

RECURSOS GEOTÉRMICOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD EN MÉXICO

Ing. Raúl Maya González

Gerente de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad

raul.maya@cfe.gob.mx

Ing. Luis C.A. Gutiérrez Negrín

Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos de la Comisión Federal de Electricidad

luis.gutierrez@geotermia.org.mx

Resumen

La geotermia es una fuente de energía renovable para todo efecto práctico, que puede utilizarse para generar electricidad a precios competitivos y con impactos ambientales inocuos. La mitad de la energía eléctrica consumida en el estado de Baja California y el 3% de la consumida en México en 2006 se produjo gracias a la geotermia. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera actualmente los campos geotérmicos de Cerro Prieto, Los Azufres, Los Hornos y Las Tres Vírgenes, donde 37 unidades geotermoeléctricas con una capacidad instalada conjunta de 958 megawatts (MW) son alimentadas por 230 pozos con profundidades de 600 a 4 mil metros, que extraen del subsuelo más de 72 millones de toneladas de vapor al año. Debido a ello, México ha venido ocupando el tercer lugar mundial de acuerdo a su capacidad geotermoeléctrica en operación, la cual representa más del 10% del total mundial actual. La CFE tiene proyectos por otros 190 MW geotermoeléctricos en diversas etapas de desarrollo, pero conforme la disponibilidad de petróleo tiende a reducirse y su precio a subir, el desarrollo geotermoeléctrico más importante del futuro en México será el aprovechamiento de los vastos recursos geotérmicos de baja temperatura mediante plantas de ciclo binario.

Palabras clave: Electricidad, energía, recursos geotérmicos, México.

Geothermal resources for electric generation in Mexico

Abstract

Geothermics is a renewable energy source that can be used to generate electricity at competitive prices and with negligible environmental impacts. Half of the electric energy consumed in the state of Baja California, and 3% of the total consumed in Mexico in 2006, was produced from geothermal resources. Presently, the Comisión Federal de Electricidad (CFE) operates the geothermal fields of Cerro Prieto, Los Azufres, Los Hornos and Las Tres Vírgenes, where 37 power units, with a whole installed capacity of 958 megawatts (MW), are fed by 230 wells with depths from 600 to 4000 meters producing 72 million tons of steam per year from subsurface. For that reason, Mexico has been ranked in the third place worldwide after its geothermal-electric operating capacity—which represents more than 10% of the present total in the world. The CFE has projects for other 190 MW of geothermal power, which are in diverse development stages. However, as the availability of oil goes down and its price rises, the more important geothermal-electric further trend in Mexico should be the development of the vast low temperature geothermal resources with binary cycle plants.

Keywords: Electricity, energy, geothermal resources, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es explicar a grandes rasgos las características más importantes de la geotermia y su aprovechamiento actual en México, principalmente para generar electricidad.

El término geotermia se refiere al calor del interior de la tierra, y significa una fuente de energía alterna a los combustibles fósiles, ambientalmente inocua y económicamente competitiva para emplearse en la generación de electricidad y en otros aprovechamientos directos.

Los yacimientos geotérmicos se encuentran en determinadas partes del subsuelo. Su energía puede extraerse por medio de pozos profundos, a través de los cuales ascienden los fluidos, compuestos generalmente por una mezcla de agua con sales disueltas, o salmuera, y vapor de agua. Ya en la superficie, el vapor puede ser separado de esa mezcla y transportado hacia las centrales de generación, donde mueve los álabes de las turbinas para generar electricidad. La salmuera se conduce hacia lagunas de evaporación o directamente hacia pozos inyectoros, a través de los cuales se regresa al yacimiento con el doble propósito de recargarlo y de prevenir cualquier contaminación a los acuíferos someros. En algunos casos, los yacimientos están compuestos únicamente de vapor de agua.

Un yacimiento geotérmico típico se compone de una fuente de calor, un acuífero y la llamada capa sello. La fuente de calor es una cámara magmática en proceso de enfriamiento con temperaturas todavía elevadas, de unos 500°C o más. El acuífero es cualquier formación litológica con la permeabilidad primaria o secundaria suficiente para alojar agua meteórica percolada desde la superficie o desde acuíferos menos profundos. La capa sello es otra formación rocosa, o parte de ella, con una permeabilidad menor que la del acuífero, y cuya función es impedir que los fluidos geotérmicos se disipen totalmente en la superficie (Fig. 1). Si se tiene el cuidado de extraer una masa de fluidos equivalente a la que se recarga en el yacimiento, sea por medios naturales o artificiales, el recurso es renovable para todo efecto práctico, ya que aunque la cámara magmática terminará por enfriarse, el proceso le tomará probablemente algunos miles de años.

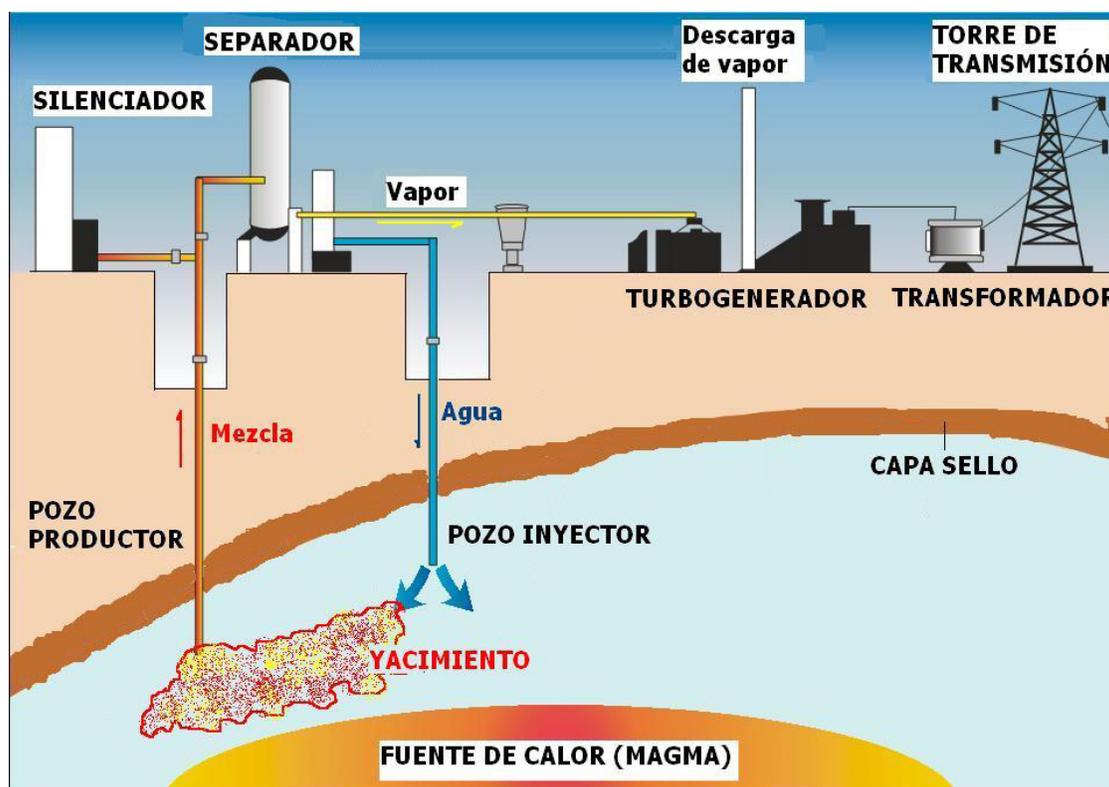


Fig. 1. Modelo esquemático de un yacimiento geotérmico

El elemento clave del yacimiento es la fuente de calor, cuya existencia, a miles de metros de profundidad, sólo puede deducirse a partir de evidencias indirectas que se aprecian en la superficie. Una de tales evidencias es la presencia de volcanes geológicamente jóvenes (menores de un millón de años), puesto que algunos de ellos, particularmente los de composición ácida, suelen estar asociados a cámaras magmáticas no demasiado profundas, capaces de actuar como fuentes de calor.

El vulcanismo, al igual que los sismos, es un fenómeno producido por el movimiento de las placas tectónicas, en las que está fragmentada la capa exterior del planeta. En los límites entre una placa y otra, especialmente donde una de las placas se desliza debajo de otra en un proceso conocido como subducción, son más frecuentes el vulcanismo y la sismicidad, y por lo tanto la presencia de yacimientos geotérmicos.

Generación de electricidad de origen geotérmico

Aprovechar los recursos geotérmicos para generar energía eléctrica no es algo nuevo. Las primeras plantas geotermoeléctricas empezaron a funcionar en Italia a principios de la década de los treinta, en el campo geotérmico de Larderello (CATALDI, Rafaele), y en el continente americano la primera planta de este tipo se instaló en el campo de Pathé, México, en 1959. Se trata de una unidad de 3.5 MW de capacidad, adquirida en Italia, que entró en operación el 20 de noviembre de 1959. Aunque sólo generó una fracción de su capacidad, estuvo operando hasta 1973, año en que fue desmantelada (QUIJANO-LEÓN, José Luis, y GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A.). Actualmente se exhibe como pieza de museo en las instalaciones del campo geotérmico de Los Azufres, Mich., operado por la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

País	Capacidad (MW)
Estados Unidos	2,851
Filipinas	1,980
México	958
Indonesia	797
Italia	790
Japón	535
Nueva Zelanda	450
Islandia	202
Costa Rica	163
El Salvador	151
Kenya	127
Nicaragua	87
Rusia	79
Guatemala	33
China	28
Turquía	20
Portugal (Islas Azores)	17
Francia (Isla Guadalupe)	15
Otros	20
Total	9,303

Tabla 1. Capacidad geotermoeléctrica en el mundo (Junio de 2007)

Hoy en día 27 países hacen uso de la geotermia para generar electricidad, la mayoría de los cuales están ubicados cerca de los límites entre diversas placas tectónicas. La capacidad geotermoeléctrica instalada actual, con datos a junio de 2007, es de 9 mil 300 megawatts (MW), como se observa en la Tabla 1. Puede verse en ella que México ocupa el tercer lugar mundial, después de Estados Unidos y Filipinas, representando más del 10% de la capacidad mundial.

Hay varias maneras de generar electricidad con fluidos geotérmicos. La más sencilla de ellas es utilizar unidades a contrapresión, en las que el vapor se descarga directamente a la atmósfera después de que se le hecho pasar por la turbina (Fig. 2-A). Otra manera es emplear una unidad a condensación, en la cual el vapor, después de pasar por la turbina, pasa a un condensador que trabaja a una presión menor que la atmosférica (Fig. 2-B). Las unidades a contrapresión son más baratas, ya que carecen de condensador y torre de enfriamiento, pero menos eficientes pues requieren del orden de 12 toneladas de vapor para generar un megawatt-hora (MWh). Las unidades a condensación ameritan más inversión pero son más eficientes, ya que necesitan del orden de 8 toneladas por MWh generado.

Un tercer tipo de unidad geotermoeléctrica es la de ciclo binario. En esta se utiliza un intercambiador de calor para que el fluido geotérmico (agua o vapor) caliente a un fluido de trabajo con punto de ebullición inferior al del agua. Es justamente este fluido el que se hace pasar por la turbina siendo posteriormente condensado y vuelto a pasar por el intercambiador, en un proceso cíclico y continuo (Fig. 2-C). Este arreglo es el más caro, pero permite aprovechar fluidos geotérmicos de temperaturas inferiores que, de otro modo, tal vez no podrían utilizarse para generar electricidad.

Los tres tipos de unidades geotermoeléctricas se emplean rutinariamente para generar energía eléctrica de manera comercial, tanto en México como en el resto del mundo.

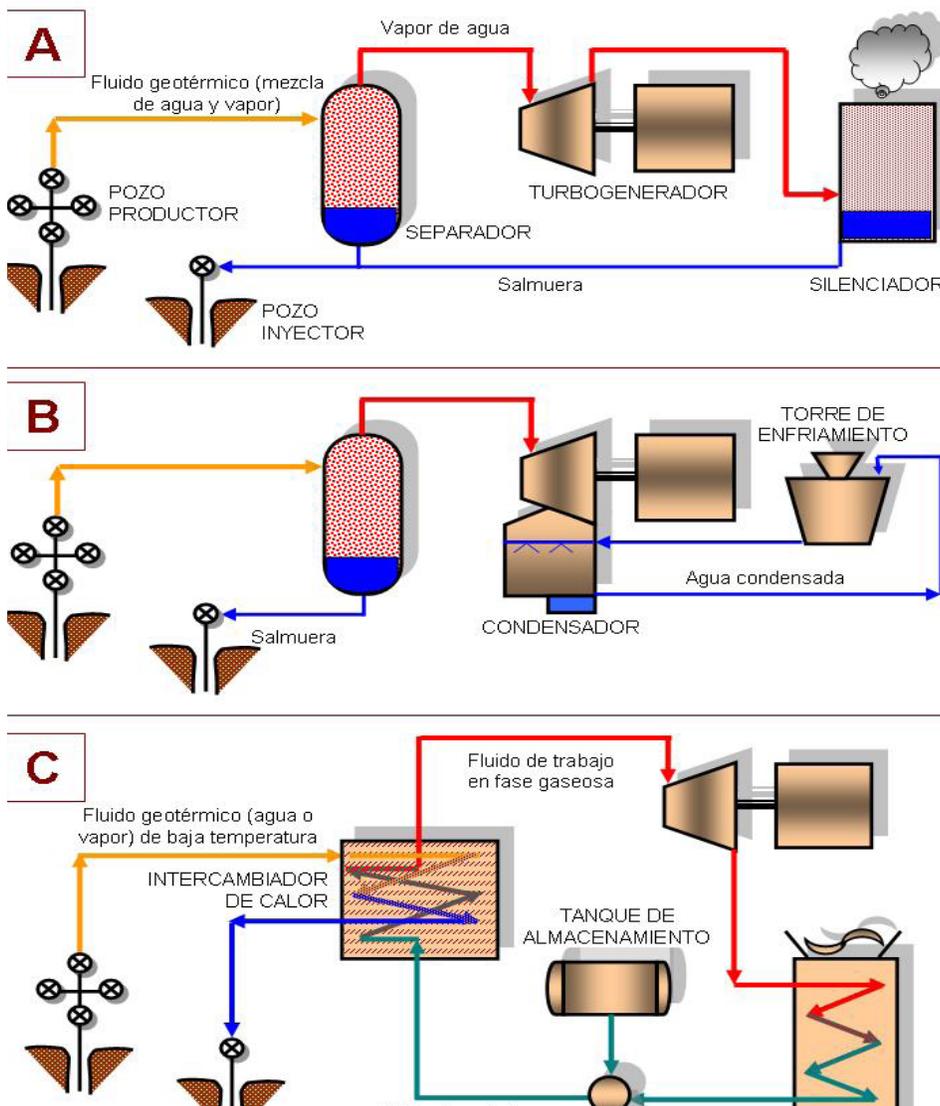


Fig. 2. Esquemas de generación geotermoeléctrica comercialmente aprovechables. A) Plantas a contrapresión, B) Plantas a condensación, C) Plantas de ciclo binario.

Campos geotérmicos de México

La CFE, organismo público a cargo de la generación, transmisión y comercialización de la energía eléctrica en México, opera cuatro campos geotérmicos a través de su Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG), con sede en Morelia, Mich. Esos campos son los de Cerro Prieto, BC, Los Azufres, Mich., Los Humeros, Pue., y Las Tres Vírgenes, BCS (Fig. 3).

El campo de Cerro Prieto se localiza en la porción norte de México, muy cerca de la frontera con Estados Unidos, a unos 30 kilómetros al sureste de la ciudad de Mexicali, capital del estado de Baja California. Es el segundo campo más grande del mundo, sólo inferior al de *The Geysers*, en California, EUA, y se ubica prácticamente al nivel del mar.



Fig. 3. Campos geotérmicos de México

Es un campo de tipo sedimentario, en el cual los fluidos geotérmicos están alojados en rocas areniscas. La fuente de calor es una anomalía térmica formada por el adelgazamiento de la corteza terrestre que ocurre en la cuenca transtensional en la que se ha formado el yacimiento, asociado a la prolongación sur del sistema de fallas activas de San Andrés.

Su capacidad instalada es de 720 MW. Las primeras unidades empezaron a operar en 1973 y las últimas en 2000. A la fecha cuenta con cuatro unidades de 25 MW, una unidad de 30 MW, cuatro de 37.5 MW cada una, y otras cuatro de 110 MW cada una. Todas ellas son unidades a condensación.

En Cerro Prieto la CFE opera un promedio de 168 pozos en producción continua, con una profundidad media de 2,500 metros, que producen más de 52 millones de toneladas de vapor al año a una tasa de 6 mil toneladas de vapor por hora (t/h). Hay en él una laguna de evaporación construida en una superficie de 14 kilómetros cuadrados, con la cual, y con 15 pozos inyectoros, se dispone de los más de 70 millones de toneladas de salmuera que salen asociadas al vapor. Durante el año 2006, sus trece unidades generaron más de 4,843 gigawatts hora (GWh) (GUTIÉRREZ NEGRÍN, Luis C.A.).

El campo geotérmico de Los Azufres está localizado en la parte central de México, en el Estado de Michoacán, a unos 250 kilómetros al occidente de la Ciudad de México, en un complejo volcánico a 2,800 metros de altitud. Se ubica casi en el centro de la Faja Volcánica Mexicana (Fig. 3), que es una franja de volcanes y productos volcánicos cuaternarios que atraviesa México de costa a costa y en la cual se encuentran varios volcanes actualmente activos, como el Popocatepetl y el Volcán de Fuego de Colima.

AdiferenciadeCerroPrieto,LosAzufresuncampodetipovolcánicocuyosfluidosgeotérmicosestáncontenidos en rocas de tipo andesítico. La CFE opera en él una capacidad total de 188 MW mediante cinco unidades a condensación (una de 50 MW y cuatro de 25 MW cada una), siete unidades a contrapresión de 5 MW cada una y dos unidades de ciclo binario de 1.5 MW cada una.

Conesas14unidadesturbogeneradoras,la central geotermoeléctrica de Los Azufres generó 1,522 GWh en 2006, alimentada por un promedio de 39 pozos productores integrados al sistema de vapor de productos, que a lo largo del año pasado produjeron 14.6 millones de toneladas de vapor a un ritmo de 1,670 t/h (GUTIÉRREZ NEGRÍN, Luis C.A.). Seis pozos inyectoros se utilizaron para regresar al yacimiento 4.4 millones de toneladas de salmuera geotérmica que fueron separadas del vapor.

Los Humeros es otro campo volcánico, ubicado en la parte oriental de la Faja Volcánica Mexicana (Fig. 3) en los límites de los estados de Puebla y Veracruz, en el interior de una caldera volcánica cuaternaria cuyas últimas erupciones ocurrieron hace 20 mil años. El campo se ubica a 2,600 metros sobre el nivel del mar. Aquí también son rocas andesíticas las que alojan a los fluidos geotérmicos, los cuales tienen temperaturas medidas de hasta 400°C. La central geotermoeléctrica de Los Humeros está constituida por ocho unidades turbogeneradoras a contrapresión de 5 MW cada una (40 MW en total), la más reciente de las cuales entró en operación a fines de julio de 2007.

El año pasado las siete unidades que estuvieron en operación continua en Los Humeros generaron 295 GWh, y fueron alimentadas por 4.3 millones de toneladas de vapor (GUTIÉRREZ NEGRÍN, Luis C.A.). La CFE maneja actualmente 23 pozos productores integrados al sistema, que producen una cantidad menor de salmuera que los pozos de los otros campos. Durante 2006 la salmuera producida fue de sólo 709 mil toneladas, misma que se inyectó al yacimiento a través de tres pozos inyectoros.

El campo geotérmico de Las Tres Vírgenes es igualmente un campo volcánico, pero éste ubicado en la parte media de la península de Baja California, fuera de la Faja Volcánica Mexicana (Fig. 3), en el Estado de Baja California Sur. El campo está dentro de un complejo de tres volcanes cuaternarios alineados de norte a sur. Su fuente de calor es probablemente la cámara magmática del volcán más reciente y meridional, denominado La Virgen. En esta porción de México el vulcanismo es producto de los movimientos tectónicos que están separando a la península de Baja California y parte de la alta California del resto del continente, a razón de unos 5 centímetros por año, a lo largo de una zona de fallas de transformación que constituyen la prolongación sur del sistema de San Andrés. Los fluidos geotérmicos del yacimiento están alojados en rocas de tipo intrusivo (granodioritas), sobreyacidas por rocas vulcanosedimentarias y volcánicas (GUTIÉRREZ NEGRÍN, Luis C.A. et al., 2001).

La central de Las Tres Vírgenes está constituida por dos unidades a condensación de 5 MW cada una, que entraron en operación en 2001. En 2006 la central generó 25 GWh y fue alimentada por 330 mil toneladas de vapor producidas por un par de pozos productores a razón de 38 t/h. Los pozos produjeron también 1.4 millones de toneladas de salmuera, la cual se regresó en su totalidad al yacimiento a través de un pozo inyector.

Un quinto campo geotérmico identificado en México es el campo de Cerritos Colorados, conocido anteriormente como La Primavera, ubicado en la porción central del país al occidente de la Faja Volcánica Mexicana (Fig. 3) y prácticamente en la periferia de la ciudad de Guadalajara, Jal. El campo se ubica dentro de una caldera volcánica de unos 12 kilómetros de diámetro formada hace 120 mil años, la caldera de La Primavera, cuya última actividad es un domo riolítico de 20 mil años de antigüedad extruido en el borde oriental de la caldera (MAHOOD, Gail). La fuente de calor es la cámara magmática productora del vulcanismo, que se localiza en el subsuelo hacia la porción centro-sur de la caldera. Los fluidos geotérmicos están contenidos en rocas andesíticas plio-cuaternarias a profundidades del orden de los 2,100 metros, sobreyacidas por ignimbritas y sedimentos lacustres y subyacidas por rocas intrusivas que constituyen el basamento. La CFE ha perforado en ese campo 13 pozos exploratorios, seis de los cuales son pozos productores (GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A. et al., 2002). Aunque la CFE ha evaluado un potencial inicial suficiente para instalar 75 MW, hasta la fecha el campo no ha podido ser aprovechado por carecerse de los permisos y licencias en materia ambiental.

La geotermia como fuente alterna

En México, el servicio público de electricidad es proporcionado por el Estado, a través de dos compañías para estatales: la CFE y Luz y Fuerza del Centro. Esta última es principalmente una compañía distribuidora y comercializadora que opera únicamente el 1.5% de la capacidad eléctrica instalada, pero que tiene alrededor de cinco millones de clientes en una superficie de 20,500 km² que abarca el Distrito Federal y partes de los estados colindantes de México, Hidalgo, Puebla y Morelos (LUZ Y FUERZA DEL CENTRO).

La CFE opera el restante 98.5% de la capacidad eléctrica nacional, así como la red eléctrica nacional y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), encargado del despacho de energía. Tiene 24 millones de clientes y en 2005 tuvo ventas del orden de 14 mil millones de dólares. Posee y opera con su propio personal 529 unidades generadoras de diversas capacidades y tipos: hidroeléctricas, vapor, gas natural, ciclo combinado, combustión interna, geotermoeléctricas, nucleoeléctricas, carboeléctricas y eoloeléctricas. En septiembre de 2007 las plantas operadas por CFE sumaron una capacidad instalada de 38,404 MW (COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD).

La CFE también recibe, transmite, distribuye y comercializa la energía eléctrica generada por los productores independientes de energía (PIE), que son compañías privadas que poseen y operan sus plantas con personal propio y que le venden la energía a la CFE. A fines de septiembre de 2007 operaban en México más de 65 unidades generadoras de este tipo con una capacidad instalada total de 11,457 MW (COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD), todas de ciclo combinado.

Adicionalmente, el año pasado había en México otras 465 unidades generadoras, con una capacidad instalada de 7,106 MW (COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA, 2007), operadas también por compañías públicas (como PEMEX) y privadas para satisfacer su propia demanda de energía eléctrica. Estos son los llamados auto-abastecedores y co-generadores, que pueden vender su eventual exceso de energía a la CFE pero cuya actividad no está considerada como servicio público sino como un servicio privado.

En resumen, la capacidad eléctrica total del país es de 57,741 MW, tal como se indica en la Tabla 2.

	MW	% del Total	No. de unidades
Comisión Federal de Electricidad (CFE)	38,404	66.5	529
Luz y Fuerza del Centro (LFC)	864	1.5	53
Productores Independientes de Energía (PIE)	11,457	19.8	68
Total para Servicio Público	50,725	87.8	650
Auto-generación y co-generación	7,016	12.1	465
Capacidad instalada total	57,741	100.0	1,115

Tabla 2. Capacidad eléctrica instalada en México en 2006

Como se mencionó antes, la capacidad geotermoeléctrica instalada en México es de 958 MW. Representa, por tanto, menos del 2% del total instalado para el servicio público. Este porcentaje sube ligeramente si se toma en cuenta la generación real de electricidad en lugar de la capacidad instalada. Durante 2006 se generaron en México 223,018 gigawatts-hora (GWh) entre la CFE, LFC y los PIE. La generación geotermoeléctrica en las 37 unidades instaladas en los cuatro campos mencionados fue de 6,685 GWh, lo que significó el 3% del total.

El peso de la geotermia en la generación eléctrica puede parecer irrelevante considerada en el contexto nacional. Pero a nivel local, la generación del campo geotérmico de Cerro Prieto, por ejemplo, satisface más de la mitad de la demanda de electricidad de la red regional de Baja California, que es una red de transmisión aislada de la red eléctrica nacional.

Por otro lado, la geotermia también puede emplearse en muchos usos directos. Los fluidos geotérmicos de baja temperatura se usan rutinariamente en Estados Unidos y en muchos países europeos para desarrollo turístico y balnearios de agua caliente, calefacción de viviendas y oficinas, procesos industriales que utilicen agua caliente, invernaderos, secado de madera, deshidratación de frutas y legumbres, y otros. Adicionalmente, las sales que contienen la salmuera geotérmica (por ejemplo el cloruro de potasio) pueden concentrarse en lagunas o estanques especialmente diseñados para ello, y comercializarse con atractivos márgenes de utilidad.

Impacto ambiental del uso de la geotermia

Utilizar recursos geotérmicos es una de las maneras más ambientalmente inocuas de generar energía eléctrica. En la Tabla 3 se reporta la emisión a la atmósfera de diversos gases que ocasiona la generación de un megawatt-hora (MWh) de energía eléctrica de acuerdo al tipo de central en la que se produce la electricidad. Puede verse que el uso de vapor geotérmico en unidades geotermoeléctricas, ejemplificadas con las del campo geotérmico de Los Azufres, evita la emisión de óxidos de nitrógeno y de azufre a la atmósfera, que son los precursores de la lluvia ácida. Asimismo, se observa que las unidades geotermoeléctricas emiten una cantidad de bióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero y responsable del fenómeno de calentamiento global, mucho menor que la emitida por centrales que emplean combustibles convencionales y fósiles: el uso del vapor geotérmico permite que por cada MWh generado se emita a la atmósfera sólo un 22% de la cantidad que emite una planta carbóelétrica, un 29% de la que emite una planta a base de petróleo y un 40% de la que emite una central a base de gas natural. Finalmente, la cantidad de ácido sulfhídrico que se emite a la atmósfera, y que no producen plantas a base de combustibles fósiles, está dentro de los límites de seguridad internacionales y no implica mayor impacto al ambiente más allá de su mal olor característico.

Centrales termoeléctricas a base de:	Emisiones a la atmósfera en kg/MWh			
	NO _x	SO ₂	CO ₂	H ₂ S
Carbón, promedio	1,96	4,72	994,71	0,00
Petróleo, promedio	1,82	5,45	759,09	0,00
Gas natural, promedio	1,34	0,01	550,25	0,00
Vapor geotérmico, unidades de Los Azufres	0,00	0,00	221,19	2,92

Tabla 3. Emisiones a la atmósfera por megawatt-hora generado

Por lo tanto, es evidente que el uso de vapor geotérmico para generar electricidad reduce el impacto ambiental que esta actividad provoca comparado con cualquier otra tecnología, a excepción probablemente de las plantas hidroeléctricas y eololéctricas. Pero además el vapor geotérmico es un recurso natural renovable para todo efecto práctico, mientras que las plantas de generación termoeléctrica convencional utilizan carbón, petróleo o sus derivados y gas natural, que son recursos fósiles no renovables.

De manera general, los impactos ambientales ocasionados por el uso de la geotermia para generar electricidad pueden agruparse en cuatro: emisiones de gases a la atmósfera, desechos líquidos, desechos sólidos y ruido (Fig. 4).

Las emisiones gaseosas son vapor de agua en más de un 95% en peso, y del 5% restante más del 90% es bióxido de carbono, cuya cantidad, como acaba de comentarse, es del orden de una quinta parte de la que emite una planta termoeléctrica convencional para generar la misma cantidad de energía eléctrica.

El siguiente gas en importancia es el ácido sulfhídrico cuyas emisiones, como también se mencionó, se encuentran por debajo de los límites establecidos en normas internacionales (en México no existe norma específica para este gas). La CFE utiliza como norma la establecida para los campos geotérmicos de Nueva Zelanda, que es la más estricta a nivel internacional, la cual establece un límite de 0,05 partes por millón de H₂S como promedio horario. En todos los campos mexicanos operan estaciones para medición del H₂S en el aire, que toman lecturas las 24 horas del día y los 365 días del año.



Fig. 4. Impactos ambientales causados por la geotermoelectricidad

Los desechos líquidos del proceso de suministro de vapor son las salmueras geotérmicas, es decir el agua que se separa de la mezcla que extraen los pozos del subsuelo. Se trata de agua salina impropia para usos domésticos o agropecuarios, por lo que se regresa al yacimiento del subsuelo a través de pozos inyectoros perforados expresamente para ello.

Adicionalmente, en todos los campos geotérmicos mexicanos se muestrea y analiza el agua de los manantiales termales o fríos dentro del campo y en su periferia, para asegurarse de que las medidas tomadas para evitar contaminar a los acuíferos someros están funcionando adecuadamente. Generalmente el análisis químico incluye la determinación del pH, alcalinidad, conductividad eléctrica y determinación de cloruros, boro, bicarbonatos, sílice, sulfatos, sodio, potasio, litio, rubidio, cesio, calcio, magnesio y arsénico. Los resultados de los análisis indican que no ha existido contaminación de los acuíferos someros debido a la explotación de los yacimientos geotérmicos.

Los desechos sólidos existen únicamente durante la perforación de los pozos, como se señala en la Figura 4. En este caso, se trata de los residuos de los lodos de perforación que son en su mayor parte arcillas bentoníticas inertes, pero que de cualquier forma son tratados de acuerdo con lo indicado en la norma ambiental respectiva, ya que la perforación de todo tipo de pozos está perfectamente regulada por la SEMARNAT.

Finalmente, en lo que se refiere al ruido, la principal fuente emisora es la descarga de los pozos, y aquellas turbinas que carecen de condensador, a la atmósfera. Para reducir el nivel de ruido, la CFE ha desarrollado diferentes tipos de silenciadores, e inclusive cuenta con una patente para un tipo específico. El tipo de silenciador patentado permite reducir el ruido hasta en un 80% a una distancia de tres metros de la fuente emisora, y hasta en un 74% a una distancia de 50 metros. Los silenciadores logran que el ruido quede dentro del límite permitido por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social para jornadas de trabajo de 8 horas, que es de 90 decibeles.

Conclusiones y perspectivas

La geotermia es una fuente de energía que se emplea desde principios del siglo pasado en diversas aplicaciones turísticas, domésticas y agroindustriales y de manera directa para generar energía eléctrica. En México, la CFE la utiliza desde hace casi 35 años para satisfacer parte de la demanda nacional de electricidad de manera confiable, económicamente competitiva y sustentable.

Los estudios de evaluación del comportamiento de los yacimientos geotérmicos de cada campo geotérmico en explotación, y su proyección a largo plazo, permiten definir el potencial adicional que es posible instalar en cada uno de ellos. Con base en esos estudios, la CFE ha programado la construcción de dos proyectos geotermoeléctricos adicionales en los campos de Cerro Prieto y Los Humeros, denominados como Cerro Prieto V (CP-V) y Los Humeros II (GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A.).

El proyecto CP-V consiste de dos unidades a condensación de 50 MW cada una, que están programadas para construirse entre 2008 y 2009 y entrar en operación comercial hacia el mes de abril de 2010. La idea es que estas unidades reemplacen a las dos unidades de 37.5 MW más antiguas del sector Cerro Prieto I, que están operando desde 1973 y que ya resultan poco eficientes, de tal manera que con la misma cantidad de vapor con que hoy se operan 75 MW, en 2010 se puedan operar 100 MW, con una ganancia neta de 25 MW.

El proyecto Los Humeros II consta de dos etapas, aunque ambas están programadas para entrar en operación comercial en el mismo mes de abril de 2010. La primera etapa está compuesta de una unidad a condensación de 25 MW, mientras que la segunda consiste en la construcción e instalación de siete unidades de ciclo binario de 3 MW cada una, que aprovecharán el vapor de baja presión que actualmente descargan a la atmósfera siete de las ocho unidades a contrapresión de 5 MW que operan en ese campo. La idea es que, en lugar de descargarlo a la atmósfera, el vapor se utilice en un intercambiador de calor como parte de un arreglo de ciclo binario. Las dos etapas del proyecto representarán un incremento neto de 46 MW en Los Humeros.

Un tercer proyecto es instalar dos unidades a condensación, una de 25 y otra de 50 MW, en el campo de Cerritos Colorados donde, como se mencionó antes, la CFE ha evaluado un potencial de 75 MW. El proyecto incluye también la construcción de una línea de transmisión en 69 kiloVolts (kV), de más de 14 kilómetros de longitud. El plan es presentar a fines de año la Manifestación de Impacto Ambiental ante las autoridades correspondientes de la SEMARNAT.

Pero además de los campos geotérmicos en explotación, la CFE ha identificado otras zonas geotérmicas en México susceptibles de contener yacimientos geotérmicos de alta temperatura en sus subsuelo. Muchas de ellas han sido exploradas con estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos y en algunas se han perforado pozos exploratorios. Las más importantes de esas zonas son las de Acochulco, Pue., Tulechuck, BC, La Soledad, Jal., y el Domo San Pedro, Nay. Los planes actuales de la GPG consideran la ejecución de más estudios y la perforación de pozos en las que resulten de mayor interés.

Es poco probable que entre esas nuevas zonas geotérmicas se encuentre un yacimiento de la magnitud de los de Cerro Prieto o Los Azufres. Pero el país tiene una gran cantidad de recursos geotérmicos de baja temperatura que pueden aprovecharse para generar electricidad con plantas de ciclo binario. Como se dijo antes, el costo de este tipo de plantas aún resulta poco competitivo comparado con el de las plantas convencionales. Sin embargo, en la medida en que el petróleo continúa aumentando de precio y reduciendo sus reservas probadas, las perspectivas de generar energía eléctrica con recursos geotérmicos de baja temperatura se vuelven más prometedoras. Sin duda, este es el futuro de la energía geotérmica en México.

Referencias

CATALDI, Raffaele. "Delacelebración delcentenario de la industria geotermoeléctrica al desarrollo de la energía geotérmica en Italia en el siglo XXI". *Geotermia*, Vol. 19, No. 2 (2006): 61-68.

COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD. Página oficial de la Comisión Federal de Electricidad [en línea]. <http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/>. [Consulta: 24 de octubre de 2007]

COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA. Página oficial de la Comisión Reguladora de Energía [en línea]. <http://www.cre.gob.mx/estadisticas/electricidad.html>. [Consulta: 24 de octubre de 2007]

GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A. "1997-2006: A decade of geothermal power generation in Mexico. *Transactions of the Geothermal Resources Council*, Vol. 31 (2007): 167-171.

GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A., Viggiano-Guerra, Julio C., and Flores-Armenta, Magaly. "Characteristics and production results of the well LV-11, Las Tres Virgenes, Mexico". *Transactions of the Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 25 (2001): 635-640.

GUTIERREZ-NEGRÍN, Luis C.A., Ramírez-Silva, Germán R., Martínez-Mena, Mario, and López-López, Carlos. "Hydrographic characterization of the La Primavera, Mexico, geothermal field". *Transactions of the Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 26 (2002): 17-21.

LUZY FUERZA DEL CENTRO. Página oficial de Luzy Fuerza del Centro [en línea]. <http://www.lfc.gob.mx/influencia.htm> [Consulta: 24 de octubre de 2007].

MAHOOD, Gail. "Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico". *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 8 (1980): 199-210.

QUIJANO-LEÓN, José Luis, y GUTIÉRREZ-NEGRÍN, Luis C.A. "An Unfinished journey: 30 years of geothermal-electric generation in Mexico". *GRC Bulletin*, Vol. 32, No. 5 (2003): 198-205.