# Proyecto 13 del CeMIE-Geo: Bombas de Calor Geotérmico para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales - Primeros resultados

**Vicente Torres Luna[1], Pablo García Manuel[1], Abel Hernández Ochoa[1], Fernando Rivas Cruz[1], Ismael González Reyes[1], Juan Ignacio Martínez Estrella[1], Alfonso García-Gutiérrez[1], Abelardo Mercado Herrera[2], Fernando Lara Chávez[2], Juan Carlos Ling López[2]**

[1]Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor., México. Correo: vtl@iie.org.mx

[2]Universidad Politécnica de Baja California, Mexicali, B.C., México. Correo: amercadoh@upbc.edu.mx

**RESUMEN**

En este trabajo se presentan los primeros resultados del proyecto 13 del CeMIE-Geo titulado: Análisis de factibilidad y estudio de mercado para la aplicación de la tecnología. Se describen los avances en la evaluación técnico-económica de la inversión en proyectos de BCG y en la delimitación de la zona de estudio para la aplicación potencial de las BCG en el país. Otros de los principales resultados futuros será el desarrollo de un proyecto demostrativo de Bombas de Calor Geotérmicas para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en las regiones Centro y Norte de México.

*Palabras clave:* Bombas de Calor, Energía Geotérmica, CeMIE-Geo, Calefacción, Aire Acondicionado.

## 1. Introducción

Este trabajo presenta algunos de los principales resultados de la primera etapa del Proyecto 13 del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo), titulado “Análisis de factibilidad, comparación de tecnologías, estudio de mercado y desarrollo de un proyecto demostrativo de Bombas de Calor Geotérmicas para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en las regiones Centro y Norte de México”. El objetivo principal de este proyecto es evaluar y demostrar el potencial de aplicación y de ahorro de energía de las Bombas de Calor Geotérmicas (BCG) como una tecnología limpia, sustentable y altamente eficiente para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales en las regiones Centro y Norte de México.

Aunque México ocupa el cuarto lugar en capacidad instalada para generación de electricidad con energía geotérmica, los usos directos en el país son marginales (156 MWt) y representan el 0.2% de la capacidad instalada mundialmente, y una fracción muy pequeña de los recursos geotérmicos nacionales de baja y mediana temperatura. Sin embargo, debe mencionarse que la CFE ha realizado estudios diversos de Usos Directos en el pasado (Gutiérrez, Negrín, 1997) aunque la mayoría de los proyectos han sido descontinuados. Además, actualmente en el Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CeMIEGeo) se desarrollan siete proyectos de Usos Directos incluyendo e presente proyecto (CeMIEGeo, 2016).

De todos los usos directos, las BCG tienen la mayor capacidad global instalada con el 71% (49,898 MWt) y el mayor uso de energía con el 55.3% (325,028 TJ/año), y se usan en 48 países para calefacción y enfriamiento de espacios en cualquier tipo de edificio, pues se pueden instalar en prácticamente cualquier parte del mundo. EUA, China, Suecia, Alemania y Francia son los países con mayor uso de BCG (Lund et al., 2015). Las BCG poseen altos coeficientes de rendimiento, típicamente de 4 (eficiencia energética de 400%). Es decir, por cada 4 kW de energía térmica que se alimentan o extraen del espacio climatizado, solo se paga por 1 kW de electricidad.

Las BCG evitan el uso de electricidad hasta en un 75%, evitando la emisión de gases de efecto invernadero en forma proporcional. Su tecnología es madura (se usan desde hace unos 50 años) y

está bien establecida en EUA, Canadá y Europa. Su uso es sustentable pues utiliza una fuente de energía limpia y local que no depende de fluctuaciones de divisas ni de estrategias de oferta/demanda. Su retorno de la inversión es satisfactorio, el riesgo de la inversión es bajo y los altos ahorros de energía proporcionan ventajas económicas a los usuarios. Las BCG tienen una vida útil de 25 años y los intercambiadores de calor del subsuelo de hasta 50 años. Su operación es silenciosa y requieren de muy poco mantenimiento. Actualmente, las BGG usan el sello EnergyStar®, y en diversos países se tienen incentivos y subsidios para su uso en los sectores residencial, comercial y de servicios.

Las BCG representan la tecnología geotérmica de mayor crecimiento en el mundo y es la mejor tecnología disponible para climatización de espacios. Sin embargo, hasta la fecha no se sabe de ninguna BCG instalada en México, aunque el país ha experimentado una creciente importancia del consumo de energía para el confort de los ocupantes de los edificios de los sectores residencial y comercial, y se requieren tecnologías más eficientes para climatización de espacios, que reduzcan el uso de electricidad o de combustibles fósiles.

Los sistemas demostrativos de BCG contemplados en este proyecto se consideran pioneros en el país y se realizarán en el poblado de Los Humeros, Pue., y en la ciudad de Mexicali, B.C. Ambos sitios poseen condiciones climáticas ideales para la operación, evaluación y generación de bases de datos operativos de BCG en el país. Una descripción más completa de este proyecto se encuentra en (García et al., 2015).

## 2. Estudio de prefactibilidad para la instalación de bombas de calor geotérmicas

El estudio de prefactibilidad para la instalación de BCGs en Los Humeros, Puebla, y en Mexicali, Baja California, está basado en las suposiciones de trabajo o criterios siguientes:

1. La bomba de calor posee una eficiencia o coeficiente de desempeño (COP) de 4, es decir, que por cada kW que el compresor del equipo consume de energía eléctrica, se obtienen tres kW del subsuelo en forma gratuita.

2. Se tiene un ahorro del 75 % en consumo de energía eléctrica debido al valor típico del COP.

3. Se consideró un costo de 7 mil dólares por tonelada de refrigeración, basado en costos internacionales obtenidos de diversas fuentes.

4. Para la instalación en Los Humeros Puebla, se consideró una BCG con una capacidad estimada de 8 toneladas de calefacción, mientras que para la instalación en Mexicali, Baja California, se consideró una unidad de 30 toneladas de refrigeración.

El análisis de este estudió está basado en la determinación de los siguientes parámetros: Valor Presente Neto (VPN), Periodo de Recuperación (PR) y Tasa Interna de Recuperación (TIR), partiendo de un enfoque de ahorro de consumo de energía.

El ahorro de consumo eléctrico es el parámetro de mayor importancia a considerar en este estudio económico. Este consiste en la cantidad de energía eléctrica que la bomba de calor geotérmica permite ahorrar en comparación con un sistema convencional, se expresa en porcentaje y se calcula como:

$$A = \left(1 - \frac{1}{COP}\right) X\ 100 \qquad (1)$$

donde:
A = Ahorro de consumo eléctrico (%)
COP = Rendimiento (*Coefficient of Performance*), adimensional

Para el estudio realizado, con un COP de 4, el ahorro de consumo eléctrico es de 75%.

***Costo de combustibles***

Con objeto de comparar las distintas alternativas que existen para el acondicionamiento de espacios, se investigaron los costos del servicio eléctrico, del gas natural y del gas LP (Tabla 1).

**Tabla 1. Costos de insumos energéticos en el año 2015.**

| Combustible | Costo | Fuente | Fecha |
|---|---|---|---|
| **Electricidad** | $3.532 pesos M.N./kWh | Comisión Federal de Electricidad | Diciembre de 2015 |
| **Gas natural** | $145.19 pesos M.N./GJ | Comisión Reguladora de Energía/Natgasmex S.A. de C.V. | Mayo de 2015 |
| **Gas LP** | $13.97 pesos M.N./kg | Secretaría de Energía | Agosto de 2015 |

***Resultados***

Considerando el uso de una BCG en Los Humeros, Puebla, se calcula un ahorro sustancial de uso de electricidad de 17,160 dólares en el primer año, un PR de 3.1 años aproximadamente, una TIR de 41.5% y un VPN de $168,548 dólares, asumiendo un COP de 4 y un costo del equipo de 7 mil dóalres por tonelada de espacio a refrigerar.

De manera análoga, para el caso de Mexicali, Baja California, se estimó un ahorro por concepto de electricidad de 64,350 dólares en el primer año, con un PR de 3 años, una TIR de 42.3% y un VPN de 635,806 dólares.

Otro aspecto de nuestro estudio consistió en realizar un análisis de gasto anual, en el cual se utiliza el método de IGSHPA (2011) para el cálculo del gasto en la modalidad de calefacción. Para el caso de Los Humeros, Puebla, la comparación entre un calentador eléctrico y una BCG mostró un gasto anual de 34,510 dólares para el primero y de sólo 6,624 dólares para la BCG, lo cual es otra manera de demostrar la ventaja de utilizar una BCG.

## 3. Estudio de mercado

México, por su posición geográfica, ocupa un territorio donde predomina el clima cálido. Pero también existen regiones del territorio nacional —particularmente la zona norte y las regiones montañosas— donde estacionalmente se presentan bajas temperaturas. Esto significa que en la mayoría del territorio mexicano los espacios construidos tienen que integrar, en algún sentido, elementos que permitan el confort de sus ocupantes. A continuación se presenta la Figura 1 que muestra los grados días calefacción y los grados días refrigeración para 1,700 localidades en México.

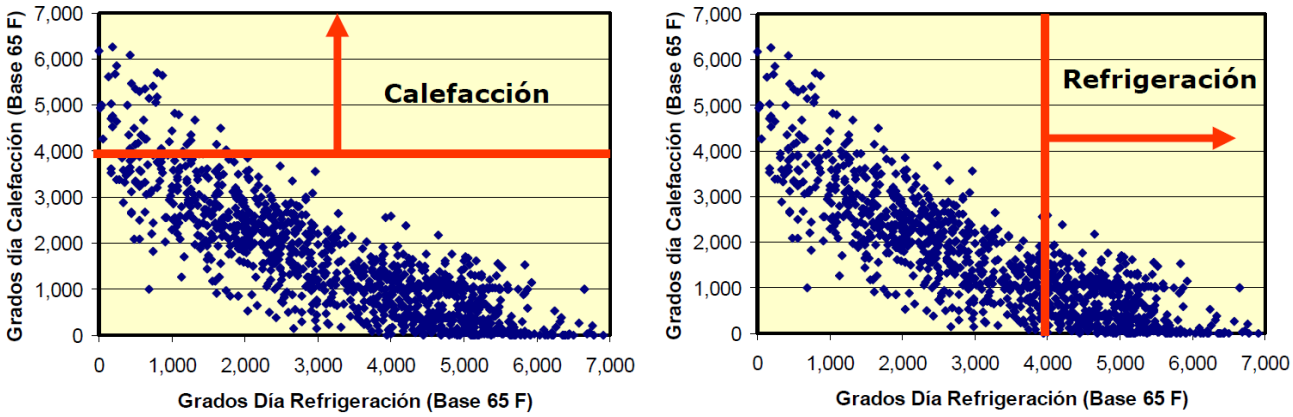


**Fig. 1. Grados día para 1,700 localidades de México (Asociación de empresas para el ahorro de energía en la edificación, AEAEE).**

El crecimiento de la necesidad de confort tiene importantes impactos. El principal y más directo es el del consumo de energía eléctrica, debido a que el 75% de ésta se genera a partir de combustibles fósiles y, por lo tanto, tiene impactos ambientales negativos por las emisiones unitarias de $CO_2$. El mayor consumo de energía eléctrica se ubica en zonas de clima cálido en el sector residencial y comercial, el cual creció de manera sustancial del año 1988 al 2010 (Figura 2).

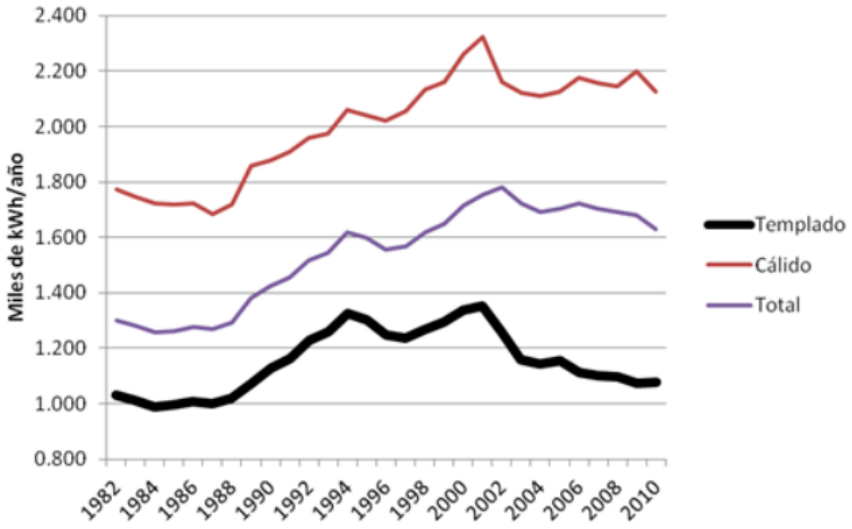


**Fig. 2. Consumo de electricidad (residencial y comercial) por clima (CONUEE, 2013).**

La BCG como tal es un sistema dual que se utiliza para calefacción y enfriamiento. Su principal característica es que emplea un intercambiador de calor instalado en el subsuelo. Este elemento en conjunto con la bomba de calor entrega altos índices de eficiencia y por lo tanto bajos consumos de energía. Si comparamos la BCG con los sistemas tradicionales de acondicionamiento de espacio (de aire acondicionado y de calefacción) obtenemos ahorros considerables del 50% al 75% (García y Martínez, 2011).

La información presentada en la Figura 3 muestra el consumo de energía de cada sector de la economía así como la aportación porcentual de cada energético. El objetivo del proyecto de las BCG en un futuro será ayudar a disminuir estos consumos de energía en cada uno de los sectores de aplicación.

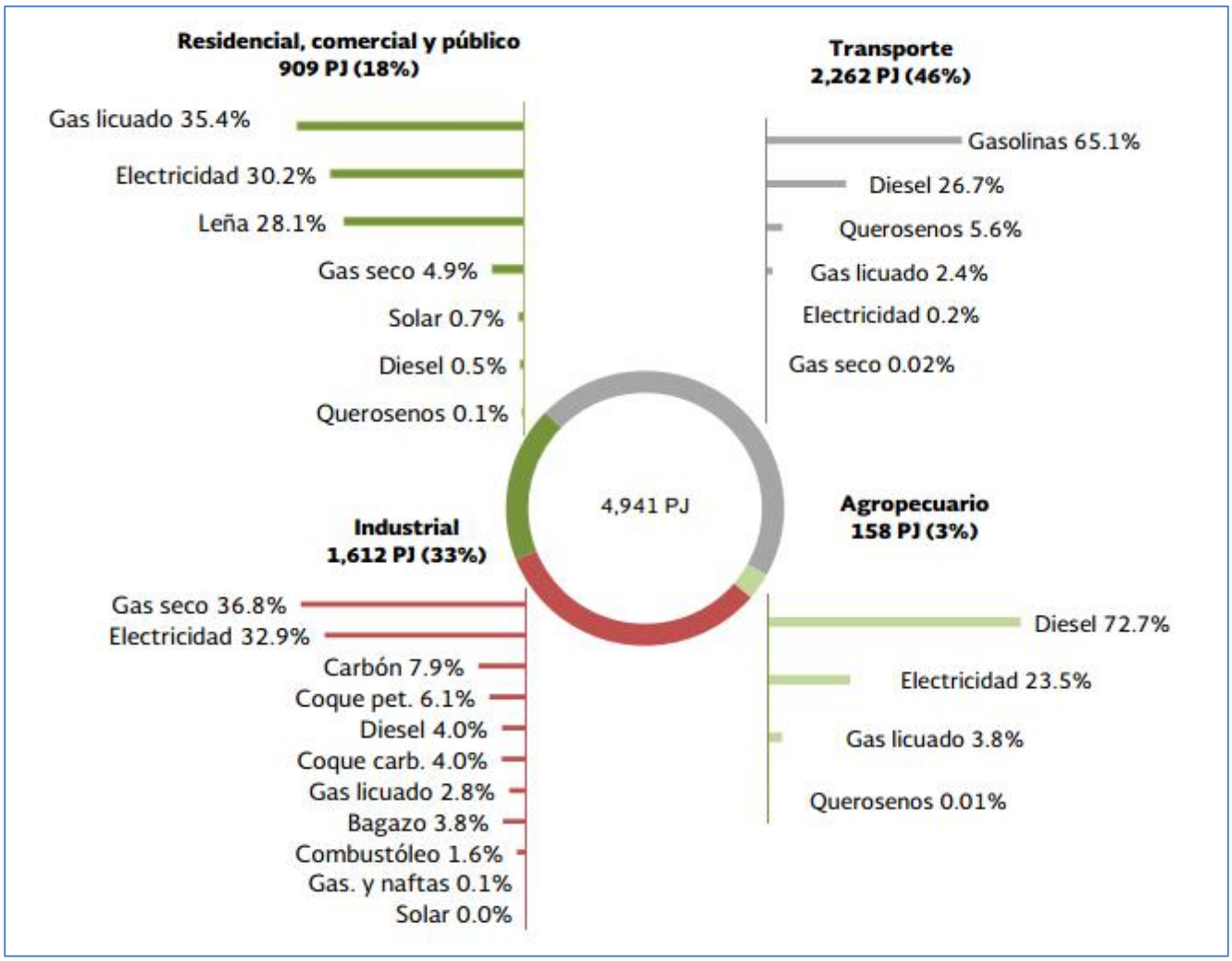


**Figura 3. Consumo de energía por sector y tipo de combustible en el año 2013 (SENER, 2014).**

### *Resultados*

El Estudio de Mercado representa un punto fundamental del proyecto 13 del CeMIEGeo, mediante el cual se busca determinar el mercado potencial de las BCG y la manera de introducirlas a nivel nacional como una alternativa viable, económica, eficiente y amigable con el ambiente. El estudio de mercado debe proporcionar la información suficiente para saber en qué estados o ciudades de la República Mexicana es factible comercializar esta tecnología. Por el momento no existen empresas en México que fabriquen dichos equipos, y podemos decir que tampoco existen empresas comercializadoras.

Es importante resaltar que en una primera etapa de este estudio se hizo un análisis multifactorial con el propósito de definir el mercado potencial para la comercialización de las BCG en México, y de manera

específica, para la determinación de las zonas de interés para la aplicación de esta tecnología. Este análisis será, posteriormente, enfocado a los sectores residencial, comercial y educativo.

Los parámetros específicos, con los cuales se determinaron las zonas de estudio o de interés para la utilización de la tecnología BCG, son entre otros los siguientes:

- La sensación de "confort" requerida por el ser humano.
- Las condiciones de temperatura por región de la República Mexicana.
- El desarrollo poblacional por entidad federativa.
- El nivel socioeconómico de los estados.
- El desarrollo de la vivienda en México.
- El desarrollo de la industria, comercio y educación en México.

El mercado potencial divide al país por zonas geográficas, mientras que el mercado objetivo se define con una meta que permita abarcar por lo menos el 30% del mercado potencial, y para cubrir el mercado objetivo se desarrollará una estrategia o *roadmap*. El estudio de mercado a nivel sectorial y la estrategia para introducir las BCG al país en forma masiva se encuentran en desarrollo.

## Conclusiones

Las BCG representan el uso directo de la energía geotérmica con mayor capacidad instalada y mayor uso de energía, y la tecnología geotérmica de mayor crecimiento en el mundo. El empleo de BCG para climatización de todo tipo de edificios es común en más de 40 países con ventajas en el consumo de energía y en la emisión de GEI. Su operación es confiable y requiere de poco mantenimiento. Aunque la inversión inicial es más alta que la de otras tecnologías, su alta eficiencia resulta en gastos de operación muy bajos durante su larga vida de útil con la ventaja de reducir la factura operacional del usuario. Los estudios de prefactibilidad realizados a la fecha indican periodos de recuperación del capital de hasta tres años para los casos de estudio que representan condiciones extremas para calefacción y aire acondicionado. El estudio indica que el mercado potencial es todo el territorio nacional, el cual, por facilidad, ha sido dividido en zonas. Además, se tiene en proceso un estudio por sectores en estas zonas y una estrategia (*roadmap*) para proponer su uso a gran escala.

Con el estudio de prefactiilidad y los avances del estudio de mercado se han sentado las primeras bases para la introducción de la tecnología de Bombas de Calor Geotérmicas en México. Se prevé que al inicio se requerirá de incentivos para propiciar y fomentar la participación de la iniciativa privada, y por otra parte se requerirán programas auspiciados por los tres niveles de gobierno para impulsar el uso de esta tecnología en la construcción de nuevos inmuebles que se diseñen para uso del sector público, tales como escuelas, oficinas, hospitales, etc.

## Agradecimientos

Se agradece a las autoridades del Fondo de Sustentabilidad Energética del Gobierno Federal por el apoyo financiero para el desarrollo de este proyecto, y a las autoridades del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica y del Instituto de Investigaciones Eléctricas por el apoyo para la publicación de este trabajo.

## Referencias

CeMIEGeo, (2016), Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica, Usos Directos del Calor Geotérmico, disponible en http://www.cemiegeo.org/index.php/ProjInvest?id=4; consultado el 22 de febrero de 2016.

CONUEE, (2013), Comisión Nacional del Uso Eficiente de Energía. La importancia de los edificios como usuarios de energía y las acciones de la CONUEE, disponible en http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/8117/28/CONUEEEdificiosAgosto2013.pdf; consultado el 22 de febrero de 2016.

García-Gutiérrez, A., y J.I. Martínez-Estrella (2012). Estado actual de desarrollo de las Bombas de Calor Geotérmico. *Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía*, 25(2), 58-68.

García-Gutiérrez, A., F. Rivas-Cruz, V. Torres-Luna, P. García-Manuel, I. Gonzáles-Reyes, R. Ovando-Castelar, J.I. Martínez-Estrella, A. Mercado-Herrera, F. Lara-Chávez, y J.C. Ling-López (2015). Bombas de Calor Geotérmicas para acondicionamiento de espacios habitacionales y comerciales: Proyecto 13 del CeMIE-Geo. *Memorias del XXII Congreso Anual de la Asociación Geotérmica Mexicana*, Cuernavaca, Mor., Marzo 2015.

Gutiérrez Negrín, L.C.A. (1997). Seminario sobre Usos Industriales de la Geotermia - Estudios en Los Azufres, Mich. *Geotermia, Revista Mexicana de Geoenergía*, 13(1), 51-52.

IGSHPA (2011). *International Ground Source Heat Pump Association, Ground Source Heat Pump Residential and Light Commercial, Design and Installation Guide.* Reporte preparado por Oklahoma State University, Division of Engineering Technology, Stillwater Oklahoma, p.1-16.

Lund, J.W., and T.L. Boyd (2015). Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.

SENER (2014). Balance Nacional de Energía 2013. Secretaría de Energía, México, DF, disponible en http://www.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Balance_2013.pdf, consultado en Junio 2015.