

# Representación de modelos geológicos – geofísicos 3D en Geomodeller para áreas de exploración geotérmica en Colombia

Matiz, C.<sup>1</sup>, Rueda, J.<sup>1</sup>

1. Servicio Geológico Colombiano

La representación de las geometrías en 3D de los componentes del modelo conceptual de un sistema geotérmico, permiten identificar con mayor precisión las características propias del sistema (Alfaro, et al., 2005). El insumo intermedio que permite obtener una aproximación de la realidad geológica y un acercamiento propio a las anomalías geofísicas es el modelo geológico – geofísico 3D.

Al integrar el modelo estructural junto con la cartografía geológica de la zona a modelar, se obtiene el modelo geológico directo. Integrando las grillas observadas de los campos potenciales (gravimetría y magnetometría) y junto con las propiedades físicas de la roca (densidades y susceptibilidades magnéticas), se realiza un proceso de inversión estocástica geofísica. Como resultado final, se obtiene un modelo lito-constreñido, un modelo de densidades y un modelo de susceptibilidades (Matiz, 2014).

## Metodología

La metodología de trabajo para la representación espacial de modelos geológicos – geofísicos 3D consiste en una metodología 2D a 3D (Matiz, 2015). La integración de información en 2D a representaciones en 3D en los modelos geológicos-geofísicos, parte de la inclusión de la variable Z, la cual corresponde a valores de profundidades del subsuelo y alturas del relieve (Matiz, 2015).

Una vez alcanzados los modelos individuales resultantes que componen el modelo geológico-geofísico, es posible identificar las características propias de anomalías de densidad y susceptibilidad, obteniendo como respuesta el comportamiento de cada litología en conjuntos de voxets georreferenciados en tres dimensiones (Llanos, et al., 2015).

La elaboración y visualización de los modelos, se consiguió por medio de la herramienta GeoModeller de Intrepid Geophysics®, donde es posible combinar los datos de la geología por medio del método de la interpolación del campo potencial (Calcagno, et al., 2008) y la geofísica con la inversión de datos gravimétricos y magnetométricos (Guillen, et al., 2008).

La herramienta informática e institucional en la cual se da alcance al modelo geológico – geofísico y sustenta la metodología de trabajo corresponde al software GeoModeller de Intrepid Geophysics (Matiz, 2014). La metodología incluye varias fases de trabajo que involucran la estructuración de la información, generación del proyecto del área a modelar, asignar la verticalidad del modelo mediante una MDT, la entrada de datos, inclusión del modelo estructural 2D, vincular las fallas entre sí, inclusión de la cartografía geológica 2D y los cortes

geológicos 2D en profundidad, generar las series paracomputar las formaciones geológicas (pila estratigráfica), vincular las fallas con las formaciones geológicas presentes, generar secciones adicionales para constreñir y ajustar e incluir cuerpos intrusivos para finalizar el modelo geológico directo (Matiz, 2014). Para el modelamiento geofísico, se asignan las propiedades físicas (densidad y susceptibilidad

magnética a cada formación, se cargan las grillas observadas de gravimetría y magnetometría, se ejecutan varios métodos directos para analizar el comportamiento de las propiedades físicas aginadas, con base en lo anterior se realiza un lito-constreñimiento previo a la inversión y se ejecuta la inversión estocástica geofísica lito-constreñida a una resolución de voxel detallado (Matiz, 2014).

## Resultados

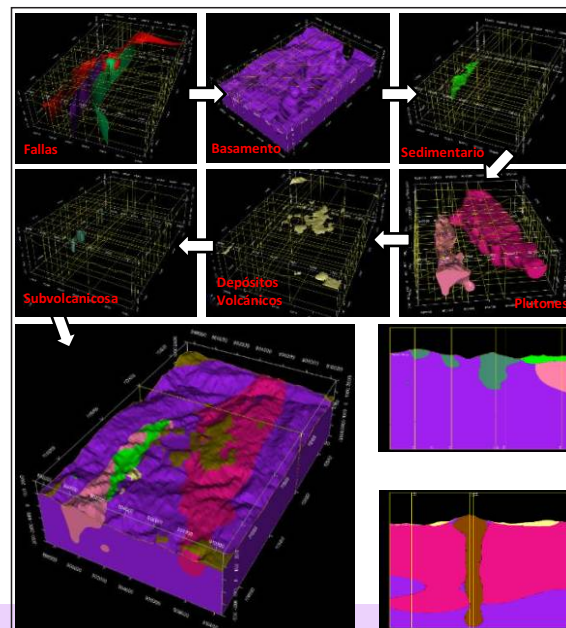
Los datos de entrada del modelo geológico corresponden a la cartografía geológica del área de trabajo, junto con la mayor cantidad de secciones geológicas eficientes que permitan constreñir la geología en profundidad, precisando el tipo de formación a digitalizar (Rueda, 2016). Inicialmente se genera el modelo estructural, ingresando todos los trazos de falla incluidos en la zona a modelar. Este modelo estructural se encuentra ajustado a un proceso de vinculación entre fallas para que el interpolador entienda donde debe ubicar cada trazo isovalor de cada falla con respecto a las demás e interactuar finita o infinitamente en el espacio de trabajo (Calcagno, et al., 2008).

Realizado el modelamiento de los elementos estructurales, se define el sentido de digitalización de las formaciones: trazos que indiquen la base o el tope del contacto de cada

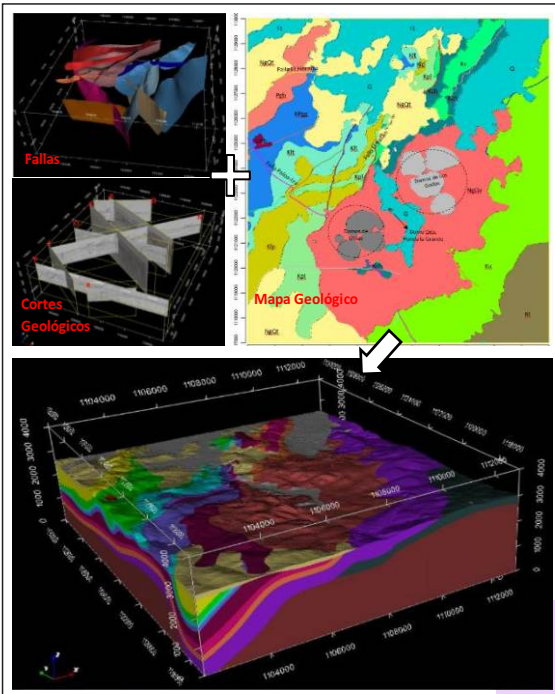
formación. A continuación, se ingresan las formaciones geológicas, agrupadas por series que son conformadas por una o más formaciones. Para corregir la geología inicial, es posible incluir secciones adicionales que permitan ajustar el comportamiento de las formaciones tanto en superficie como en profundidad, teniendo presente de qué tipo de formación se está especificando (cortes radiales a lo largo de un intrusivo, cortes irregulares a lo largo de depósitos volcánicos) y su extensión en el mapa (Rueda, 2016).

### Figura A,B,C.

Representación de los modelos geológicos – geofísicos 3D para áreas geotérmica de Colombia en GeoModeller.



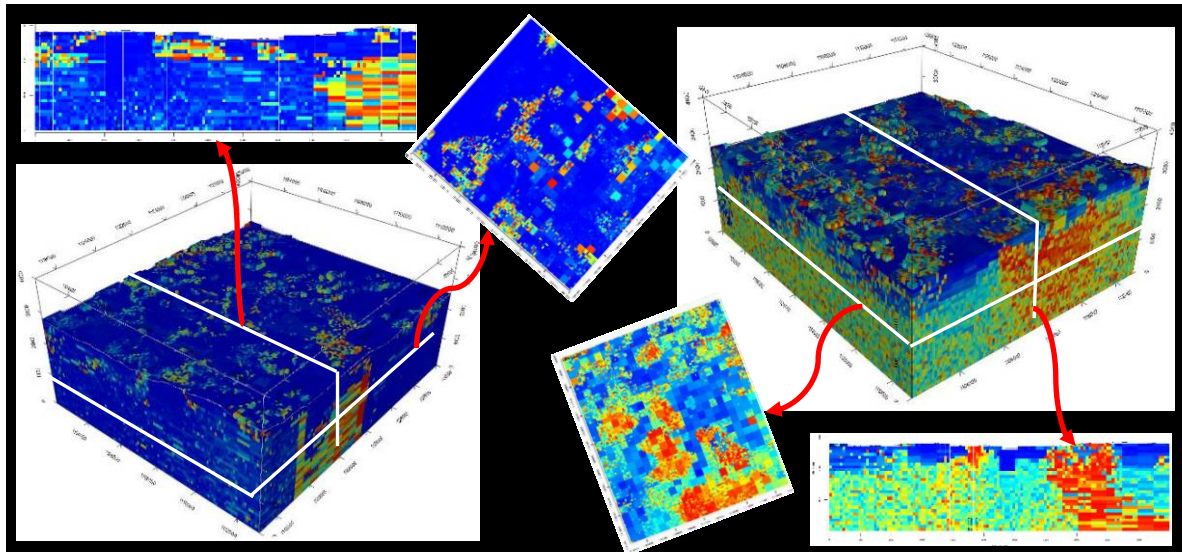
A) Representación de un modelo Geológico 3D en un ambiente ígneo, con depósitos, lavas e intrusivos (San Diego).  
Resultados: Geológico directo (formaciones y fallas)



En el caso del modelamiento de intrusivos grandes con formas poco irregulares y asumiendo una raíz desde el fondo del modelo, el resultado es controlado por el usuario; lo contrario ocurre con el modelamiento de los depósitos con poco espesor y cuya forma en planta siempre sugiere la irregularidad de la superficie terrestre, en este caso, múltiples cortes siguiendo la dirección de los depósitos son necesarios para un mejor resultado.

Como resultado del procesamiento geológico se crea un modelo 3D directo, donde las litologías y fallas pueden ser visualizadas en cortes en el eje Y y en el eje Z, observandolos cambios en profundidad (Figuras A y B). Lo mismo ocurre con el procesamiento geofísico, mostrando las variaciones en este caso de densidad y susceptibilidad en cualquier vista.

B) Representación de un modelo GG 3D en un ambiente sedimentario (Paipa).  
Resultados: litológico, densidades, susceptibilidades.



C) Representación de un modelo GG 3D en un ambiente sedimentario (Paipa).  
Resultados: susceptibilidades y densidades. Tomos altos representan valores altos de densidad y susceptibilidad

Computado el modelo geológico directo, se asignan los valores de densidad y susceptibilidad por cada formación presente en el modelo. Con estas propiedades iniciales, se realiza un procesamiento directo con la geofísica, integrando las grillas observadas de gravedad y magnetismo terrestre. Este procesamiento se realiza con una resolución de voxel detallada para analizar el comportamiento de los desajustes entre las geometrías alcanzadas por las formaciones geológicas en el modelo geológico directo, las propiedades físicas

asignadas a cada formación y la respuesta calculada sobre la superficie de la gravimetría y la magnetometría.

Por último, la inversión estocástica lito-constreñida, la cual es el procesamiento final, se basa en la perturbación conjunta de las geometrías de las formaciones geológicas y las propiedades físicas, incluyendo posibles cambios en las densidades y susceptibilidades magnéticas. La inversión se puede realizar en dos esquemas de discretización: el primero con una

resolución del voxel poco detallada (500 m) para elaborar procesamientos rápidos, obteniendo resultados que permitan analizar y realizar cambios a los parámetros de la inversión para repetir cuantas veces sea necesario el proceso. Luego de esto, se realiza el segundo esquema de discretización: a una resolución más detallada del voxel (100m) para obtener más litologías, densidades y susceptibilidades más "finas", expuestos a un mayor número de iteraciones (Figura C).

## Conclusiones

Los modelos geológicos-geofísicos 3D, permiten obtener la espacialización de las geometrías inferidas por cortes geológicos o perforaciones, de las formaciones geológicas y representación de los voxels discretizados por la inversión estocástica de la litología, densidades y susceptibilidades magnéticas, permitiendo inferir las geometrías de los elementos de un sistema conceptual geotérmico en

un sistema de referencia y coordenadas reales.

De una manera ágil y eficiente, representar la geología, litología, densidades y susceptibilidades en profundidad, para inferir a partir de los resultados modelados lo que se podría eventualmente observar en el subsuelo, disminuyendo las diferencias con la realidad geológica percibida solamente en superficie.

A demás de contar con un visor 3D de modelos geológicos-geofísicos

en GeoModeller, es posible integrar los diferentes resultados con otras técnicas utilizadas en la exploración de recursos geotérmicos (levantamientos magnetotelúricos, sondeos eléctricos verticales, sondeos superficiales de temperatura, sísmica). A su vez, la posterior validación de los modelos alcanzados, se hace posible mediante el módulo de edición de pozos del software, el cual incluye las propiedades físicas medidas en perforaciones con diamantina y los resultados de la geología del pozo.

## Referencias bibliográficas

Alfaro, C., Velandia, F., Cepeda, H., Vásques, L., y Espinosa, O., (2005), *Modelo Conceptual preliminar del Sistema Geotérmico de Paipa*, Bogotá D.C., Ingeominas.

Calcagno, P., Chiles, J., Courrioux, G., y Guillen, A., (2008), Geological modelling from field data and geological knowledge Part I. Modelling method coupling 3D potential-field interpolation and geological rules, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (171), pp. 147-157.

Guillen, A., Calcagno, P., Courrioux, G., Joly, A., y Ledru, P., (2008), Geological modelling from field data and geological knowledge Part II. Modelling validation using gravity and magnetic data inversion, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, (171), pp. 158-169.

Llanos, E. M., Bonet, C. y Zengerer, M., (2015), *3D Geological - Geophysical Model Building and Forward and Inverse Modeling of Magnetism and Gravimetry Data from Paipa Geothermal Area*, Colombia - Final Report. GeoIntrepid, Melbourne.

Matiz, C., (2014), *Propuesta Metodológica para la representación espacial de Modelos Conceptuales de Sistemas Geotérmicos*, Bogotá D.C., SGC.

Matiz, C., (2015), *Modelo conceptual geológico - geofísico del área geotérmica de Paipa*, Boyacá. Bogotá D.C., SGC.

Rueda, J., (2016), *Modelos geológicos 3D del área geotérmica de San Diego - Caldas*, Bogotá D.C., SGC.