

Geotermia y la Teoría de la Tierra Bola de Nieve

Guía para la XX Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California

Viernes 5 de junio de 2015, Auditorio de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California

Por Enrique Gómez Treviño

NOTA. El tema de este año fue motivado por la reciente creación en el CICESE del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica o CeMIE-Geo.

INTRODUCCIÓN. La guía está organizada de la siguiente manera. Primero se considera que el planeta Tierra produce calor, no tanto calor como el Sol, pero sí suficiente para que su interior fluya como un líquido y mueva las placas tectónicas causando volcanes y terremotos. Enseguida se verá cómo ese calor se utiliza en algunos lugares para producir energía eléctrica. Aunque la producción de energía eléctrica es la aplicación más llamativa de la geotermia, no es la única ni la que más se aprovecha. De hecho, la aplicación más común es enterrar tuberías para que los sistemas de aire acondicionado y calefacción se hagan más eficientes y ahorren energía. Cerramos con un tema aparentemente opuesto a la geotermia: La Teoría de la Tierra Bola de Nieve.

EL ARDIENTE INTERIOR DE LA TIERRA. Como entrada a los temas de este año se recomienda ver con mucha atención los videos cuyas ligas se dan en cada caso. El primero ilustra la deriva continental y la tectónica de placas <https://www.youtube.com/watch?v=mztXG56ffTU>. En el video se ilustra cómo las placas tectónicas se han movido en el pasado para llegar a la posición actual. También se habla sobre volcanes y sobre las llamadas dorsales oceánicas donde roca fundida sale del manto formando corteza nueva. Para el tema de este año el enfoque es una pregunta que debería hacerse cualquiera que vea el video. ¿Por qué el interior de la Tierra está tan caliente que fluye como un líquido? Esto es todavía un tema de investigación sobre el cual no se tiene una respuesta completa. En el año 2005 se pudo medir con mucha precisión la proporción de energía que producen los elementos radiactivos en el interior de la Tierra. Ustedes investiguen la proporción y la forma en que lo midieron en búsquedas en Internet.

También busquen cómo aumenta en promedio la temperatura con respecto a la profundidad, lo que se conoce como gradiente térmico. Este gradiente ya se conocía desde el siglo XIX y fue utilizado por Lord Kelvin para calcular la edad de la Tierra, la

cual según sus cálculos no podía tener más de 100 millones de años desde que empezó a enfriarse. Si tuviera más años ese gradiente debería ser mucho menor de lo que es. Sus cálculos estaban bien, pero en su tiempo no se había descubierto la radiactividad. Esto es, no tomó en cuenta que en el interior de la Tierra existen fuentes de calor como los isótopos radiactivos que no la deja enfriarse tan rápido. Ahora ya se sabe que la Tierra tiene muchos más millones de años. También busquen el promedio sobre toda la Tierra del flujo de calor que sale del planeta. Encontrarán que esto lo expresan en W/m^2 , por lo que puede compararse con lo que recibe del Sol la superficie de la Tierra. Tal vez no encuentren este promedio en internet pero se puede calcular conociendo lo que se recibe en el ecuador y considerando que la Tierra es una esfera. Este cálculo es un buen ejercicio de física y geometría, muy simple, pero con dos consideraciones especiales que a veces se nos escapan. Como video complementario vean este sobre fumarolas negras descubiertas hace algunas décadas: <https://www.youtube.com/watch?v=grdK1A2Jrjl>. De hecho, aquí muy cerca en el Mar de Cortés hay muchas de estas fumarolas con ecosistemas que no necesitan del Sol.

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD. Pasamos ahora a la producción de electricidad mediante la energía geotérmica. El video recomendado es sobre el campo geotérmico de Cerro Prieto localizado en Mexicali. La liga es <https://www.youtube.com/watch?v=TU6luP2Redw>. En algunos lugares de la Tierra se da en forma natural algo similar a una olla de presión como las que se utilizan para cocinar. Una fuente de calor por abajo, rocas con mucha agua en el medio, y una tapa por arriba para que no escape el vapor. Perforando la tapa sale vapor de agua a muy alta presión y temperatura. El vapor se envía a un cuarto de máquinas donde hace girar turbinas que producen energía eléctrica. Las plantas convencionales necesitan quemar carbón o gas natural para producir el vapor. En una planta geotérmica el vapor sale de los pozos y se ahorra la quema de combustible. En el video se menciona que en México hay cuatro lugares con plantas geotérmicas. Investiguen estos lugares y busquen cual es la capacidad instalada en cada caso, así como la proporción que representa la geotermia con respecto al total de energía eléctrica que se produce en el país, y el lugar que ocupa México en el mundo.

BOMBAS DE CALOR. Muy relacionado con la geotermia está lo que se conoce como climatización geotérmica mediante bombas de calor. No se trata simplemente de llevar agua caliente a una casa y hacerla circular por tuberías como sistema de calefacción. Esto de hecho se hace en lugares donde hay disponibilidad de aguas termales. Por su parte, las bombas de calor geotérmicas se pueden utilizar casi en cualquier parte. Además, pueden funcionar como calefacción y también como refrigeración. De hecho, un refrigerador de casa es una bomba de calor que funciona también al revés, como calefacción. Imaginen un refrigerador colocado entre dos cuartos contiguos, el frente da a uno de los cuartos y la parte de atrás hacia el otro cuarto. Ahora pongan a funcionar el refrigerador y ábranle las puertas. ¿Qué va a pasar? No es difícil imaginarlo. El cuarto que tiene el refrigerador abierto tenderá a enfriarse y el que le tocó la parte de

atrás tenderá a calentarse. Lo del enfriamiento lo comprobamos todos los días al abrir el refrigerador. Para comprobar el calentamiento acerquen su mano a la parte de atrás del refrigerador. Un refrigerador es una bomba de calor que mueve calor de un lugar a otro. En este caso lo toma de la parte de adentro y lo mueve hacia afuera. El calificativo de bomba es por el parecido a cómo se mueve el agua bajo el efecto de la gravedad. El agua fluye naturalmente de arriba hacia abajo y para que fluya de abajo hacia arriba se necesita forzarla o bombearla. Lo mismo con el calor, que fluye naturalmente de lo caliente a lo frío y para que fluya de lo frío a lo caliente hay que forzarlo o bombearlo. El refrigerador necesita estar trabajando para conservarse frío en su interior. En un corte prolongado de energía eléctrica se comprueba que el calor fluye de lo caliente a lo frío: todo en el refrigerador se echa a perder. Por cierto, el frío no existe. Lo que está frío es simplemente que tiene menos calor.

BASES CIENTÍFICAS DE LAS BOMBAS DE CALOR. Las bombas de calor se inventaron basándose en las leyes de los gases. Una de estas leyes establece que un gas se calienta cuando se comprime rápidamente. El siguiente video los va a impresionar: <https://www.youtube.com/watch?v=4qe1Ueifekg>. Aquí encienden fibras de algodón comprimiendo el aire, y lo hacen sin aparatos complicados. Igualmente impresionante es este otro video donde se muestra que el vapor de agua al expandirse se enfría y se convierte en gotitas de agua: <https://www.youtube.com/watch?v=6S88XeA6fbM>. El vapor sale muy caliente de una olla de presión pero al expandirse se enfría y se convierte en gotitas de agua no tan calientes. Volviendo al refrigerador, la expansión se realiza en el interior (la tubería no se ve) y la compresión en el exterior (la tubería sí se ve). Repitiendo el ciclo expansión-compresión muchas veces la parte de adentro se pone cada vez más fría (puerta del refrigerador cerrada). La tubería exterior, donde se realiza la compresión, se calienta poco porque el calor se dispersa en el aire (el aire de la cocina se calienta un poco). En su modo de calefacción una bomba de calor extrae calor del aire exterior y lo mueve hacia el interior de la casa. Aunque el aire esté frío se le puede extraer calor y hacer que fluya hacia la casa; recuerden que se trata de una bomba de calor. De hecho, al aire o a cualquier sustancia se le puede extraer calor sin importar su temperatura, al menos que ya le hayan extraído todo el calor que tenía. Una sustancia cualquiera ya no tiene calor cuando su temperatura es 0 K, o cero absoluto, lo que equivale a $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si el aire exterior está a cero grados centígrados, aún así se le puede extraer calor para calentar una casa.

EFICIENCIA DE LAS BOMBAS DE CALOR. La diferencia de temperatura entre el exterior y el interior es muy importante en relación a la eficiencia. En Mexicali saben muy bien que en el mes de más calor los sistemas de refrigeración consumen más energía. La razón es que el calor que se extrae de la casa se debe disipar en el aire exterior, y si este aire está muy caliente la disipación no es muy buena. Si el aire exterior está más frío la disipación se da mejor y la casa se enfría más rápido. Según encontrarán en sus búsquedas la eficiencia de una bomba de calor depende inversamente de la diferencia de temperatura entre exterior e interior. Si la diferencia es

grande la eficiencia es pequeña y al revés, si la diferencia es pequeña la eficiencia es grande. Las fórmulas para la eficiencia son muy simples, fueron descubiertas en el siglo XIX en relación con la maquinas de vapor y se aplican también a las bombas de calor. Y aquí es donde entra lo de geotermia en las bombas de calor geotérmicas. Estas son bombas de calor como las que depositan o extraen calor del aire, pero en lugar del aire utilizan la tierra. Vean el siguiente video: <https://www.youtube.com/watch?v=uF72uLc4ea4>. La temperatura a pocos metros de profundidad prácticamente no cambia a lo largo de todo el año, siendo más baja que la del aire en verano y más alta que la del aire en invierno. La situación es ideal para mejorar la eficiencia tanto del aire acondicionado como de la calefacción. Las fórmulas y más información la pueden encontrar en Internet, así como unidades, conversiones, capacidad instalada en el mundo, etc.

LA TEORÍA DE LA TIERRA BOLA DE NIEVE. El video <https://www.youtube.com/watch?v=H2t2eUGpDR0> resume en pocos minutos las deducciones que han hecho los científicos buscando y encontrando evidencias en rocas muy antiguas. El video empieza con la formación de la Tierra y termina en una época en que toda la Tierra estaba congelada, incluidos los océanos. Céntrense en la última parte. Relacionen las fechas (millones de años) con la desaparición de los dinosaurios, la separación de América del Sur de África y la apertura del Mar de Cortés. También busquen la fecha cuando la Placa de la India chocó con la placa Euroasiática formando las montañas del Himalaya. El sismo reciente de magnitud 7.8 en Nepal ocurrió en esta área, lo que indica que el calor interno de la Tierra sigue tan activo como siempre.

EL EXAMEN. Como siempre, en total serán 100 preguntas. Sobre el presente tema de Geotermia y la Teoría de la Tierra bola de Nieve serán 30 preguntas. Estas 30 preguntas tendrán un valor de 2.5 puntos cada una para un valor total de 75 puntos. Sobre Trilateración: Sismos, GPS, rayos y teléfonos celulares (XIX Olimpiada) serán 25 preguntas. Sobre La Fórmula del calentamiento Global (XVIII Olimpiada) serán 25 preguntas. Sobre Gaia serán 20 (XVII Olimpiada). Aristarco de Samos (XVI Olimpiada) queda fuera y no habrá preguntas al respecto. Estas 70 preguntas las pueden consultar en los informes correspondientes a las olimpiadas mencionadas, que están disponibles en esta misma página (<http://olimpiadas.ugm.org.mx>). Estas 70 preguntas tendrán un valor de 5/14 de punto cada una para un valor total de 25 puntos. Para los que no han asistido a nuestras olimpiadas se les recomienda ver en YouTube: <http://www.youtube.com/watch?v=Q5d-4HvP32U>.

INSCRIPCIONES. Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en grupo por correo electrónico, según se indica en esta página, porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, el número de mesas y sillas que necesitaremos,

así como la cantidad de comida que debemos ordenar. Por lo general recibimos a alrededor de 90 participantes. Aunque nunca hemos puesto límites, si es necesario limitaremos a 100 el número de participantes por cuestiones de cupo en el auditorio.

Pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10:00 AM se entregarán los gafetes con sus nombres. A las 10:00 AM inicia el examen y se termina a las 12:01 PM. Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Entre las 2:00 y 3:00 PM se harán las premiaciones.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,
Dr. Enrique Gómez Treviño.
Coordinador de las Olimpiadas