

Modelo 3D del yacimiento geotérmico de Los Humeros, Pue.

Marcela Sánchez L., Christian Ordaz M. y Miguel Ramírez M.

Comisión Federal de Electricidad, Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos, Morelia, Mich. Correo: marcela.sanchez@cfe.gob.mx

Resumen

El estudio y manipulación de la información de un yacimiento geotérmico puede resultar muy compleja si se maneja de manera aislada, ya que las diversas disciplinas presentan enfoques diferentes. Por ello, en el presente trabajo se realizó una integración multidisciplinaria para conformar un modelo tridimensional para el campo geotérmico Los Humeros, utilizando el software ArcGis®, el cual facilita el procesado y manejo de información. Así, para el desarrollado del modelo 3D se incluyeron datos geológicos, geofísicos y de ingeniería de yacimientos, y diversos elementos que van desde la superficie hasta la profundidad conocida en el subsuelo. Se obtuvieron resultados óptimos, por lo que puede concluirse que el uso de ese software para desarrollar modelos 3D es de gran utilidad para analizar información de manera conjunta con otras disciplinas, pues permite una visión más amplia del yacimiento y optimiza el tiempo de estudio.

Palabras clave: Software ArcGis®, integración de datos, geología, geofísica, producción, temperatura, presión.

3D Model of the Los Humeros, Pue., geothermal reservoir

Abstract

Studying and management of information from a geothermal reservoir can be more complex if considered isolated, since the various disciplines participating in the study have different approaches. Therefore, in this paper a multidisciplinary integration was performed to form a 3D model of the Los Humeros geothermal field. To do this, we used the ArcGIS® software, which facilitates the processing and handling of information. For develop the 3D model, geological, geophysical and reservoir engineering data and other data ranging from the surface up to the known depth of the basement were included. Optimal results were obtained, which allows conclude the use of ArcGIS® software for developing 3D models is very useful to analyze information coming from several disciplines, as this provides a broader view of the reservoir and optimizes time and resources.

Keywords: ArcGis® software, data integration, geology, geophysics, production, temperature, pressure.

1. Antecedentes

La implementación del Sistema Cartográfico Digital (SICADI) en la Gerencia de Proyectos Geotermoeléctricos (GPG) de la CFE ocurrió en 2007 mediante la gestión de la Subdirección de Generación. La misión del SICADI es hacer más eficientes los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con la finalidad de almacenar, actualizar, manipular y modelar información cartográfica para la toma de decisiones, tanto a nivel directivo como operativo en la GPG. La visión del SICADI es contribuir a la mejora de las actividades de la GPG, facilitando las herramientas que integra y relacionando diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos

procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones. La tecnología de los SIG puede usarse para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, la gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística, entre otros. Por ejemplo, un SIG podría permitir a los grupos de emergencia calcular fácilmente los tiempos de respuesta en caso de un desastre natural, o encontrar los humedales que necesitan protección contra la contaminación, o pueden ser utilizados por una empresa para ubicar un nuevo negocio y aprovechar las ventajas de una zona.

Algunos beneficios del uso del SIG son los siguientes:

- Hacer más eficiente el manejo, análisis e interpretación de la información geocientífica, de ingeniería, ambiental, jurídica, etc., para localizar, evaluar y desarrollar los proyectos de energía renovable.
- Modelar los yacimientos geotérmicos en 3D para comprender su geometría y estar en posibilidades de mejorar el índice del éxito/fracaso de los pozos geotérmicos.
- Mejorar los modelos conceptuales para las simulaciones matemáticas de los recursos de energía renovable.
- Optimizar la gestión ambiental, jurídica y financiera.
- Visualizar el inventario de infraestructura e instalaciones en los campos geotérmicos para su control y mantenimiento.
- Disponer en todos los niveles de mando de información adecuada en cantidad, calidad y oportunidad para una toma de decisiones más eficiente.

Actualmente se desarrollan diversos proyectos en la GPG que contemplan el desarrollo sustentable del recurso geotérmico, utilizando proyecciones en dos y tres dimensiones para obtener una visión más amplia de área de estudio.

En este trabajo se realizó un modelado en 3D del yacimiento geotérmico de Los Humeros, empleando información ya presente en el SICADI, generada por las diversas disciplinas encargadas del estudio de los yacimientos. El modelado se hizo con el apoyo del software ArcGIS®, particularmente de sus extensiones ArcMap y ArcScene.

2. Introducción y objetivo

El modelado tridimensional es un procedimiento con el que se obtiene una estructura numérica de datos que representan la distribución en el espacio de edificaciones, terrenos u objetos, mediante una nube de puntos cuyos valores de posición son conocidos por medio de topografía, fotogrametría o teledetección; estos pueden estar definidos en un sistema de coordenadas que puede ser arbitrario o referido a un sistema nacional de coordenadas.

Para la creación de estos modelos los puntos son procesados mediante un programa de diseño asistido por computadora (para este caso ArcGIS®), donde se puede visualizar su ubicación espacial apoyándose en materiales utilizados en el trabajo de campo, como croquis del levantamiento o fotografías donde se indican el número de punto y el nombre que se le asignó a la hora de tomarlo.

Estos puntos generan un modelo a escala de la realidad del que se puede extraer y visualizar información con gran precisión, lo que permite manejar grandes áreas desde una computadora sin la necesidad de movilizarse al sitio.

El modelado de yacimientos geotérmicos en 3D es una herramienta de apoyo para entender con mayor precisión el comportamiento del mismo. En este caso, tuvo como objetivo obtener una visión más amplia del yacimiento geotérmico de Los Humeros, además de optimizar de tiempos estudio, con la finalidad de mejorar el índice del éxito/fracaso en la selección de sitios de perforación de pozos geotérmicos.

3. Desarrollo

Este trabajo se desarrolló empleando información que se localiza en el SICADI de la GPG. El área de estudio es de 65 km², donde se plasmaron datos del campo geotérmicos de Los Humeros que datan desde los inicios de su explotación hasta la época actual. La información se clasificó de acuerdo con las diversas disciplinas encargadas del estudio del yacimiento. Para el procesado de la información, se tomaron como base datos que se localizan en superficie como curvas de nivel, fallas geológicas, plataformas de pozos, unidades de generación, etc. También se utilizaron datos ubicados a profundidad, como fallas geológicas, temperaturas, características de tuberías de los pozos, resistividades de la roca y sismología de la zona.

Se elaboraron capas temáticas relacionadas con la resistividad de la roca a diferentes profundidades, la sismicidad, isocontornos de temperatura, proyección de la tubería de los pozos y zonas de aporte del yacimiento.

Para la conformación del modelo se utilizó el ArcMap del software ArcGIS® para la proyección en superficie (2D) y el ArcScene para el modelado en 3D.

A continuación se describe la información que se tomó en cuenta para el desarrollo del modelo.

3.1. Datos geológicos

El área de geología, a través de trabajos exploratorios y de gabinete, ha logrado identificar estructuras de fallamiento-fracturamiento y sus diversas características como rumbo, echado y longitud, lo que permite su representación geométrica superficial (2D) y a profundidad (3D).

En el presente trabajo se proyectaron las fallas Los Humeros, La Antigua, La Cuesta, Loma Blanca y la traza de la caldera de Los Potreros, ya que la mayoría de los pozos se ubican alrededor de esas estructuras. De acuerdo con el área de geología, se tomó un echado promedio de 70° para cada falla, y su traza se proyectó a una profundidad de 5000 m, a fin de observar su cruce con los pozos.

3.2 Datos geofísicos

El área de geofísica ha realizado campañas de sondeos TDEM (Time Domain Electro-magnetic), además del monitoreo sísmico pasivo mediante estaciones sismológicas. Ambos datos se utilizan como apoyo para determinar el fracturamiento existente a profundidad.

Para ese modelado se elaboraron planos de resistividad a 1000, 1500 y 2000 m de profundidad, con el objetivo de identificar zonas de baja resistividad relacionadas con posibles zonas de mayor conducción de fluidos.

Se tomó la base sísmica de los años 1997-2010, realizando una clasificación en función de la profundidad para identificar zonas con mayor actividad sísmica, lo que se relaciona con el paso de fluidos en sus inmediaciones.

3.3. Ingeniería de yacimientos

El perfil termodinámico de los pozos es útil para describir las características propias de cada uno, como son la temperatura de equilibrio de la formación, la presión del yacimiento, las zonas de aporte de fluidos, entre otros parámetros. En esta etapa del modelado se tomó en cuenta la información de temperatura a partir de datos de equilibrio de la misma (temperaturas estabilizadas). Para determinar las capas correspondientes se llevó a cabo un procesamiento especializado, generando isocontornos de temperatura a las profundidades de 1000, 1500 y 2000 m.

Los pozos, por su parte, se clasificaron de acuerdo a su función (productores, inyectores, monitores y abandonados), y en el caso de pozos direccionales se proyectó su traza a profundidad de acuerdo con su ángulo y dirección de desviación. Se realizó una clasificación de las tuberías de acuerdo con su estado mecánico.

4. Integración de la información

A continuación se representa la conformación del modelo en 3D para el campo geotérmico de Los Humeros.

4.1 Área de estudio

Para definir el área del modelo se empleó la zona de explotación que a la fecha abarca una extensión de 65 km². La Figura 1 presenta el área de estudio. La pequeña flecha amarilla representa el norte geográfico.

Una vez conformada la información, se realizó el modelado con los diversos elementos localizables en la superficie, como las plataformas de los pozos, las trazas de las fallas geológicas, curvas de nivel, traza de vapoductos, líneas de inyección, ubicación de unidades de generación y trazas de caminos (carreteras y terracería), las cuales se plasmaron sobre un modelo digital de elevación, con la finalidad de observar la topografía existente. La Figura 2 representa esquemáticamente el área de estudio y las instalaciones superficiales.

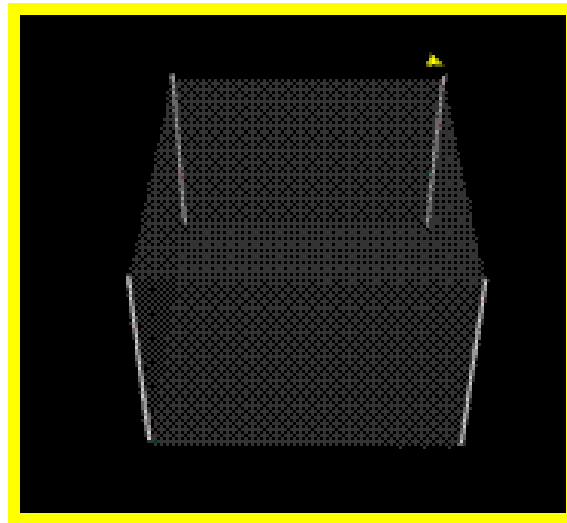


Figura 1. Forma del área de estudio (65 km²).

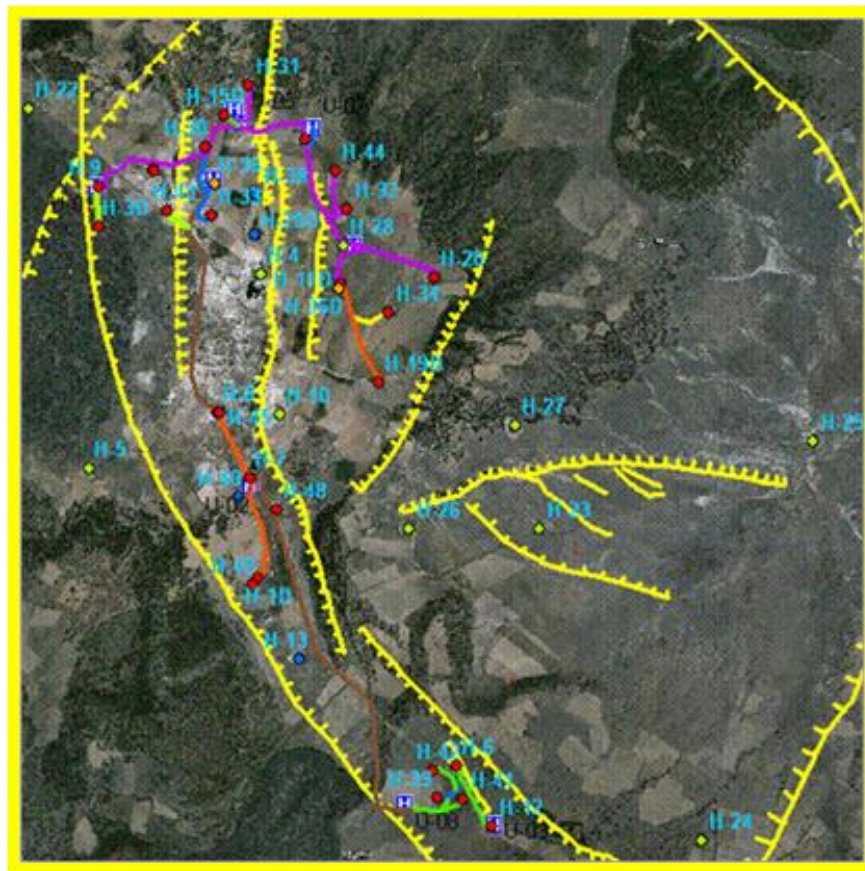


Figura 2. Rasgos superficiales del campo de Los Hornos.

Posteriormente a la proyección en superficie, se realizó el modelado a profundidad, en el cual se agregó la traza de los pozos, fallas, plantas de isorresistividad, sismicidad e isocontornos de temperatura. En las figuras 3 a 5 se muestra la proyección de esa información.

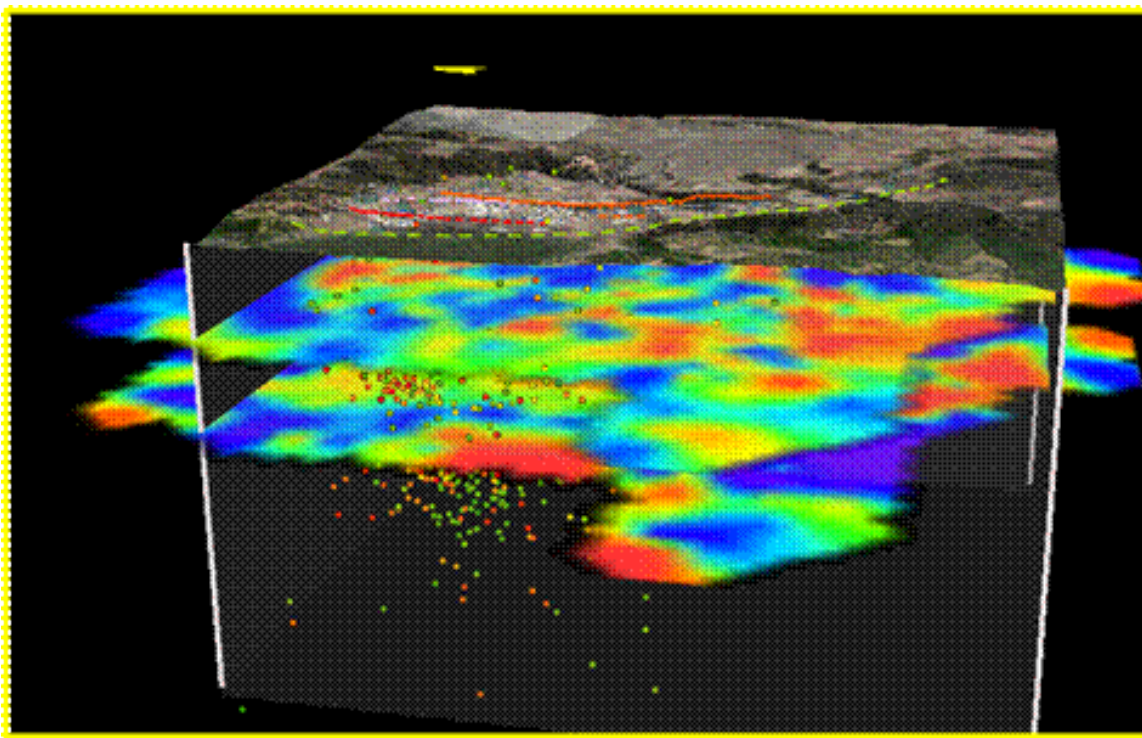


Figura 3. Proyección de plantas de resistividad a 1000 y 1200 m de profundidad y la sismicidad en el periodo 1997-2010 para el campo geotérmico de Los Hornos.

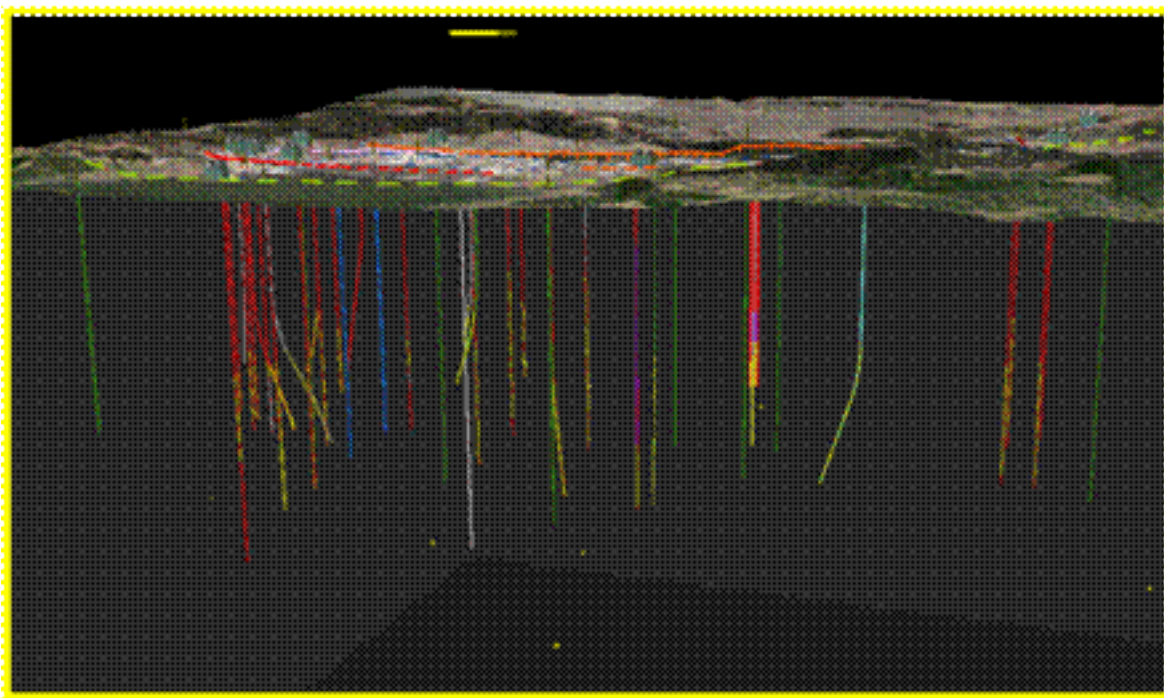


Figura 4. Proyección de pozos a profundidad en Los Hornos.

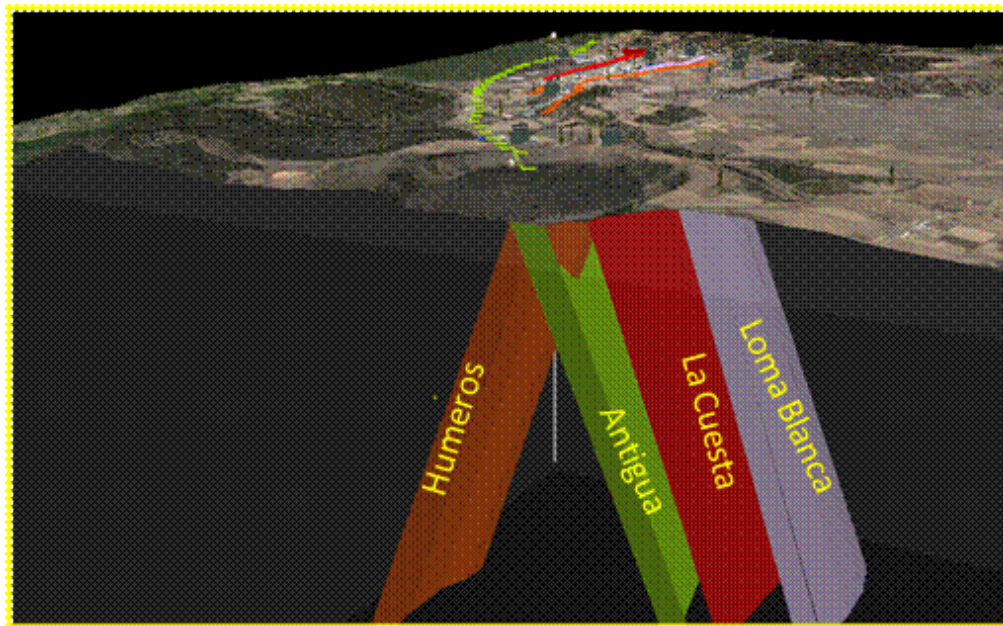


Figura 5. Proyección de las principales fallas geológicas a profundidad.

Con el análisis de la información proyectada se conformó el modelo 3D del campo geotérmico de Los Humeros, el cual se presenta en la Figura 6. Aquí se integra la información de todas disciplinas involucradas, y constituye el resultado final del trabajo.

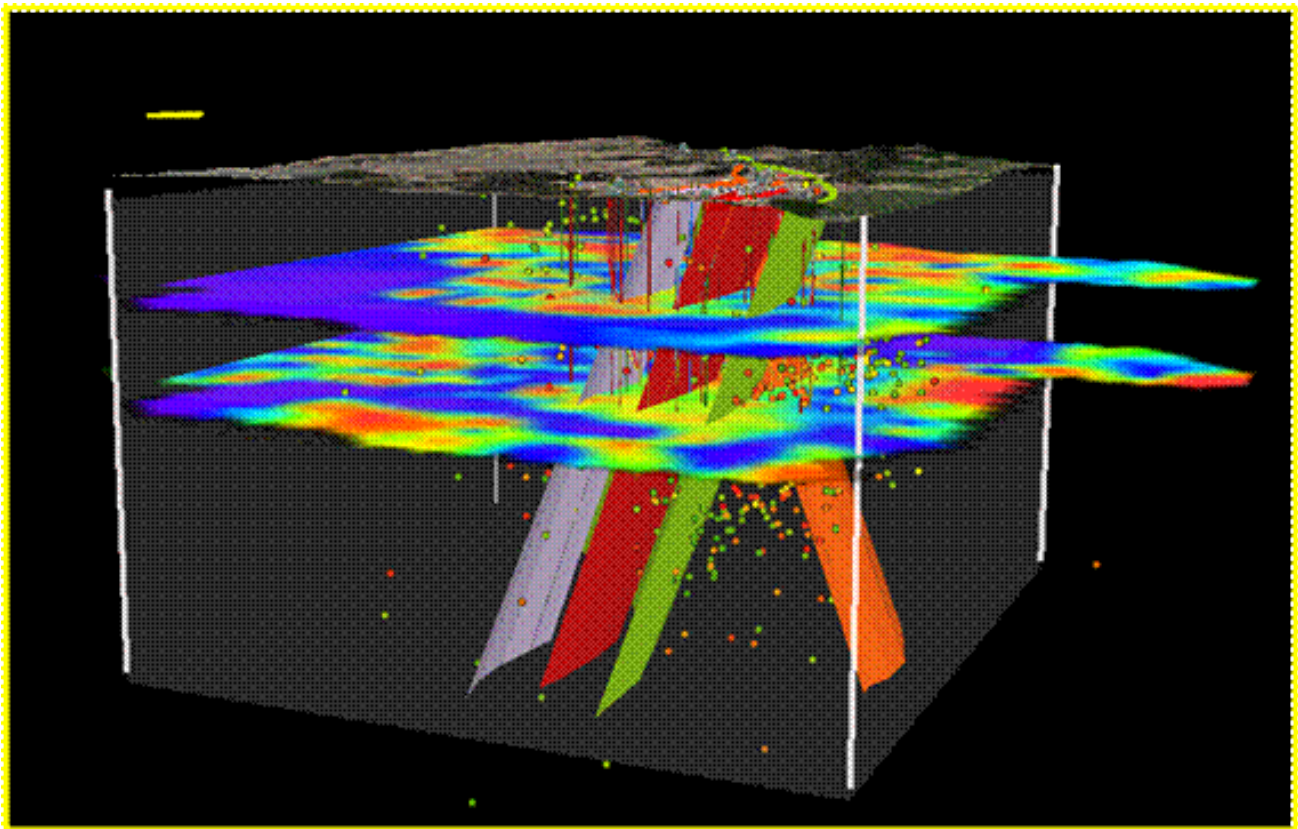


Figura 7. Modelo en 3D del campo geotérmico de Los Humeros.