

# Estado actual de desarrollo de las Bombas de Calor Geotérmico

*Alfonso García Gutiérrez e Ignacio Martínez Estrella*

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Reforma 113, Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, 62490, México.

Correo: [aggarcia@iie.org.mx](mailto:aggarcia@iie.org.mx)

---

## Resumen

Una bomba de calor es una máquina térmica que opera como un refrigerador: la diferencia básica radica en el uso deseado. El refrigerador se usa esencialmente para enfriar un espacio o fluido, mientras que la bomba de calor puede usarse para proporcionar enfriamiento y calefacción. Una bomba de calor geotérmico (BCG) tiene como fuente de calor el subsuelo, ya sea por acoplamiento en el suelo o en agua subterránea, transfiriendo el calor entre el subsuelo y el sistema de distribución de calefacción y enfriamiento. Su comportamiento está dado por el coeficiente de comportamiento o de rendimiento (*Coefficient of Performance*, COP, por sus siglas en inglés) y tiene valores típicos de 3 a 4, aunque se han reportado valores de hasta 10. Esto quiere decir que por cada kW de energía eléctrica usada se ceden 3-4 o más kW de energía térmica. De allí que las BCG tengan ahorros típicos del 50-75% ya que sólo se paga por la energía utilizada en el compresor y la energía del subsuelo es esencialmente gratis. Las BCG se pueden instalar en la mayoría de situaciones geológicas (excepto en áreas donde el agua subterránea está protegida legalmente) en el mundo debido a la naturaleza ubicua del recurso geotérmico presente a profundidades someras, y desde hace algunos años su crecimiento ha sido impresionante. Esto y la creciente concientización y popularidad de las BCG han tenido el impacto más significativo en el uso directo de la energía geotérmica, de manera que las BCG representan hoy en día el sector de tecnología geotérmica mundial con mayor crecimiento en un número cada vez más creciente de países. La utilización anual de estas unidades creció 2.29 veces entre 2005 y 2010 a un ritmo anual de 18%, mientras que la capacidad instalada creció 2.15 veces a un ritmo anual de 16.6% en el mismo período. Asimismo, las BCG representan proporcionalmente el mayor uso y la mayor capacidad instalada de todos los usos directos de la energía geotérmica a nivel mundial, y se usan actualmente en 43 países aunque sus instalaciones se localizan principalmente en Norteamérica, Europa y China. Las BCG representan una tecnología probada mundialmente, son eficientes, ahorran energía y costos de operación, evitan la emisión de gases de efecto invernadero y se pueden instalar en prácticamente cualquier lugar. En este trabajo se describen las características principales de las BCG, sus ventajas y desventajas, sus aplicaciones en diversos sectores y su estado actual de desarrollo y aplicación.

*Palabras clave:* Bombas de calor, energía geotérmica, acondicionamiento de aire, calefacción.

## Status of development of geothermal heat pumps

### Abstract

Heat pumps are thermal machines operating as refrigerators. The basic difference is the final use. Refrigerators are used essentially to cool fluids or air while heat pumps can be used for cooling or heating. Geothermal heat pumps (GHP) use underground heat as the heat source, whether in soil or groundwater, and they transfer this heat to the cooling or heating distribution system. GHP performance is expressed by the coefficient of performance (COP) with typical values between 3 and 4, but COPs up to 10 have been reported. This means that for every kilowatt of power used, 3 to 4 kilowatts of thermal energy are produced. Thus, GHP yield savings of 50-75% of power because it is only necessary to pay for the power used by the compressor. The underground energy is basically free. GHPs can be installed in most geological settings, except where groundwater is legally protected, because of the ubiquity of shallow geothermal resources. Since some years ago, the development and use of GHPs have been impressive. This, and the growing awareness and knowledge about GHPs, have significantly impacted the direct use of geothermal energy.

GHPs are currently the geothermal technology sector with the highest growth in an increasing number of countries. The annual use of GHPs grew 2.29 times in 2005 through 2010, at an annual rate of 18%, while the installed capacity increased 2.15 times at an annual rate of 16.6% in the same period. In addition, GHPs proportionally represent the highest use and the main installed capacity worldwide among all geothermal direct uses. They are currently deployed in 43 countries, mainly in the EU, US, and China. GHPs take advantage of a mature technology, proven worldwide. They are efficient, save energy and operation costs, reduce the emission of greenhouse gases, and can be installed practically anywhere. The main GHPs features, advantages and disadvantages, uses in several sectors, and present developments and uses are described in this paper.

*Keywords:* Heat pumps, geothermal energy, cooling, heating.

---

---

## Introducción

Globalmente, el consumo de energía indica que éste podría duplicarse hacia el año 2020 de acuerdo con las tendencias actuales. Esta creciente demanda de energía impactará su disponibilidad su impacto sobre el medio ambiente. A nivel mundial, los edificios consumen aproximadamente el 40% de la energía total anual (Omer, 2008), y más de la mitad de esta energía es consumida por sistemas de aire acondicionado (Zhai *et al.*, 2011). Consecuentemente, es de gran importancia mejorar la eficiencia energética de los sistemas de aire acondicionado en edificios.

En México, es creciente la importancia del consumo de energía para el confort de los ocupantes de edificios de los sectores residencial y comercial (De Buen, 2005), ya que predomina el clima cálido, y en algunas regiones en la zona norte y en regiones montañosas del país se presentan estacionalmente temperaturas bajas. Además, se han ido ampliando las necesidades, las dimensiones y el contexto de los espacios donde se realizan actividades económicas, es decir, en el sector terciario que incluye almacenes, oficinas, escuelas, hospitales, hoteles, bancos y restaurantes. Lo anterior implica que, en la mayoría del territorio nacional, los espacios construidos tienen que integrar elementos de confort. De acuerdo con datos de SENER (2010), del total de energía consumida en 2009, el 20% (913.4 TJ) la consumieron los sectores residencial, comercial y público (761.8, 123.6 y 28.1 TJ, respectivamente). A su vez el consumo de electricidad en estos sectores representó el 27.8% ó 25.8 TJ (177.2, 48.5 y 28.1 TJ, respectivamente). Como se ve, el sector residencial es el que consume más energía, y su consumo de electricidad se ha incrementado de 130.06 TJ en el año 2000 a 153.11 en 2005 y a 177.2 en 2009, destinándola principalmente al acondicionamiento de espacios. Por ello, el sector de edificaciones se ha planteado: (a) disminuir la demanda de energía convencional, (b) reducir los impactos ambientales y (c) mantener condiciones interiores confortables con respecto a cambios en la temperatura exterior (Figueroa *et al.*, 2010). Sin embargo, de continuar utilizándose equipos convencionales para acondicionamiento de espacios habrá un mayor consumo de energía, ya que en el sector residencial de México se utilizan tecnologías que muchas veces se basan en equipos de bajo rendimiento energético, utilizan electricidad generada primordialmente con base en combustibles fósiles, y que además impactan negativamente la economía de los usuarios.

En este contexto, las BCG constituyen una alternativa interesante ya que se trata de una tecnología comercial existente que tiene un costo competitivo y que permite ahorros de energía y evita las emisiones de gases de invernadero, especialmente cuando se usan tanto para enfriamiento como para calefacción, y pueden ser instaladas en prácticamente cualquier parte. En el presente trabajo se describen las características principales de las BCG, sus ventajas y desventajas, sus aplicaciones en diversos sectores y su estado actual de desarrollo y aplicación.

## Aspectos teóricos

La Figura 1 muestra un esquema de una bomba de calor con sus tres partes principales: (1) el espacio acondicionado, (2) la bomba de calor misma y (3) la fuente/sumidero de calor.

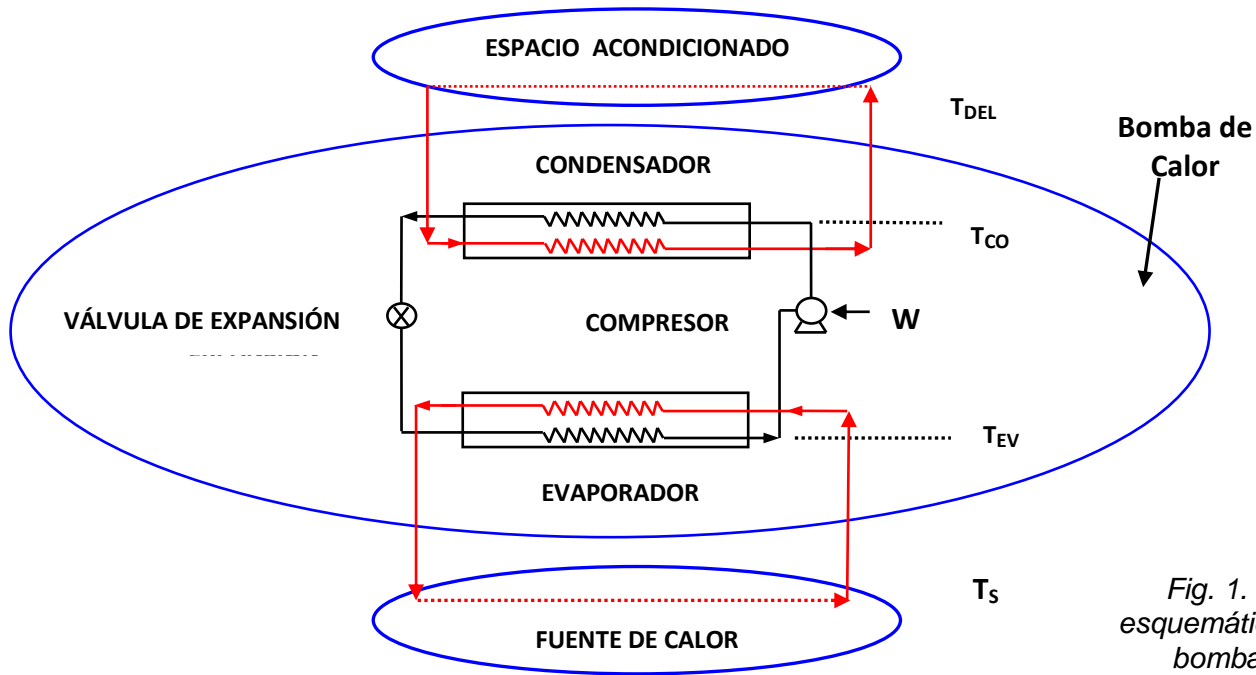


Fig. 1. Diagrama esquemático de una bomba de calor.

- El espacio a acondicionar puede ser una edificación donde ya hay un sistema de distribución de aire, alimentado a las condiciones de temperatura y humedad requeridas.
- La BC es una máquina térmica que opera como un refrigerador pero a la inversa: en el evaporador se provoca un efecto de enfriamiento y en el condensador un efecto de calentamiento. La BC puede operarse para proporcionar enfriamiento o aire acondicionado y calefacción de espacios habitados y para calentamiento de agua doméstica.
- La fuente o sumidero de calor puede ser aire, agua o el subsuelo. En este último caso, a la BC se le denomina Bomba de Calor Geotérmico (BCG o GHP por sus siglas en inglés).

La operación reversible de la BCG es posible gracias al uso de una válvula reversible (Fig. 2), y su conexión al subsuelo se hace en circuito cerrado, vertical u horizontal (GCHP), o en circuito abierto a un pozo de agua subterránea (GWHP) o a un cuerpo de agua superficial estática o corriente, p. ej., un lago o un río (SWHP), ver Figura 3. El fluido que conecta el subsuelo con la BCG es agua con o sin anticongelante.

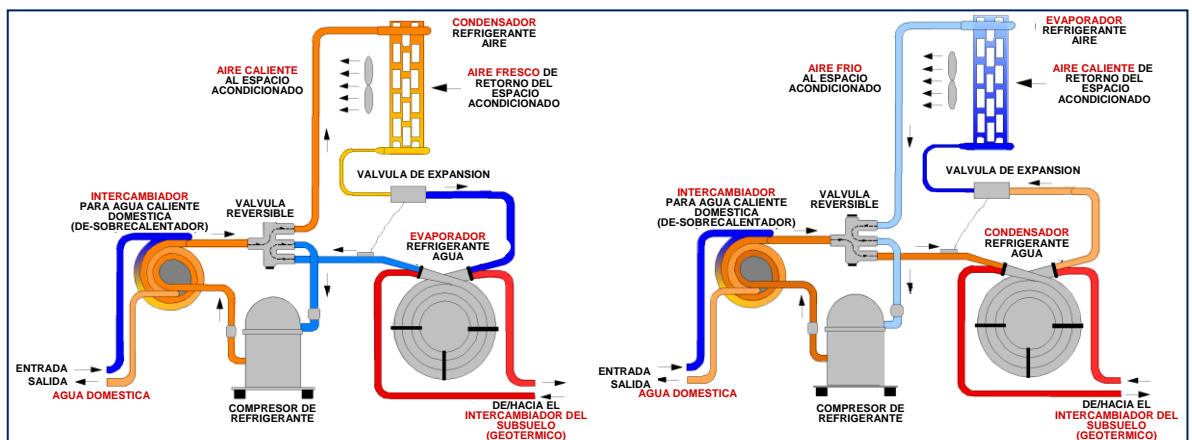


Fig. 2. Operación de una BCG en modos calefacción (izquierda) y enfriamiento (derecha) (adaptada de Lund, 2007).

El fluido que conecta el subsuelo con la BCG es agua con o sin anticongelante.

El comportamiento o eficiencia de una bomba de calor por compresión mecánica operando a ciertas condiciones de la fuente y del sumidero está dado por el Coeficiente de Comportamiento o de rendimiento (*Coefficient of Performance*, COP, por sus siglas en inglés) y se define como el cociente entre la energía térmica cedida por la bomba de calor y el trabajo realizado por el compresor. En el modo de calefacción,

$$COP = \frac{Q_{CO}}{W} = \frac{Q_{CO}}{Q_{CO} - Q_{EV}}$$

En el modo de enfriamiento,

$$COP = \frac{Q_{EV}}{W} = \frac{Q_{EV} + W}{W}$$

donde  $Q_{CO}$  es el calor entregado por el condensador de la bomba de calor al espacio acondicionado,  $Q_{EV}$  es el calor transferido de la fuente de calor al fluido de trabajo en el evaporador de la bomba de calor y  $W$  es la energía eléctrica suministrada al compresor.

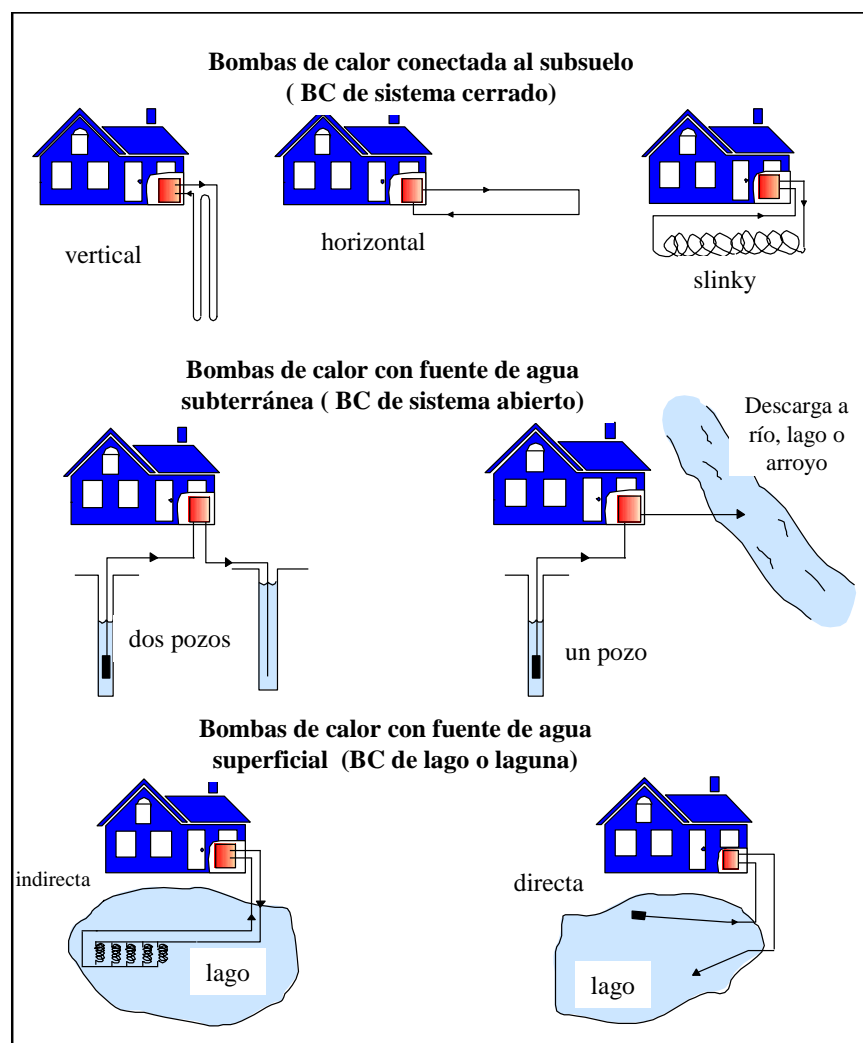


Fig. 3. Diagrama esquemático de una BCG (modificada de Lund, 2007).

Los valores típicos del COP son de 3.5, aunque se han reportado valores de hasta 10. Esto quiere decir que por cada unidad de energía alimentada (usualmente electricidad) se entregan 3.5 unidades de energía térmica, de las cuales 2.5 (71%) son de energía geotérmica la cual es esencialmente gratis.

### Fluidos de trabajo

Los fluidos de trabajo tradicionales son los clorofluorocarbonos (CFCs): Freón 12, 22, 114, R-500 y R502; pero debido al daño que causan a la capa de ozono, estos fluidos han sido prohibidos en la mayoría de los países. Los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) son fluidos más recientes y contienen cloro pero su potencial de agotamiento del ozono (ODP por sus siglas en inglés) es menor que el de los CFCs, del 2-5 % de CFC-12. Su potencial global de calentamiento (GWP por sus siglas en inglés) es el 20% del valor de CFC-12. Estos fluidos se denominan fluidos de transición, tales como R-22, R-401, R-402, R-403, R-408, y R-409. Los hidrofluorocarbonos (HFCs) se consideran como fluidos alternativos de

largo plazo y no tienen cloro, tales como R-143A, R-152A, R-32, R-125 Y R-507. Debido a que no contribuyen al agotamiento del ozono, representan una alternativa de largo plazo. Las mezclas representan una posibilidad importante para reemplazar a los CFCs, y los fluidos más prometedores para reemplazar al R-22 son las mezclas de R-407C y R-410A. El primero de estos fluidos es apropiado para ciertos sistemas

únicamente, mientras que el segundo es muy popular en EUA y Japón para bombas de calor tipo paquete y unidades de aire acondicionado (HPC, 2010).

### Estado actual de desarrollo de las BCG

Las BCG se usan para calefacción y enfriamiento de espacios y para abastecimiento de agua caliente doméstica y pueden instalarse en la mayoría de situaciones geológicas (excepto en áreas donde el agua subterránea está protegida legalmente) en el mundo, debido a la naturaleza ubicua del recurso geotérmico somero.

La bomba de calor no es nueva: fue inventada por Lord Kelvin en 1852. El desarrollo de las BCG se remonta a 1912 cuando se registró la primera patente con un circuito a tierra en Suiza. Sin embargo, es en los últimos 10 a 20 años cuando se ha registrado un dramático aumento en el uso de BCG para enfriar y calentar edificaciones. Las primeras BCG fueron diseñadas para el sector residencial usando sistemas de agua subterránea. A mediados de los 80 las mejoras en las eficiencias y los rangos de operación, combinados con mejores materiales para los circuitos a tierra permitieron conexiones acopladas al subsuelo. Al mismo tiempo, las aplicaciones comerciales e institucionales fueron más comunes. Hoy en día, la tecnología puede considerarse madura y enfrenta principalmente barreras no técnicas para su mayor desarrollo.

Los usos directos a nivel mundial de la energía geotérmica en 2010 ascendieron a 423,830 TJ/año (117,740 GWh/año) de energía y 48,893 MWt de capacidad instalada, y de todos estos usos, las BCG poseen la mayor utilización (47.2%) y capacidad instalada (68.3%). Así, la creciente concientización y popularidad de las BCG ha tenido el mayor impacto en el uso directo de la energía geotérmica, de manera que las BCG son hoy en día el sector de la tecnología geotérmica con el mayor crecimiento. Entre 2005 y 2010, su utilización de energía geotérmica creció 2.29 veces a un ritmo anual de 18%, y su capacidad instalada creció 2.15 veces a un ritmo anual 16.6% (Lund *et al.*, 2010). En 2010, la capacidad instalada mundial mediante BCG fue de 33,134 MWt y el uso anual de energía ascendió a 200,149 TJ/año, con un factor de capacidad de 0.19 en modo calefacción. Las BCG se utilizan en 43 países, principalmente en Norteamérica, Europa y China, a diferencia de los 26 países que utilizaban esta tecnología en 2000 o de los 33 países que lo hacían en 2005. La Figura 4 y la Tabla 1 muestran la evolución de esta tecnología.

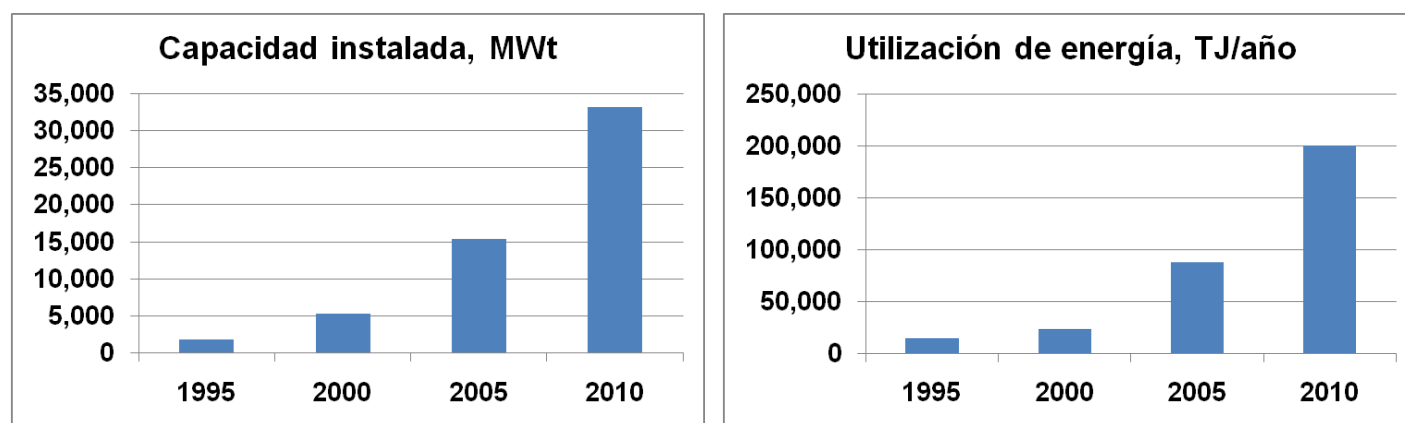


Fig. 4. Evolución mundial de la capacidad instalada (izquierda) y generación de energía térmica (derecha) de las BCG en los últimos años (elaborada con datos de Lund *et al.*, 2010).

En Estados Unidos la mayoría de las unidades están diseñadas para carga pico de enfriamiento y están sobrediseñadas para calefacción, excepto en los estados del norte, con un promedio de 2000 horas/año de carga total (factor de carga de 0.23). En Europa, la mayoría de las unidades están diseñadas para carga pico de calefacción y a menudo están diseñadas para proveer carga base, mientras que la demanda pico es provista

mediante combustibles fósiles. Las unidades pueden operar hasta 6000 horas/año a carga plena (factor de carga de 0.68), como ocurre en los países nórdicos. Los líderes en unidades instaladas son Estados Unidos, China, Suecia, Alemania y Holanda. El número equivalente de unidades instaladas de 12 kWt (típico en casas-habitación de EUA y Europa Occidental) es de unos 2.76 millones, aunque el tamaño de las unidades individuales varía desde 5.5 kW para uso residencial hasta más de 150 kW para uso comercial o institucional.

	1995	2000	2005	2010
Capacidad (MWt)	1,854	5,275	15,384	33,134
Utilización de energía (TJ/año)	14,617	23,275	87,503	200,149
Factor de capacidad (%)	25	14	18	19
Número de unidades equivalentes de 12 kWt	154,500	439,583	1,282,000	2,761,167
Número de países donde se utilizan	n/d	26	33	43

Tabla 1. Incremento mundial en el uso de bombas de calor geotérmico (elaborada con datos de Lund et al., 2010; n.d.: dato no disponible).

Actualmente existen más de 550 mil unidades de BCG acopladas al subsuelo (GCHP), 80% de las cuales son unidades domésticas y se instalan más de 66 mil unidades nuevas cada año (Zhai *et al.*, 2011), aunque en China las ventas de acondicionadores de aire para habitaciones (*room air conditioners*) ascendieron a 27 millones de unidades en 2009 y se estima que globalmente existen 800 millones de BC instaladas, incluyendo unidades para habitación, enfriadores y bombas de calor para calefacción de espacios y de agua (IEA, 2011). En EUA se instalaron 121,423 BCG en 2008 (Mañón, 2010) y existen al menos 1 millón de unidades instaladas (Lund *et al.*, 2010), con 70% en edificios residenciales y 30% en edificios comerciales e institucionales. De ellas, 90% son de circuito cerrado conectado a tierra (45% vertical, 45% horizontal) y 10% son de circuito abierto (agua subterránea), y se estima que para el año 2016 se instalarán 1 millón de unidades por año (Williams, 2010). Globalmente, se contemplan 3.5 billones de unidades instaladas en 2050 en el sector residencial para calefacción, A/C y agua caliente doméstica (IEA, 2011).

## Costos

Hoy en día la tecnología de las BCG es madura, y para continuar su desarrollo enfrenta retos esencialmente no técnicos, principalmente asociados a su alto costo inicial:

- Casi el doble de un sistema central convencional para uso residencial;
- 20% a 40% más alto que el de unidades de volumen constante de una zona instalada en un techo;
- hasta 20% mayor que un arreglo de agua fría multi-zonas o central de dos tubos.

Sin embargo, los costos de generación durante su ciclo de vida son menores que los de sistemas convencionales, debido a su alta eficiencia y menores costos de mantenimiento.

Los costos de una GCHP instalada son de 500 a 850 USD/kW para calefacción y enfriamiento en casas unifamiliares (IEA, 2011), con tamaños entre 2 y 19 kW, eficiencias de 280 a 500% y una vida útil de 15-20 años. Estos costos pueden aumentar hasta unos 1700 USD/kW para una unidad de circuito cerrado horizontal, pero el costo depende de la zona climática y la superficie de la edificación. El costo promedio para una vivienda de 200 m<sup>2</sup> es de 12,500 € para una temperatura ambiente de -5°C y de 10,000 € para 0°C (Mañón, 2010).

El costo inicial del capital representa el mayor gasto de las BCG, pero el periodo de retorno del capital es menor a 10 años debido a los ahorros de energía de 30 a 75%. Además, se espera que el costo inicial disminuya a medida que aumente el uso masivo de las BCG y por el creciente costo de la energía (Johnston

*et al.*, 2011). De hecho, en las nuevas instalaciones, estos costos se consideran como parte de la inversión y, como se trata de un solo equipo que proporciona el servicio de acondicionamiento de aire, calefacción y agua caliente doméstica, el gasto se considera aceptable. Boyd y Lienau (1995) estimaron que el periodo de retorno del capital para una BCG era de 2.8 años para unidades en el sector comercial, 6.8 años en el sector residencial y 7.0 años en el sector educativo. Sin embargo, para amortiguar la inversión inicial e incentivar el uso de las BCG, los gobiernos de Estados Unidos y varios países europeos ofrecen financiamiento e incentivos que van de 500 a 2,000 USD por casa.

### Aplicaciones diversas

Las BCG se usan para acondicionar espacios (calefacción, enfriamiento, aire acondicionado) y agua caliente para uso doméstico y para calentar albercas. Los edificios con BCG incluyen casas, oficinas, hoteles, aeropuertos, estaciones de metro, talleres, escuelas, hospitales, centros de recreación, ranchos, etc. Lund (1990) describe el uso de las BCG en diferentes estados de EUA. Boyd y Lienau (1995) compilaron datos de 256 casos de estudio en EUA: 184 residencias, 26 escuelas y 46 comercios. El Geo-Heat Center (GEO, 2005) compiló varios casos de estudio en 2005 que incluyen el Calpine Visitor Center en California, varias escuelas, posadas, ranchos y centros comunitarios, donde se menciona el uso de las BCG. También se comentan los planes para instalar una BCG en el Palacio de Buckingham en Londres.

Kjellsson *et al.* (2010) mencionan que las BCG son de uso común en casas en Suecia. Hamada *et al.* (2007) describen el uso de cimentaciones y pilotes de fricción como intercambiadores de calor en edificaciones residenciales y para oficinas. Michopoulos *et al.* (2007) presentaron un intercambiador de calor vertical de tierra en conexión paralela acoplado a un sistema de BCG para A/C en Grecia. Hwang *et al.* (2009) describen el comportamiento de una BCG para enfriamiento en una escuela en Corea. Sanner *et al.* (2003) revisaron el desarrollo temprano de las BCG para edificios comerciales. Cui *et al.* (2003) mencionan que una BCG puede satisfacer las demandas de energía de una alberca techada. La aplicación de las BCG en edificios civiles también se incluye en los trabajos de Hochstein *et al.* (2008), Gao *et al.* (2009), O'Sullivan *et al.* (2009), Serpen *et al.* (2008) y Thain y Carey (2009), documentándose más de 160 universidades y colegios de 36 estados de EUA que usan energía geotérmica.

Algunos otros de los muchos estudios existentes incluyen: el avance de las BCG en Europa hasta 2003 (Sanner *et al.*, 2003); una BC que usa agua de lluvia y el subsuelo como fuente de calor (Gan *et al.*, 2007); una BC aire-agua operando con CO<sub>2</sub> como refrigerante para proporcionar agua caliente (Yokoyama *et al.*, 2010); una revisión de métodos para evaluar las resistencias térmicas de pozos perforados (Lamarche *et al.*, 2010); una revisión sobre diferentes análisis exergéticos de sistemas de refrigeración por compresión (Ahamed *et al.*, 2011), un análisis para regularización y estandarización de las BCG en Italia (Rizzi *et al.*, 2011); un estudio de BCG híbridas para acondicionamiento de espacios en climas cálidos (Mana *et al.*, 2010) y una revisión de aplicaciones y sistemas integrados de las BCG (Zhai *et al.*, 2011). En este último trabajo se describen sistemas de BCG acoplados con sistemas de energía solar, torres de enfriamiento, almacenamiento de energía, sistemas convencionales de A/C, deshumidificadores, recuperación de calor, etc. Los trabajos sobre BC operando con energía geotérmica en México se resumen en García-Gutiérrez *et al.* (2010).

A continuación se describen brevemente algunas instalaciones importantes.

#### a) Galt House East Hotel de Louisville, Kentucky, EUA

Este sistema representa la aplicación más grande de BCG en EUA. Proporciona A/C y calefacción para 600 cuartos de hotel, 100 departamentos y 89,000 m<sup>2</sup> de oficinas con un total de 161,650 m<sup>2</sup>. El sistema opera con 177 litros por segundo (l/s) de agua a 14°C de 4 pozos; su capacidad es de 15.8 MW para enfriamiento y 19.6

MW para calefacción, y sus ahorros de energía son de 53% comparado con un edificio similar sin BCG, y permite ahorros por 25 mil dólares mensuales (datos de 2007).

b) Estación Pacífico del metro de Madrid

En esta estación funciona un sistema de BCG para climatizar 1090 m<sup>2</sup> (A/C y calefacción) de los andenes de la línea 1 del metro madrileño, los cuartos técnicos y los locales comerciales. La inversión fue de 700,000 €, y permite ahorros de energía de 50 a 75% y una reducción de 50% en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

c) Centro de control aéreo del aeropuerto de Frankfurt, Alemania

Este centro tiene 57,800 m<sup>2</sup> de espacio donde laboran 1200 empleados. Su sistema de BCG consiste de 154 pozos divididos en 2 campos de pozos de 70 m de profundidad con una temperatura de 4°C, y su capacidad es de 340 kW para A/C y 330 kW para calefacción. Las BCG se usan para calefacción, mientras que el agua del subsuelo se usa directamente del pozo para enfriamiento. Las demandas pico se complementan con otras fuentes de energía. El sistema tiene ahorros por concepto de energía de 200,000 USD/año (cifras de 2007).

d) South Cariboo Recreation Centre 100 Mile House, de Columbia Británica, Canadá

Los centros recreativos son el eje de las actividades comunitarias en Canadá, y usualmente la pista de hockey es el corazón del centro. Esta aplicación en particular tiene bombas de calor para: (a) refrigerar la pista de patinaje; (b) proporcionar des-humidificación, A/C y calefacción del área “helada” del espectáculo (el estadio o gimnasio), (c) calentar parte del edificio y los asientos de las gradas mediante pisos radiantes; (d) proporcionar agua caliente para las regaderas y para inundar la pista de hielo; (e) almacenar energía. Todos los sistemas se integran mediante un circuito en tierra. El sistema tiene 5,241 m<sup>2</sup> de área y su capacidad es de 310 kW para refrigeración, 174 kW para climatización (humedad, enfriamiento y calentamiento) y 84 kW para A/C y calefacción de oficinas, lobby, vestidores, etc.

e) Ball State University, de Muncie, Indiana, EUA

Esta aplicación está en construcción y su capacidad estimada es de 5 mil toneladas para enfriamiento, A/C y calefacción. La instalación consta de más de 40 edificios, dos áreas con 4000 pozos de 122 m de profundidad, tiene un costo total estimado de \$65-70 millones USD y permitirá ahorros operacionales por 2 millones de USD/año. Asimismo, reducirá las emisiones de gases de invernadero en un 50%, equivalentes a 80 mil toneladas de carbón al año.

### Ventajas/Desventajas

Las BCG poseen las ventajas siguientes en comparación con las bombas de calor aire-aire (su más cercano competidor):

- Consumen menos energía para operar;
- explotan una fuente de energía a temperatura constante. La BC aire-aire depende de la temperatura del aire externo, la cual es baja cuando la demanda de calefacción es alta y alta cuando la demanda de enfriamiento es alta. Por ende, requieren mayor electricidad y son menos eficientes en temporadas de temperatura externa extrema;
- no requieren energía complementaria;
- usan menos refrigerante;
- su diseño y mantenimiento son más sencillos;



- no requieren que la unidad esté expuesta al medio;
- el equipo ofrece una mayor vida útil.

En general, las BCG tienen **beneficios económicos** porque permiten ahorrar dinero a lo largo de su vida útil; **beneficios tecnológicos** porque representan una tecnología probada que se usa en 43 países para confort en todo tipo de edificios, con una vida útil es de 25 años para la BC propiamente dicha y de 50 años para el circuito de conexión a tierra; **beneficios energéticos** porque permiten ahorros de 33 a 75% de energía y reducen la demanda de electricidad, contribuyendo a la seguridad energética nacional; **beneficios ambientales** porque reducen la emisión de gases de invernadero entre 33 y 75% al usar menos electricidad y evitar el uso de combustibles fósiles; y **beneficios sociales** porque mejoran la calidad de vida de todos los involucrados con la construcción, el uso y el mantenimiento de la instalación, y por la creación de empleos.

De hecho, las BCG constituyen la mejor tecnología disponible para calefacción y aire acondicionado: su potencial impacto ambiental benéfico se ha estimado en que pueden evitar 1.2 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año, que equivalen a un 6% de la emisión global de CO<sub>2</sub> (Fridleifsson *et al.*, 2008),

## Conclusiones

Las BCG representan una tecnología madura y el sector de tecnología geotérmica de mayor crecimiento a nivel internacional. Sin embargo, enfrentan retos esencialmente no técnicos, principalmente asociados a su alto costo inicial, el desconocimiento de la tecnología por parte de usuarios potenciales y gobiernos de ciertos países como México, así como el reto de optimizar el diseño para mejorar su rendimiento. Esta tecnología no se utiliza actualmente en México, pero podría utilizarse masivamente en zonas con climas extremos para acondicionamiento de espacios en los sectores residencial, comercial y de servicios, con significativos beneficios económicos, tecnológicos, ambientales y sociales. Los gobiernos (federal, estatales y municipales) podrían contribuir a su promoción y desarrollo mediante políticas públicas e incentivos similares a los que ya existen en diversos países europeos y en Estados Unidos.

## Referencias

- Ahamed, J.U., R. Saidur, H.H. Masjuki, 2011. A review of methods of exergy analysis of vapor compression refrigeration systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 1593-1600.
- Boyd, T.L., and P.J. Lienau, 1995. Geothermal heat pump performance. *Geothermal Resources Council Transactions*, 1995 Annual Meeting, Reno, NV.
- Cui, P., D. Su, C. Sun, and Z. Fang, 2003. Study on the application of a ground-source heat pump system in an indoor swimming pool (in Chinese). *Renew Energy*, 112 (6), pp. 8-21.
- De Buen, O., 2005. Consumo de energía en los sectores residencial y comercial en México. Disponible en [www.funtener.org/pdfs/Presentacion1-CCA-EV.pdf](http://www.funtener.org/pdfs/Presentacion1-CCA-EV.pdf).
- Figuroa, A., I. Marincic, M. Ochoa, y J. Rojas, 2010. Energía en edificaciones. En: Estrada, C., e Islas J. (Eds.), *Energías Alternas: Propuesta de investigación y desarrollo tecnológico para México*. Academia Mexicana de Ciencias, pp. 83-89.
- Fridleifsson, I.B., R. Bertani, E. Huenges, J.W. Lund, A. Ragnarsson, and L. Rybach, 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: O. Hohmeyer and T. Trittin (eds.), *IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources*, Proceedings, Luebeck, Germany, 20-25 January 2008, pp. 59-80.

- Gao, Q., M. Li, M. Yu, J.D. Spitler, Y.Y. Yan, 2009. Review of development from GSHP to UTES in China and other countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (6-7), pp. 1383-1394.
- Gan, G., S.B. Riffat, C.S.A. Chong, 1997. A novel rainwater-ground source heat pump – Measurement and simulation. *Applied Thermal Engineering*, 27, pp. 430-441.
- García-Gutiérrez, A., R.M. Barragán-Reyes, and V.M. Arellano-Gómez, 2010. Research and development on heat pumps systems using geothermal energy. *Current Applied Physics*, 10, pp. S123–S127.
- GEO, 2005. Geothermal heat pump: case studies of the West. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 26 (3), No. 1, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR.
- Hamada, Y., H. Saitoh, M. Nakamura, K. Kubota, and K. Ochifuji, 2007. Field performance of an energy pile system for space heating. *Energy Buildings*, 39 (5), pp. 517-524.
- Hochstein, M.P., and J.N. Moore, 2008. Indonesia: geothermal prospects and developments. *Geothermics*, 37 (3), pp. 217-219.
- HPC, 2010. How heat pumps achieve energy savings and CO<sub>2</sub> emissions reduction: an introduction. In: *About Heat Pumps*, IEA-OECD Heat Pump Centre. Disponible en: <http://www.heatpumpcentre.org/en/aboutheatpumps/howheatpumpsachieveenergysavings/Sidor/default.aspx>
- Hwang Y, J.K. Lee, Y.M. Jeong, K.M. Koo, D.H. Lee, I.K. Kim, S.W. Jin, and S.H. Kim, 2009. Cooling performance of a vertical ground-coupled heat pump system installed in a school building. *Renew Energy*, 34 (3), pp. 78-82.
- IEA, 2011. *Technology Roadmap – Energy efficient buildings: heating and cooling equipment*. International Energy Agency, 2011. Disponible en [www.iea.org](http://www.iea.org)
- Johnston, I.W., G.A. Narsilio, and S. Colls, 2011. Emerging geothermal energy technologies. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 15 (4), pp. 643-653.
- Kjellsson, E., G. Hellström, and B. Perers, 2010. Optimization of systems with the combination of ground-source heat pump and solar collectors in dwellings. *Energy*, 35 (6), pp. 2667-2673.
- Lamarche, L., S. Kaji, and B. Beauchamp, 2010. A review of methods to evaluate borehole thermal resistances in geothermal heat-pump systems. *Geothermics*, 39, pp. 187-200.
- Lund, J., 1990. Geothermal Heat Pump Utilization in the United States. *Geo-Heat Center Quarterly Bulletin*, 11 (1), No. 1, Geo-Heat Center, Oregon Inst. of Technology, Klamath Falls, OR.
- Lund, J., 2007. Geothermal (Ground-source) Heat Pumps. Curso presentado en el IIE, Cuernavaca, México, 2007 (Inédito).
- Lund, J., D.H. Freeston, and T.L. Boyd, 2010. Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010, 23 pp.

- Mana, Y., H. Yang, and J. Wang, 2010. Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like Hong Kong. *Applied Energy*, 87, pp. 2826-2833.
- Mañón, A., 2010. Un repaso a las bombas de calor. *Geotermia*, 23 (1), pp. 76-85.
- Michopoulos, A., D. Bozis, P. Kikidis, K. Papakostas, and N.A. Kyriakis, 2007. Three-years operation experience of a ground source heat pump system in Northern Greece. *Energy Buildings*, 39 (3), pp. 328-334.
- Omer, A.M., 2008. Energy, environment and sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, pp. 2265-2300.
- O'Sullivan, M.J., A. Yeh, and W.I. Mannington, 2009. A history of numerical modelling of the Wairakei geothermal field. *Geothermics*, 38 (1), pp. 55-68.
- Rizzi, F., M. Frey, and F. Iraldo, 2011. Towards an integrated design of voluntary approaches and standardization processes: An analysis of issues and trends in the Italian regulation on ground coupled heat pumps. *Energy Conversion and Management*, 52, pp. 3120-3131.
- Sanner, B., C. Karystas, D. Mendrinou, and L. Rybach., 2003. Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe. *Geothermics*, 32 (4-6), pp. 579-588.
- SENER, 2010. *Balance Nacional de Energía 2009*. Secretaría de Energía, México, DF. Disponible en [www.sener.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=1792](http://www.sener.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=1792)
- Serpen, U., N. Aksoy, T. Öngür, and E.D. Korkmaz, 2009. Geothermal energy in Turkey: 2008 update. *Geothermics*, 38 (2), pp. 227-237.
- Thain, I.A., and B. Carey, 2009. Fifty years of geothermal power generation at Wairakei. *Geothermics*, 38 (1), pp. 48-63.
- Williams, T., 2010. *Ground-source heat pump roadmap, version 2.2*. US-DOE National Renewable Energy Laboratory. Disponible en [www.nrel.gov/geothermal](http://www.nrel.gov/geothermal)
- Yokoyama, R., T. Wakui, J. Kamakari, and K. Takemura, 2010. Performance analysis of a CO<sub>2</sub> heat pump water heating system under a daily change in a standardized demand. *Energy*, 35 (2), pp. 718-728.
- Zhai, X.Q., M. Qu, X. Yu, Y. Yang, and R.Z. Wang, 2011. A review for the applications and integrated approaches of ground-coupled heat pump systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 3133-3140.