

PROBLEMAS AMBIENTALES ORIGINADOS POR LA EXPLORACION Y EXPLOTACION DE RECURSOS GEOTERMICOS

Dra. María Viñas Sendic
Instituto de Ingeniería, UNAM

INTRODUCCION

En México, existen muchas áreas donde debido a fracturas en la corteza terrestre, el calor del magma produce el calentamiento de acuíferos subterráneos, en los que se alcanzan altas temperaturas y presiones.

La extracción del agua de estos acuíferos, producirá vapor, usado en la generación de energía eléctrica y agua de desecho, con gran concentración de contaminantes y altas temperaturas (100 a 150°C según la forma de separación), así como la descarga de vapor y gases incondensables a la atmósfera, que se encontraban disueltos en el agua. En algunos casos los yacimientos son de vapor dominante y en este caso, el agua de desecho será muy poca y con bajo contenido de contaminantes.

El desarrollo y utilización de la energía geotérmica, lleva a modificaciones ambientales que dependen:

- a) de la naturaleza de los recursos
- b) de la manera que son usados
- c) del carácter geológico y ecológico del lugar

Los yacimientos con altas temperaturas son los más utilizados en la generación de energía eléctrica, pero a la vez contienen cantidades importantes de constituyentes químicos indeseables.

El desarrollo relativamente nuevo de la geotermia, unido a su localización restringida a determinadas zonas y países, lleva a que no estén muy estudiados muchos de los aspectos del impacto ambiental que produce su utilización. Muchas áreas geotérmicas se desarrollaron al principio, en forma experimental y su desarrollo involucra ciertos riesgos económicos. Esto resulta en que las investigaciones de los aspectos de ingeniería ambiental, tienden a ser mínimos en las primeras etapas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS AMBIENTALES DE LA GEOTERMIA

Una ventaja primaria de la geotermia es que ayuda a disminuir la demanda de combustible. En general se cree que los recursos geotérmicos representan una energía relativamente "limpia", aunque el impacto que causa, aún no se conoce en forma completa.

La energía geotérmica debe ser utilizada o convertida en las cercanías del yacimiento, con el propósito de prevenir pérdidas de calor muy grandes. A diferencia de la producción de electricidad por medio de combustibles o por medios nucleares, donde se necesitan grandes áreas de tierra para la obtención del mineral, refinamiento, transporte, utilización del combustible y disposición de desechos, la geotermia no necesita una infraestructura grande de equipos, ni grandes inversiones de energía en su producción. Y aunque produce ciertos disturbios en la superficie terrestre (mayor o menor según el tipo de zona) en general son menores y menos riesgosos que para extraer carbón o uranio.

Las plantas geotérmicas que usan vapor como fluido de las turbinas, no necesitan fuentes externas de agua para enfriamiento, ya que el vapor condensado es reciclado, lo que constituye un beneficio.

Se podría decir, que estas son las ventajas ambientales de la geotermia, pero no todo es positivo. Entre los impactos adversos más significativos de la exploración, desarrollo y producción de la energía geotérmica se tiene:

- a) posible hundimiento de la tierra
- b) inducción de la actividad sísmica
- c) contaminación del aire por la descarga de gases incondensables como el ácido sulfhídrico
- d) niveles de ruido altos en la per-

foración y operación de la planta

- e) contaminación térmica y mineral de aguas superficiales y subterráneas

Otras formas de impacto son el aumento de la erosión y sedimentación debido a los disturbios causados en el lugar, los posibles cambios de clima resultantes del calor desechado, del vapor de agua y del dióxido de carbono emitido, así como disturbios en el suelo, la vegetación y la vida animal.

EL IMPACTO CAUSADO POR LA GEOTERMIA

El impacto causado por la geotermia, puede variar muy ampliamente de un campo a otro. Por ejemplo, los constituyentes químicos del vapor o del agua caliente pueden diferir significativamente de un lugar a otro. La Tabla I muestra los constituyentes más importantes de los campos de: Los Azufres, Cerro Prieto y Los Hornos.

El agua de Cerro Prieto contiene aproximadamente igual cantidad de sílice que Los Azufres, pero cerca de seis veces más cloruros, potasio y sodio. En cambio en Los Azufres se tiene más de 200 ppm de boro y 20 ppm de arsénico, lo que cambia fundamentalmente las posibilidades de disposición de las aguas de uno y otro campo o también pueden cambiar los porcentajes de gases incondensables y dentro de éstos la proporción de ácido sulfhídrico, dióxido de carbono, amoníaco, hidrógeno y otros. Siendo además, diferentes la región y el clima en cada campo. En Cerro Prieto es posible disponer de parte del agua separada en lagunas de evaporación. Sin embargo, en Los Azufres, ni el clima ni la orografía permiten esta posibilidad en las cercanías del campo.

La severidad del impacto ambiental asociado con el desarrollo de la geotermia depende de varios factores, a saber:

- a) el tipo de yacimiento geotérmico (vapor, vapor-agua, o agua dominante)
- b) los constituyentes químicos del fluido (en el vapor o en el agua separada)
- c) características tales como la geología, la hidrología, la topografía y la vegetación de la región
- d) el diseño y empleo de tecnologías adecuadas para producir energía y

controlar la contaminación

Es muy importante hacer el análisis del impacto y problemas de contaminación en cada lugar, ya que dependerán de las características propias del campo geotérmico, sin dejar de tener en cuenta experiencias e investigaciones de otros campos. Sin embargo, debido a que el desarrollo geotérmico es relativamente nuevo, hay aún un desconocimiento muy grande del alcance de determinados tipos de impactos y no es posible una generalización de experiencias.

Señalaremos algunos problemas ambientales originados por la exploración y producción geotérmica, así como algunos aspectos en que es necesaria mayor investigación en el país.

USO DE LA TIERRA

Aunque la extensión y severidad de los disturbios causados en la superficie son relativamente menores en relación a otros recursos, el desarrollo de la geotermia presenta varios impactos significativos en:

- a) los requerimientos totales de áreas necesarias para el desarrollo del campo y la extensión en que la tierra es alterada
- b) la compatibilidad del desarrollo geotérmico con los usos de las áreas adyacentes
- c) la necesidad de protección de áreas sensitivas (áreas de recreo, o con vida animal o vegetal especial u otras)

Estos efectos pueden ser bien diferentes en los distintos campos. Por ejemplo, Cerro Prieto I está en una zona desértica, en cambio, el proyecto de Cerro Prieto IV está en las proximidades de un ejido cultivable. De igual forma Los Azufres están en una zona montañosa con recursos forestales. Los costos sociales y económicos del desarrollo geotérmico serán diferentes en cada caso.

GEOLOGIA Y SUELOS

La estabilidad de los suelos y las formaciones geológicas del subsuelo pueden ser afectadas de numerosas maneras por la geotermia. Entre las más significativas, potencialmente adversas se tienen las siguientes:

- a) la erosión del suelo
- b) el hundimiento del suelo
- c) la inducción de actividad sísmica

Parte de estos problemas pueden ser resueltos por la reinyección del agua separada. Pero aquí es necesario investigar sobre la naturaleza del subsuelo y del agua de reinyección, ya que es posible en algunos casos producir taponamiento del yacimiento o enfriamiento. Y si existieran fallas con niveles significativos de esfuerzos, la reinyección puede inducir sismicidad.

EL RUIDO

Uno de los disturbios más generalizados, asociado al desarrollo geotérmico es el ruido. Un continuo ruido se produce en la perforación, en las pruebas de producción de los pozos y en la operación de la planta, aunque esto afecta en forma limitada al área de desarrollo. Aquí existe una necesidad clara de investigación sobre el control de ruido y sobre el desarrollo de equipos apropiados y procedimientos de operación que no pueden ser silenciados con la tecnología existente. En la Tabla II se dan algunos niveles de ruido para fines de comparación. Es de hacer notar que reglas de seguridad de la EPA dicen que un trabajador no puede estar sujeto a 115 dBA por más de 15 minutos o a 90 dBA por más de 8 horas.

EL CLIMA, LA CONTAMINACION TERMICA Y LOS SISTEMAS BIOLOGICOS NATURALES

Las pérdidas de calor en las líneas y plantas de generación, el agua, el vapor descargado y el dióxido de carbono, pueden causar serios efectos térmicos y climáticos cuando son descargados a la atmósfera, y si son descargados en cuerpos de agua también producirán efectos biológicos negativos.

La emisión de contaminantes en el aire y de aguas de desecho con contaminantes químicos, así como el ruido y la actividad humana, pueden producir un disturbio en la vecindad del campo geotérmico.

Una aplicación concienzuda de las técnicas de control de ruido y de contaminación ambiental, reducirán, pero no eliminarán las perturbaciones.

CALIDAD DEL AIRE

Los gases incondensables y partículas acompañan el vapor geotérmico que se tira a la atmósfera durante la perforación de los pozos, en las pruebas de producción y en la operación de la planta; concentraciones suficientemente altas de algunas de estas sustancias, en especial el ácido sulfhídrico, pueden ser muy dañinos para la salud.

En la Tabla III se muestran los efectos que puede causar el ácido sulfhídrico en el ser humano.

Los estándares de calidad del aire plantean un máximo de 0.03 ppm promedio en una hora.

El ácido sulfhídrico es además convertido a dióxido de azufre en el ambiente y producirá lluvias ácidas que dañan plantas y cultivos.

En la Tabla IV se muestran los porcentajes de gases incondensables en los campos de México.

Los contaminantes más comunes son el dióxido de carbono, que en general representa del 75 al 95% de los incondensables; el sulfhídrico, el amoníaco, el metano y el nitrógeno, que generalmente están presentes en mucho menor cantidad y gases tales como radón, vapores de mercurio y argón están presentes en trazas.

Aún son muy incompletos los datos sobre el efecto en la salud, los niveles de emisión de contaminantes y la calidad del aire en áreas geotérmicas. Las concentraciones que pueden acumularse en un área dada variarán de un campo a otro (según niveles de emisión, orografía y clima) y será necesario considerar el mejor método de evaluación y control de las emisiones en cada caso.

En Cerro Prieto I, para 180 MW generados la emisión de ácido sulfhídrico es de alrededor de 20,000 toneladas métricas por año. La región árida plana, puede quizá aceptar ese impacto, pero esa misma emisión podría ser problemática en los Azufres. La puesta en marcha de las unidades de Cerro Prieto II ya plantea la necesidad de un tratamiento que disminuya el nivel de emisiones.

Existen procesos técnicos como el proceso "Stretford" o el que usa catalizadores de hierro que permiten pasar el sulfuro de azufre y disminuir en un 90% la emisión de éste. Pero estos procesos son patentados y sus costos son tan al-

tos como los de la propia planta generadora. En esta área es posible desarrollar investigaciones, que permitan con una tecnología nacional, disminuir estos costos.

EL AGUA DE DESECHO

El desarrollo geotérmico puede afectar tres aspectos relacionados con la extracción de agua geotérmica:

- 1) emisión de agua con altas concentraciones de contaminantes (Tabla I)
- 2) en la hidrología
- 3) impacto en manantiales de aguas locales

Las aguas de desecho geotérmicas con tienen distintos tipos de contaminantes según los campos y no pueden ser dispuestas en todos ellos superficialmente. En el caso de Cerro Prieto se está disponiendo en una laguna de evaporación, pero el desarrollo de nuevas unidades elevaría en forma excesiva el área a usar para este fin.

Aquí existe por un lado, la posibilidad de recuperar potasio y litio del agua evaporada (este proyecto está siendo llevado a cabo por FERTIMEX) y por otro lado la posibilidad de reinyectar el agua al yacimiento.

La reinyección presenta varias ventajas desde el punto de vista de la contaminación ambiental y permite la recarga del yacimiento; sin embargo, plantea diversos problemas que deben ser estudiados, para evitar taponamientos de los pozos reinyectores o enfriamiento del acuífero.

La extracción continua de agua, puede llevar a un cambio en la hidrología del yacimiento, reducir la cantidad de agua del reservorio y cambiar las características de temperatura o química de manantiales próximos.

NECESIDADES DE INVESTIGACION

De los problemas planteados quisieramos señalar como prioritarios los problemas de contaminación de aire y los planteados en el manejo del agua de desecho, aunque también es necesario tener en cuenta los problemas de ruido.

En el país se han venido investigan-

do distintas alternativas en la disposición de las aguas de desecho. En la Tabla V se muestran los niveles máximos de concentración de contaminantes permitidos en aguas para varios usos.

Las aguas de Los Azufres y Cerro Prieto contienen cantidades de sílice similares, pero Cerro Prieto tiene seis veces más cloruros de sodio y potasio. En Los Azufres hay además boro y arsénico (Tabla I).

Existen formas de tratamiento económicas con cal, para sílice y arsénico, pero la eliminación de boro aunque teóricamente posible (intercambio iónico o remoción inversa) es económicamente inviable. Los cuerpos de agua existentes no permiten su disposición superficial, por lo que aquí es casi imprescindible la reinyección del agua separada al yacimiento.

En el caso de Cerro Prieto no hay boro (1 ppm ya afecta a las plantas), ni arsénico y existe terreno suficiente para la disposición superficial. Pero los problemas de hundimiento del suelo y de ampliación de la capacidad de generación, también han llevado a plantearse la necesidad de reinyectar.

La reinyección del agua separada es desde el punto de vista de la contaminación ambiental y de recarga del yacimiento, la mejor alternativa. Pero es necesario realizar estudios cuidadosos para evitar el taponamiento del yacimiento o el enfriamiento de éste. Y también es necesario considerar experiencias de otros campos en forma cuidadosa ya que éstas pueden ser contradictorias.

Por ejemplo, en el campo geotérmico de Ahuachapán, en El Salvador, se viene reinyectando hace varios años. Allí se reinyecta en caliente directamente el agua separada de los separadores Webre (agua a 8 Kg/cm², 150°C) y no reportan ningún problema en la reinyección, lo que llevaría a recomendar la reinyección de esta forma. Pero analizando el agua de El Salvador tiene, aproximadamente 500 ppm de sílice y Cerro Prieto y Los Azufres tienen del orden de 1,000 ppm. En el yacimiento la disolución de sílice está controlada fundamentalmente por la solubilidad del cuarzo. Al extraer el agua y repararse el vapor, la sílice queda en concentraciones de sobresaturación. La precipitación de sílice en forma de cuarzo es un proceso muy lento (años), en cambio la precipitación o formación de coloides de sílice (sílice amorfa) es un proceso muy rápido (minutos a pH = 7). En la Figura 1, se ven las concentraciones de sílice de

Ahuachapan y Cerro Prieto en relación a las curvas de solubilidad de cuarzo y sílice amorfa.

Se ve entonces que en el caso de Ahuachapan es posible esperar que no haya precipitación de sílice, en cambio sí es posible en el caso de Cerro Prieto y en este caso se corre el riesgo de taponar el yacimiento.

Existen diferencias aún entre los campos de México. La sílice del agua se para a presión atmosférica en Cerro Prieto forma coloides que precipitan, en cambio en Los Azufres los coloides se mantienen a tamaños menores de 0.2 micras y quedan en suspensión sin precipitar. Los estudios realizados mostraron que esto era debido al efecto coagulante que tiene la mayor concentración de sales en Cerro Prieto. Con estos ejemplos se quiere señalar que en cada caso es necesario estudiar la forma menos riesgosa de reinyección. Esto incluye además del estudio del agua, el estudio de la permeabilidad del yacimiento, de las zonas para reinyectar que eviten

el enfriamiento, etc.

Para la contaminación del aire, los problemas y soluciones son también específicos. En Cerro Prieto es posible pensar en quemar el sulfhídrico a anhídrido sulfuroso, por el clima seco de la zona, aunque no sea la solución ideal.

Pero en Los Azufres, eso podría llevar a producir lluvias ácidas que afectan los cultivos de la zona. En este caso es necesario impulsar estudios que adapten tecnologías patentadas a las condiciones del país.

Un factor fundamental para el desarrollo de las investigaciones necesarias y para encontrar soluciones prácticas y adecuadas al país, es una interrelación más estrecha entre los que deberán implementar las soluciones y los distintos servicios que realizan la investigación en esta área. Eso permitirá priorizar áreas, orientarlas adecuadamente, concentrar y complementar recursos y esfuerzos de los distintos organismos.

Preguntas, Respuestas y Comentarios

P. ¿Existen estudios de impacto ambiental en las plantas en proyecto?, ¿Cuál es el beneficio para la población? es decir, ¿la energía que se produce es importante para el desarrollo de ciertas áreas, o es mejor no utilizarla, si no se conoce el efecto directo en el ambiente y en los aspectos económicos y sociales?

R. El IIE tiene un grupo de investigadores en las plantas de Cerro Prieto. Este ha venido desarrollando distintos aspectos de tecnología y de impacto ambiental en la localidad. Los estudios realizados han sido en el área de medición de niveles de sulfhídrico y sobre las posibilidades de aprovechar el potasio y litio de las lagunas de evaporación por parte de FERTIMEX para producir fertilizantes en el caso del potasio. Otro aspecto, recién planteado esta en la disposición de las aguas residuales, en especial al entrar en operación las nuevas unidades, el caudal será muy grande y se han empezado a analizar y estudiar los problemas de reinyección en los pozos de Cerro Prieto. En el caso de los Azufres, el problema de la reinyección era crítico, ya que en la zona no se disponía de la

superficie necesaria para crear lagunas de evaporación y con ello se veían reducidas las posibilidades de desarrollo posterior del campo. Estos estudios de reinyección han venido siendo realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. En cuanto a la generación de energía en Los Azufres las cifras indican una generación del orden de 25 MW. Esta energía es enviada a la Ciudad de Morelia y su principal uso ha sido en la sustitución de otros combustibles, contribuyendo de esta manera a la diversificación energética de la zona en un grado relativamente pequeño. En cuanto a la investigación, sería necesario dominar las técnicas de una eficiente recuperación del calor y por otro lado las técnicas de reinyección y manejo de los acuíferos. En el caso de Los Azufres, considero que la investigación de tipo geológico, geofísico, etc., es más necesaria debido a las características volcánicas de la zona, ya que es más difícil el caracterizar un nuevo pozo en base a información adquirida de otro o de otros.

C. Muy interesante su presentación. Quisiera comentar que Cerro Prieto II

ya está operando, aunque a una capacidad de 40% por problemas mecánicos (vibración no controlada en un equipo rotatorio). Considero importantí-

simo recuperar el potasio de las presas de evaporación, ya que Cerro Prieto constituye la única fuente de potasio con la que cuenta el país.

TABLA I
CONSTITUYENTES QUIMICOS EN AGUA SEPARADA (ppm)

	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	B	As	HCO ₃	Ca ⁺⁺	Observaciones
Los Azufres	1 047	1 670	379	2 875	240	22	76	16	Promedio 12 pozos
Cerro Prieto	1 202	10 761	3 065	20 133	~1	trazas	103	431	Promedio 32 pozos de Cerro Prieto I y II
Los Humeros	656	584	57	373	225	trazas	903	5	1 pozo

TABLA II
NIVELES DE RUIDO

Lugar	Nivel en dB(A)	Distancia (m)	Observaciones
Area residencial suburbana	48-52		
Avión Jet	120-130	35	
Perforación con aire	114	8	
Pozo de vapor abierto	84	27	Vapor al silenciador
Pozo de vapor abierto	150/110	137	Pluma de vapor al aire (sin silenciador)
Pozo de vapor abierto	21/83	914	Pluma de vapor al aire (sin silenciador)
Fuera del edificio de la turbina generadora	72	8	Primera unidad 44 MW Segunda unidad 54 MW

TABLA III
EFECTO DEL ACIDO SULFHDORICO EN EL SER HUMANO

Concentraciones (ppm)	Efectos
0.0007- 0.030	Olor desagradable
0.33	Olor penetrante y desagradable, dolor de cabeza, náuseas
2.7 - 5.3	Olor ofensivo, dolor de cabeza, náuseas
20 -33	Olor fuerte pero no intolerable
100	Puede causar pérdida del sentido del olfato en pocos minutos
210	Olor no fuerte, probablemente debido a parálisis del olfato
667	Puede causar muerte rápidamente por parálisis respiratoria
750	No hay sensación de olor, la muerte se produce rápidamente por exposición breve

TABLA IV
CONTENIDO DE GAS EN EL VAPOR

Campo	% gas en el vapor	% de Volumen H ₂ S	% CO ₂	Observaciones
Cerro Prieto	1.7	5	92	Promedio en Cerro Prieto I y II
Los Azufres	3.7	3	95	Promedio 12 pozos
Los Humeros	2.5	12	83	1 pozo

TABLA V
NIVELES MAXIMOS DE CONCENTRACION PERMITIDOS EN AGUAS PARA VARIOS USOS (ppm)

	Aguas potables*	Aguas de recreo (pesca)	Irrigación
Sólidos disueltos totales	1 500	7 000	200-1000
Cloruros	600	250	100-200
SO ₄	400	200	200
pH	6.5-9.2	6.5-8.8	-
F	0.8-1.7	1	10
B	30	500	0.5-1.0
As	0.05	1	1
H ₂ S	0.05	0.3	-
CO ₂	-	3 cm ³ /l	-
Hg	0.001	-	-

* W.H.O. International Standards of Drinking Water