los 25°C) las posibilidades de uso están en la climatización y obtención de agua caliente.

## RECURSOS GEOTÉRMICOS

Partiendo de la idea básica apuntada por Llopis y Rodrigo (2008) y la revisión de algunos trabajos precedentes encaminados a identificar zonas de alto potencial geotérmico (e.g., Prol-Ledesma, 2000; Coolbaugh et al., 2002; Noorollahi et al., 2008, Yousefi et al, 2010), se ha considerado que los factores que pueden determinar el recurso geotérmico en el territorio objeto de estudio son los que se presentan en la Tabla 1.

	Factores	Subfactores	Pesos
Recurso Geotérmico	Evidencias Geológicas (30%)	Rocas volcánicas del Cuaternario (33,33%)	10%
		Fallas (33,33%)	10%
		Volcanes, centros de emisión, calderas y cráteres (33,33%)	10%
	Anomalías Térmicas (40%)	Gradiente geotérmico (50%)	20%
		Flujo de Calor (50%)	20%
	Permeabilidad (30%)	Permeabilidad (100%)	30%

Tabla 1. Factores que determinan el recurso geotérmico

## EVIDENCIAS GEOLÓGICAS

Los recursos geotérmicos pueden encontrarse en una amplia variedad geológica, pero la presencia de rocas volcánicas del cuaternario es uno de los factores más importantes a tener en cuenta, ya que la actividad volcánica reciente produce fuentes de calor en forma de diques intrusivos (Rybach y Muffler, 1981). Se han llevado a cabo varios estudios en Asia para determinar la distancia desde los pozos geotérmicos de extracción de calor a las rocas volcánicas del cuaternario y se ha determinado una distancia de influencia de 2000 metros (Sakaguchi y Takahashi, 2002). Otro de los factores clave son las fallas y las fracturas de las rocas, ya que facilitan que el líquido caliente fluya a través de ellas (Hanano, 2000). Siguiendo a Noorollahi et al. (2007), se ha considerado una zona de influencia para este factor de 2000 m. Los volcanes son evidentes indicadores de fuentes de calor subterráneo. Los cráteres volcánicos, las calderas y los centros de emisión, también son elementos con gran potencial de energía geotérmica debido a su naturaleza. Los estudios de exploración geotérmica realizados en el Norte de Japón (Noorollahi, 2007) e Irán (Emami, 1994), han determinado una zona de influencia de 6000 metros. En el limitado contexto territorial de la zona objeto de estudio se ha estimado considerar una distancia de 3000 metros.

## ANOMALÍAS TÉRMICAS

Para determinar las anomalías térmicas se utilizan mediciones de la temperatura del subsuelo mediante pozos exploratorios a profundidades determinadas. Una vez se conocen estas temperaturas y las profundidades, se puede calcular el gradiente geotérmico de la zona. Los valores de gradientes geotérmicos elevados se encuentran a lo largo de fallas,



zonas cercanas a volcanes y formaciones volcánicas, las cuales proporcionan una gran fuente de calor. La media del gradiente geotérmico de temperatura dentro de la corteza continental es 30 °C / km, (Noorollahi et al., 2007). A su vez, multiplicando el gradiente geotérmico por el valor de conductividad térmica de las rocas, obtendremos el flujo de calor del área de estudio. Por tanto, para determinar este factor, también es necesario conocer la litología de la zona de estudio y su coeficiente de conductividad térmica. El flujo medio de calor en las regiones continentales es aproximadamente 62 MW / m<sup>2</sup>. Los valores superiores a 80-100 MW / m<sup>2</sup> indican condiciones geotérmicas anómalas del subsuelo (Brott et al., 1976).

### PERMEABILIDAD

El agua superficial debe tener la posibilidad de infiltrarse en el subsuelo, a través de fracturas o rocas permeables, hasta alcanzar la profundidad necesaria para ser calentada. Además, la permeabilidad también hace que el fluido caliente ascienda cerca de la superficie. Por tanto, las zonas con permeabilidad alta son aquellas que favorecen la existencia y posterior explotación de la energía geotérmica. Para generar un mapa de permeabilidad es necesario disponer de un mapa litológico y asignarle el valor de la permeabilidad en función de la litología.

Además de los factores indicados anteriormente, en la revisión de la literatura realizada, se ha observado que se tiene en cuenta el factor geoquímico. Las capas de información geoquímica utilizadas en los estudios geotérmicos son: aguas termales, fumarolas y zonas de alteración hidrotermal. En este trabajo no se han tenido en cuenta las aguas termales y fumarolas, ya que son inexistentes en la zona de estudio. La alteración hidrotermal, a su vez, depende de: temperatura, presión, litología, permeabilidad, y la composición del fluido del sistema (Browne, 1978; Harvey y Browne, 1991). Este factor tampoco se ha evaluado directamente debido a que, para conocer la presión y composición del fluido del sistema, habría que realizar un voluminoso inventario de perforaciones y muestras por toda la zona de estudio y no existe cartografía ni estudios que muestren dicha información. Ahora bien, los otros tres factores que determinan la alteración hidrotermal (temperatura, litología y permeabilidad) están implícitos en los factores tenidos en cuenta en el estudio.

### MAPA DEL RECURSO GEOTÉRMICO EN GRAN CANARIA

La metodología aplicada para determinar el mapa del recurso geotérmico fue un análisis multicriterio mediante SIG siguiendo los siguientes pasos:

- Elección de los datos de partida teniendo en cuenta el modelo presentado en la Tabla 1.
- Tratamiento de los datos
- Creación de los mapas de factores
- Asignación de pesos
- Generación del mapa de recurso geotérmico

Para la realización de este trabajo se utilizó tanto información publicada en entidades públicas y privadas, como geoinformación disponible en la IDE de Canarias. Para la gestión eficiente de la geoinformación, se utilizó el software ArcGIS 10 y se creó una geodatabase en cada una de las fases del mismo. Además, se realizaron correcciones topológicas tanto de la geoinformación original como de la geoinformación generada a lo largo del proceso de análisis.

En relación con el contexto territorial de este trabajo es necesario resaltar que la elaboración de los mapas del recurso geotérmico en Gran Canaria no abarca la isla en su conjunto, sino que está centrada en tres zonas determinadas. Se ha tomado esta decisión, porque la información relacionada con las perforaciones y la temperatura se encuentra puntualmente concentrada en las tres zonas más interesantes para el desarrollo de esta energía en la isla.

### MAPA DE EVIDENCIAS GEOLÓGICAS

Este mapa se ha elaborado a partir del Plan GEODE (2011) de cartografía geológica realizada por el IGME (<http://cuarzo.igme.es/sigeco/>). Para la determinación de las rocas volcánicas del cuaternario, se han seleccionado aquellas zonas que pertenecen a la época del holoceno o el pleistoceno teniendo en cuenta sus edades. Seguidamente, se identificaron las que son volcánicas (se encuentran constituidas por flujos de lava, basaltos, piroclastos, lahares y depósitos glaciáricos). En el caso de las fallas, se han considerado también las fallas normales con indicación de hundimiento y las fallas supuestas (ocultas). Una vez obtenidas ambas capas, se le aplicó una distancia de influencia de 2000 m y se



le asignó un peso en función de la distancia. La obtención de volcanes, centros de emisión, calderas y cráteres se ha realizado teniendo en cuenta diferentes capas temáticas que han tenido que ser unidas. En este caso también se le aplicó una distancia de influencia de 3000 m y se le asignó un peso en función de la distancia. Una vez se crearon las tres capas, se sumaron para poder crear el mapa final de evidencias geológicas.

## MAPA DE ANOMALÍAS TÉRMICAS

La elaboración de este mapa se ha realizado a partir una prospección geotérmica compuesta por 83 perforaciones realizada por ENADIMSA en 1979 (ver figura 1). Cada una de estas perforaciones vienen georreferenciadas con coordenadas Lambert y se identificaron los datos de profundidad, caudal de agua, temperatura de emergencia del agua, temperatura teórica del almacén y existencia de gases.

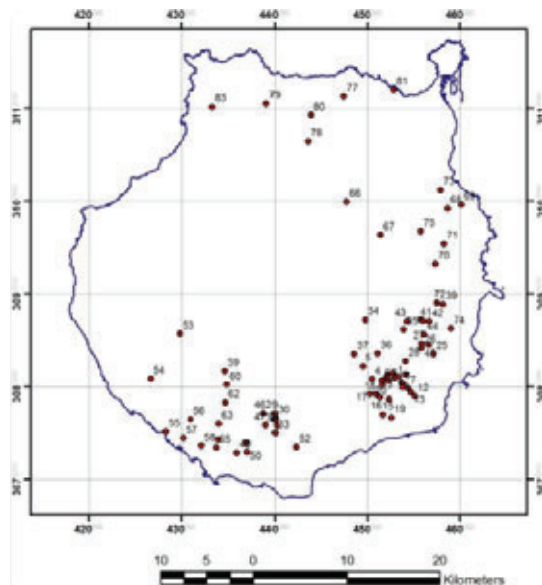


FIGURA 1. Perforaciones para la prospección geotérmica en coordenadas UTM.

El cálculo del gradiente geotérmico se realizó teniendo en cuenta la cota, la profundidad, la temperatura de emergencia del agua y la temperatura teórica de almacén.

$$G_p = \frac{\Delta T(^{\circ}\text{C})}{\Delta \text{Profundidad (km)}}$$

Una vez obtenido el gradiente geotérmico en los puntos que representan los pozos, se ha realizado una interpolación con los valores de gradiente geotérmico en  $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , utilizando el método de la distancia inversa ponderada.

En relación con el flujo de calor, es necesario tener en cuenta que se obtiene multiplicando el coeficiente de conductividad térmica de las rocas por el gradiente geotérmico.

$$Q_p = k * G_p \text{ (mW/m}^2\text{)}$$

El gradiente geotérmico ya había sido calculado previamente. Para determinar el coeficiente de conductividad térmica de las rocas es necesario disponer de la litología de la zona de estudio. Relacionando la litología con la permeabilidad se ha extraído una capa temática en la que se representan el tipo de rocas y su coeficiente de conductividad térmica. Esta información se ha extraído de GEODE (2011).

Finalmente, el mapa de anomalías térmicas se ha generado combinando las capas de información del gradiente geotérmico y del flujo de calor. Siguiendo a Noorollahi et al. (2007), ambas capas fueron clasificadas y ponderadas en función de los valores obtenidos.

## MAPA DE PERMEABILIDAD

El análisis de la permeabilidad se ha determinado a partir una tabla de equivalencias cualitativas entre litologías y permeabilidad realizado por el IGME. Seguidamente, se le han asignado los pesos en función del grado de permeabilidad.



## 7. ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE SIG PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO EN GRAN CANARIA.

Considerando todo lo indicado anteriormente, el flujo de trabajo seguido para el tratamiento de los datos y la creación de los mapas de factores se muestra en la Figura 2.

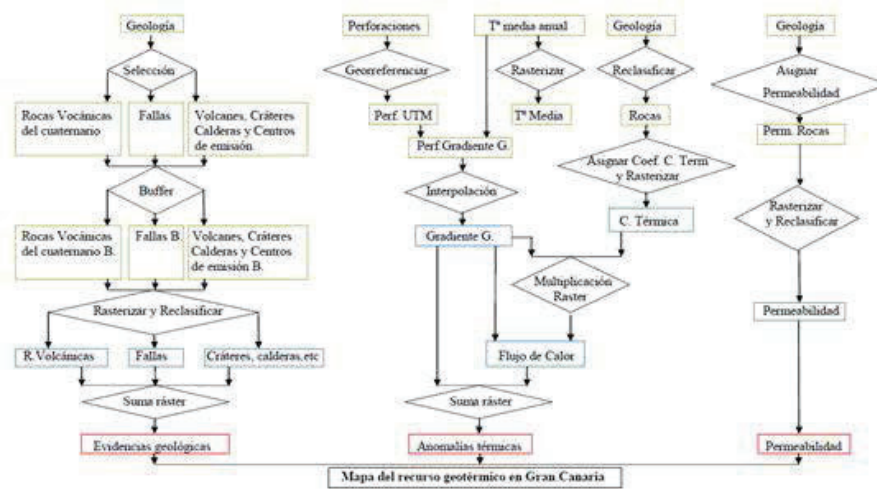


FIGURA 2. Proceso para la obtención del mapa del recurso geotérmico.

El mapa final de recurso geotérmico se ha obtenido mediante una combinación lineal ponderada de los diferentes factores anteriormente indicados.

$$R(X1,Y1)=\alpha A(X1,Y1)+\beta B(X1,Y1)+\delta D(X1,Y1)$$

Donde R es el mapa resultado, A el ráster de evidencias geológicas, B el ráster de anomalías térmicas, D el ráster de permeabilidad y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ , el peso de cada uno dentro del mapa final. Considerando la ponderación expuesta en la Tabla 1, las evidencias geológicas y la permeabilidad tienen un peso del 30 %, mientras que las anomalías térmicas tienen un 40 %. Finalmente, con el propósito de indicar las zonas con mayor potencial de recurso geotérmico se ha realizado una reclasificación asignando tres niveles de prioridad (ver Figura 3).

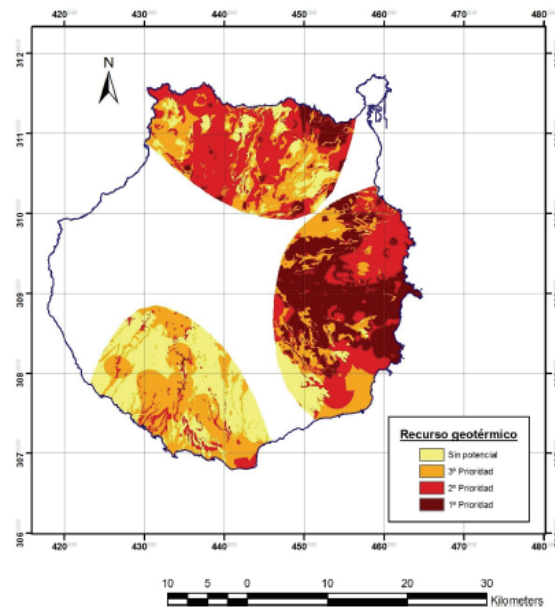


FIGURA 3. Mapa del recurso geotérmico en Gran Canaria.

## ANÁLISIS DE LOS POSIBLES USOS DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN GRAN CANARIA.

Según los datos facilitados por el IGME, en Gran Canaria el gradiente medio es 5 °C cada 100 metros, por lo que para alcanzar temperaturas de 150-200 °C y poder explotar recursos de alta entalpía, es necesario perforar 1,5-2 Km. Consi-





derando que la profundidad de perforación es uno de los factores que más afecta al coste de la explotación geotérmica, en este trabajo se han tenido en cuenta aplicaciones que no necesitan temperaturas superiores a los 100 °C, ya que no requieren realizar sondeos previos muy profundos para conocer el valor exacto del gradiente geotérmico y son las más viables económicamente. Las aplicaciones consideradas en este trabajo tendrán en cuenta la información representada en el mapa de potencial del recurso geotérmico en Gran Canaria, además de un conjunto de factores individuales.

## COLECTORES HORIZONTALES

En esta aplicación, el terreno actúa como acumulador de energía solar y la energía geotérmica hace que el calor no se disipe. Por tanto, la influencia del clima es muy grande, ya que sus efectos afectan hasta los 15 metros de profundidad.

La temperatura del subsuelo hasta esa profundidad se asemeja al valor de la temperatura media anual, siendo esta la temperatura con la que trabaja la bomba de calor. Los colectores necesitan una profundidad de 0,8 a 1,5 m y una superficie de terreno de 1,5 a 3 veces la superficie a calentar, para su implantación. La transferencia de calor del terreno se realiza por convección, por lo que la permeabilidad del terreno se convierte en un factor importante, favoreciendo el intercambio. Tras lo anterior, los factores tenidos en cuenta son los siguientes:

- Temperatura media anual.
- Temperatura mínima.
- Temperatura máxima.
- Temperatura ideal.
- Permeabilidad.
- Potencial del recurso geotérmico.

Estos factores han sido clasificados y ponderados. Se han creado dos mapas (ver Figura 4). En el primero se muestran las zonas donde hay mayor necesidad de esta aplicación para alcanzar la temperatura ideal en las viviendas durante todo el año. En el segundo, se indican las zonas donde es más económico mantener dicha temperatura ideal.

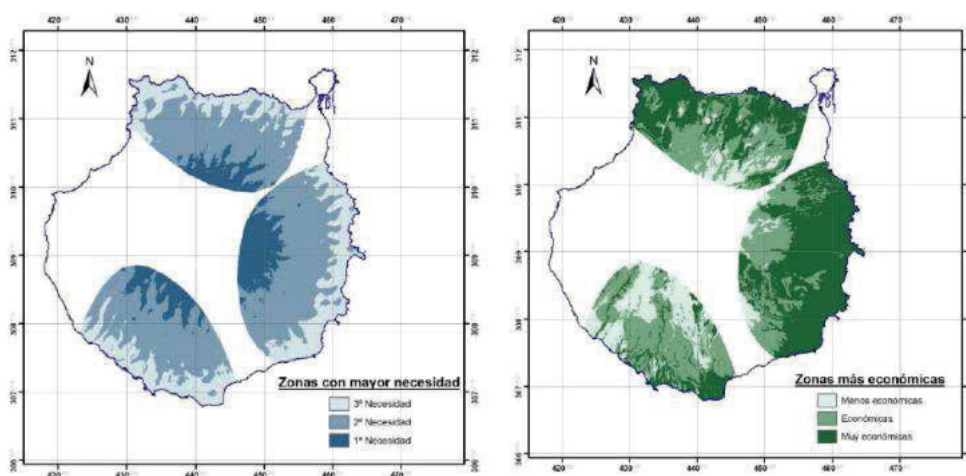


FIGURA 4. Mapa de colectores horizontales.

## SONDAS VERTICALES

Las sondas verticales tienen unas profundidades de 100 -150 metros generalmente y pueden funcionar de dos formas, como sistema abierto o cerrado, es decir, con agua subterránea o con un anticongelante circulando por los tubos. En el caso de los circuitos abiertos, debe existir agua subterránea a una temperatura que satisfaga las necesidades de la bomba de calor. Para los sistemas cerrados, será necesario perforar la profundidad a la que se alcance la temperatura requerida. Por ello, el gradiente geotérmico tiene una gran influencia. Para la transferencia de calor por conducción, las propiedades físicas más importantes de suelos, rocas y materiales de la sonda son la conductividad térmica y la capacidad térmica volumétrica. Para la transferencia de calor por convección la permeabilidad del terreno también es un parámetro muy importante. Los factores tenidos en cuenta son los siguientes:



## 7. ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE SIG PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL RECURSO GEOTÉRMICO EN GRAN CANARIA.

- Conductividad térmica de las rocas.
- Capacidad térmica volumétrica.
- Permeabilidad.
- Gradiente geotérmico.
- Profundidad del agua subterránea.
- Valor de extracción del calor del terreno.
- Potencial del recurso geotérmico.

Estos factores han sido clasificados y ponderados. Se han creado dos mapas. En el primero, se muestran las zonas idóneas para la implantación de sondas verticales con circuito abierto. En el segundo se muestra la capacidad de extracción del calor mediante sondas verticales de circuito cerrado, a una profundidad de 100 m.

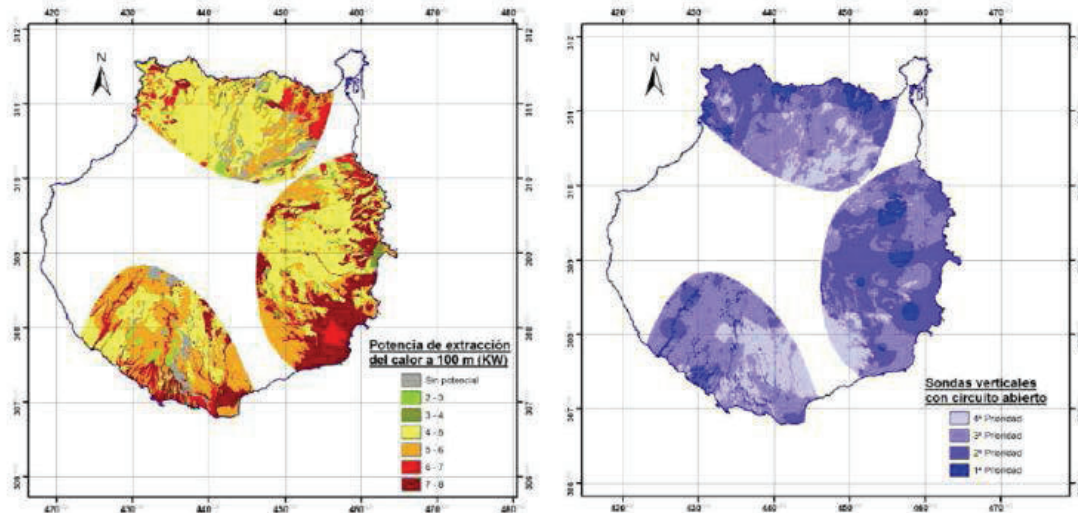


FIGURA 5. Mapa de colectores horizontales

## INVERNADEROS

La temperatura óptima de un invernadero es de unos 25° C en verano, cuando el aire exterior se encuentra entre 30° C y 35° C, y de unos 21° C en invierno, cuando el ambiente externo se halla por debajo de los 10° C. El aporte o retiro de calor en el interior del invernadero, mediante sistemas de climatización, controla la temperatura durante el crecimiento y desarrollo de los cultivos, permitiendo que se pueda programar la producción y se consiga mayor cantidad y calidad.

Dicho aporte o retiro de calor, puede ser solucionado a partir de colectores horizontales o sondas verticales. Por lo tanto, es necesario conocer la temperatura mínima y máxima del exterior y la temperatura que se quiere mantener en el interior, para calcular el salto térmico. Además de estudiar los factores climatológicos y del terreno, para construir un invernadero, es necesario conocer la normativa aplicable en Gran Canaria y tener en cuenta el uso del suelo y la distancia a otras construcciones, ya que los lugares idóneos para su construcción pueden estar situados en zonas donde no se pueden construir. Estos factores han sido clasificados y ponderados. Los factores que se han tenido en cuenta son los siguientes:

- Temperatura media anual
- Temperatura mínima
- Temperatura máxima
- Temperatura en el interior del invernadero
- Tipo de suelo SRPA-1
- Potencial del recurso geotérmico

Se ha realizado un mapa que muestre las zonas donde es posible construir invernaderos con un coste de mantenimiento mínimo, garantizando una temperatura en el interior del invernadero de 19 °C de noche y 22 °C de día.



## DESALADORAS

La temperatura que necesita una desaladora para realizar el proceso de desalación, se sitúa (dependiendo del tipo de desaladora) entre los 40 °C. y 90 °C. La temperatura de trabajo de las desaladoras ha de ser aportada por un fluido geotérmico, suministrado desde un acuífero. El contenido en sales disueltas es la causa de que las aguas geotérmicas no puedan ser conducidas directamente hasta los puntos de demanda final. Se utilizan unos intercambiadores de calor que permiten la cesión del calor a otros fluidos (agua del mar en este caso), que componen el circuito secundario. Estas plantas acostumbran a estar situadas en las proximidades al mar, a una distancia relativa de dos o tres kilómetros.

Cuanto más lejos se encuentra la planta de la costa, mayor será la presión necesaria para captar el agua y, por tanto, el consumo energético será superior y como consecuencia encarecerá todo el proceso. La búsqueda de una localización idónea para captar agua es una de las mayores complicaciones de estas instalaciones, porque a la hora de poder encontrar un lugar adecuado, desde el punto de vista del bombeo de agua, se une a los necesarios permisos medioambientales que los ayuntamientos tienen que conceder para poder poner en marcha la planta. Los factores que se han tenido en cuenta son los siguientes:

- Gradiente geotérmico
- Profundidad de las aguas subterráneas
- Distancia al mar
- Distancia a poblaciones
- Carreteras cercanas
- Altitud
- Zonas protegidas: LICs y ZEPAs
- Potencial del recurso geotérmico

Estos factores han sido clasificados y ponderados. Se ha realizado un mapa que muestre las zonas donde mayor posibilidad de implantación de una desaladora con energía geotérmica.

## CONCLUSIONES

El primer objetivo del trabajo ha sido obtener un Mapa de potencial del recurso geotérmico en Gran Canaria. En este mapa, se muestran las zonas con mayor potencial indicando su prioridad de explotación, es decir, las zonas con “1ª Prioridad”, expresan las áreas con mayor potencial del recurso geotérmico en la isla. Este mapa indica que la zona con mayor potencial de recurso geotérmico en Gran Canaria se encuentra al Este-Sureste de la isla, especialmente en los municipios de Agüimes e Ingenio.

Del estudio realizado se desprende que las zonas que tienen más necesidad de colectores horizontales, para alcanzar en la vivienda una temperatura ideal de 20 °C durante todo el año, son aquellas próximas al centro de la isla. Por otro lado, las zonas más económicas, son aquellas donde hay menor variación de temperatura a lo largo del año y donde existe mayor potencial del recurso geotérmico, es decir, en la zona Este de la isla. En el caso de las sondas verticales, se han identificado las zonas que tienen aguas subterráneas a poca profundidad y a buena temperatura. En el mapa que indica la potencia de extracción del calor de una sonda vertical a 100 metros, se muestran las diferentes zonas, con el valor de la potencia de extracción en una escala de 2 a 8 KW. Con esta información, es sencillo conocer cuántas sondas se necesitarían para cubrir las necesidades de un edificio, en función de la superficie a calentar y de la zona donde se quiere construir. Para la implantación de invernaderos y desaladoras es más complicado optimizar el recurso geotérmico, ya que están condicionadas por las zonas donde puedan implantarse legalmente. Por ello, además de tener en cuenta el potencial del recurso, es necesario conocer en qué zonas está permitida su construcción. Los invernaderos sólo pueden construirse en suelos de uso agrario, mientras que algunas de las restricciones de las desaladoras son: estar a menos de 3 Km de distancia al mar, a una altitud no muy elevada y fuera de zonas protegidas.

En relación con las limitaciones de este trabajo, es necesario poner de relevancia que en los mapas relacionados con los factores geológicos y los factores de permeabilidad se han tenido en cuenta lo que aflora en superficie, que es la información disponible en el IGME. Sin embargo, el recurso geotérmico está siempre a una cierta profundidad, donde la geología y la permeabilidad pueden ser diferentes.

En relación con las implicaciones prácticas de este trabajo, indicar que los distintos tipos de análisis realizados producen





una información objetiva y precisa de las posibilidades de localización de instalaciones de energía geotérmica en Gran Canaria. Por ello, es potencialmente muy útil como herramienta para la planificación y toma de decisiones en este ámbito.

### REFERENCIAS

- Azizi, A.; Malekmohammadi, B.; Jafari, H. R.; Nasiri, H.; Parsa, V. A. (2014). "Land suitability assessment for wind power plant site selection using ANP-DEMATEL in a GIS environment: case study of Ardabil province, Iran". *Environ Monit Assess.* N° 186: 6695–6709.
- Brott, C.A., Blackwell, D.D., Mitchell, J.C. (1976). Geothermal investigation in Idaho, Part 8, Heat flow in the Snake river plain region, Idaho. Department of Water Resources, Water Information Bulletin 30, 195pp.
- Browne, P.R.L. (1978). "Hydrothermal alteration in active geothermal fields". *Annual Review of Earth and Planetary Science* N° 6, 229–250.
- Coolbaugh, M.F.; Taranik, J.V.; Raines, G.L.; Shevenell, L.A., Sawatzky, D.L., Minor, T.B.; Bedell, R. (2002). "A geothermal GIS for Nevada: defining regional controls and favorable exploration terrains for extensional geothermal systems". *Geothermal Resources Council Transactions.* N° 26: 485–490.
- Emami, M.H. (1994). 1:100,000 Geological Map of Iran, Sheet 5566. Ministry of Mines and Metals, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Hanano, M. (2000). Two different roles of fractures in geothermal development. *Proceedings World Geothermal Congress 2000.* Kyushu – Tohoku, Japan.
- Harvey, C.C., Browne, P.R.L. (1991). "Mixed layer clay geothermometer in the Wairakei geothermal field, New Zealand". *Clays and Clay Minerals.* N° 6, Vol° 39: 614–621.
- Izquierdo, S.; Rodrigues, M. y Fueyo, N. (2008). "A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations". *Solar Energy.* Vol. 82: 929–939.
- Llopis, G. y Rodrigo, V. (2008). *Guía de la Energía Geotérmica*, en línea, <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-geotermica.pdf> [Fecha de consulta: 2 de junio de 2016].
- Malczewski, J. (2006). "GIS-based multicriteria decision analysis: A survey of the literature". *International Journal of Geographical Information Science.* Vol. 20, N° 7: 703–726.
- Noorollahi, Y.; Itoi, R.; Fujii, H.; Tanaka, T. (2007). "GIS model for geothermal resource exploration in Akita and Iwate prefectures, northern Japan". *Computers & Geosciences.* N° 33: 1008–1021.
- Noorollahi, Y.; Itoi, R.; Fujii, H.; Tanaka, T. (2008). "GIS integration model for geothermal exploration and well siting". *Geothermics.* N° 37: 107–131.
- Omitaomu, O.; Blevins, B.; Jochem, W.; Mays, G.; Belles, R.; Hadley, S.; Harrison, T.; Bhaduri, B.; Neish, B. y Rose, A. (2012). "Adapting a GIS-based multicriteria decision analysis approach for evaluating new power generating sites". *Applied Energy.* N° 96: 292–301.
- Perpiña, C.; Martínez-Llario, J. C.; Pérez-Navarro, A. (2013). "Multicriteria assessment in GIS environments for siting biomass plants". *Land Use Policy.* N°31: 326-335.
- Prol-Ledesma, R.M. (2000). "Evaluation of the reconnaissance results in geothermal exploration using GIS". *Geothermics.* N° 29: 83–103.
- Rutkauskas, A. V. (2008). "On the Sustainability of Regional Competitiveness Development Considering Risk". *Technological and Economic Development of Economy.* N°. 14, Vol. 1: 89–99.
- Rybach, L., Muffler, I.J.P. (1981). *Geothermal Systems; Principles and Case Histories.* Wiley, New York, 359pp.
- Sakaguchi, K., Takahashi, M. (2002). *Geothermal Resource Map of Tohoku and Kyushu, Digital Geosciences Map GT-1,* Geological Survey of Japan.
- Tegou, L.; Polatidis, H y Haralambopoulos, D. (2010). "Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study". *Journal of Environmental Management.* Vol. 91: 2.134-2.147.
- Yousefia, H.; Noorollahib, Y.; Eharaa, S; Itoi, R; Yousefid, A.; Fujimitsua, Y.; Nishijimaa, J.; Sasakid, K. (2010). "Developing the geothermal resources map of Iran". *Geothermics.* N° 39:140–151.