



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



**BECAS DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN
JAE Intro ICU 2024**

MEMORIA FINAL

PERSONA BENEFICIARIA: ALEJANDRO PERTUZ DOMÍNGUEZ

REFERENCIA DE LA SOLICITUD: JAEICU_24_00679

INVESTIGADOR/A: CONCEPCIÓN AYALA GALAN Y CRISTINA DE SANTIAGO BUEY

Grupo de Investigación: CONEXIÓN CSIC- GEOCIENCIAS PARA UN PLANETA SOSTENIBLE (IPE-CSIC)

REFERENCIA DEL PLAN DE FORMACIÓN: IPE-01

TÍTULO DEL PLAN DE FORMACIÓN: De los combustibles fósiles al calor de la Tierra: Caracterización geológica y evaluación del potencial geotérmico de la Cuenca de Cameros.

FECHA DE INCORPORACIÓN (día/mes/año): 16 JUNIO 2024

FECHA DE FIN (día/mes/año): 16 DICIEMBRE 2024

**Vicepresidencia de Investigación Científica y Técnica (VICYT)
Departamento de Postgrado y Especialización (DPE)
Serrano, 113. 28006 Madrid**



MEMORIA DE LA ACTIVIDAD FORMATIVA REALIZADA

La Cuenca de Cameros es la cuenca más septentrional del Sistema Extensional Mesozoico Ibérico. Se desarrolló desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior, alcanzando hasta 6500 m de espesor vertical de depósitos continentales y costeros, antes de ser invertida durante la Orogenia Alpina, principalmente a favor del Cabalgamiento Norte de Cameros. El estudio desarrollado durante esta beca JAE Intro ICU se sitúa en la localidad de Arnedillo (La Rioja, España), en el sector NE del mencionado cabalgamiento. En esta localidad se dan varias surgencias termales a lo largo y en los márgenes del río Cidacos que llegan a alcanzar temperaturas de hasta 52°C y tienen un uso directo en los balnearios y piscinas naturales de la zona. Estas surgencias se dan en el contacto entre los carbonatos jurásicos y los materiales impermeables evaporíticos de las facies Keuper (Triásico Superior). El objetivo de este trabajo ha sido caracterizar el sistema geotérmico de Arnedillo mediante la construcción de un modelo geológico 3D apoyado por mediciones gravimétricas y cartografía geológica de detalle.

El trabajo se ha realizado de forma híbrida entre el IGME con la Dra. Cristina de Santiago Buey y el GEO3BCN con la Dra. Concepción Ayala Galán, investigadoras principales de la beca JAE. Además, se ha contado con la ayuda de la Dra. M^a Isabel Benito Moreno (UCM). Las tareas realizadas a lo largo de la beca han sido las siguientes:

- Recopilación de datos bibliográficos y cartografía geológica de detalle de la zona de Arnedillo.
- Obtención de muestras de las diferentes unidades de estudio. Estas muestras fueron enviadas a la unidad asociada I+D+i UB-CSIC de Geotermia y Petrofísica para la obtención de sus propiedades térmicas.
- Realización de una campaña de gravimetría y procesado de los datos gravimétricos para la obtención de un mapa de anomalías de Bouguer y de anomalías residuales. Esta campaña ha sido posible gracias a la financiación del proyecto MICROBURIAL (ref. PID2022-136717NB-I00), dirigido por M^a Isabel Benito Moreno (UCM) e Isabel Emma Quijada Van Den Berghe (UNIOVI), y a la participación de María del Carmen Rey Moral (IGME-CSIC) y Martín García Martín (URJC). El procesado de los datos y obtención de mapas se ha realizado gracias a la licencia académica de Oasis Montaj de la UCM.
- Construcción de varios cortes geológicos ajustados por *forward modelling* a la anomalía de Bouguer observada mediante el módulo GM-SYS 2D de Oasis Montaj. Los datos de densidades para cada unidad se obtuvieron a partir de la literatura y de formaciones análogas.
- Construcción de un modelo tridimensional a partir de los cortes ajustados mediante el programa Geomodeller 4.0.7 gracias a una licencia cedida por el BGRM (*Bureau de Recherches Géologiques et Minières*). Las densidades aplicadas en este modelo se han ajustado mediante un proceso de inversión que de forma iterativa modifica las propiedades de las unidades hasta minimizar el error entre la anomalía observada y la anomalía calculada.
- Cálculo del *Heat In Place* o calor almacenado en el subsuelo a partir del modelo 3D final y el programa 3DHIP-Calculator (ICGC-UAB, *Institut Cartogràfic y Geològic de Catalunya – Universitat Autònoma de Barcelona*).

Los resultados parecen indicar que el sistema geotérmico de Arnedillo está controlado por intersecciones de fallas a favor de las cuales ascienden las aguas a alta temperatura desde los niveles acuíferos del Jurásico, dándose las surgencias en el punto donde estas fallas intersectan a materiales impermeables. Si bien el calor almacenado es insuficiente para la producción de energía eléctrica si que puede hacerse un uso directo de este, como se evidencia en los balnearios de Arnedillo. Los resultados detallados de este trabajo serán publicados en un futuro artículo indexado.



INFORME DIRECTORAS DEL PLAN DE FORMACIÓN

Dña. Concepción Ayala Galán y Dña. Cristina de Santiago Buey en su calidad de personas directoras del plan de formación emiten el siguiente informe sobre los resultados de la actividad formativa.

El estudiante ha realizado un excelente trabajo de investigación desarrollando un modelo 3D de la zona de Arnedillo, en el contexto geológico altamente complejo de la Cuenca de Cameros, con el objetivo de evaluar su potencial geotérmico.

Para ello ha realizado distintas tareas que incluyen la compilación, análisis e integración de datos geológicos y geofísicos previos, además de reinterpretar un perfil sísmico que atraviesa el área de estudio. Debido a la escasez de datos geofísicos, se realizó una campaña gravimétrica en la que el estudiante participó desde la planificación hasta el procesado e interpretación final de los datos.

Para la modelización geológica y gravimétrica ha utilizado el software GM-SYS 2D de Oasis Montaj (Seequent), 3DGeomodeller (Intrepid Geophysics), Leapfrog (Seequent) y el 3DHIP-calculator desarrollado por el Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Cabe destacar que, durante el trabajo de la JAE, el estudiante ha aprendido a utilizar tanto el 3DGeomodeller como el 3DHIP-calculator de una forma autodidacta, principalmente mediante tutoriales accesibles en internet, bajo la supervisión de las directoras del trabajo.

Durante estos meses de trabajo, el estudiante ha destacado por su esfuerzo y dedicación. Ha demostrado una notable capacidad para adquirir y aplicar los conocimientos científicos y técnicos necesarios. Su sentido crítico le ha permitido avanzar en la modelización, seleccionando el modelo más consistente con los datos de partida. Asimismo, sus discusiones y conclusiones reflejan los conocimientos adquiridos y su competencia en el uso del método científico.

Los buenos resultados obtenidos en el trabajo de investigación de la JAE son publicables en un artículo científico que se enviará a una revista del Science Citation Index y que actualmente está en sus estadios iniciales. Además, este modelo se podrá utilizar para nuevas investigaciones geotérmicas en otras áreas en la Cuenca de Cameros.

En Barcelona , a 10 de Enero de 2025

Persona beneficiaria de la beca	Personal investigador	VºBº Dirección del Instituto/centro
Fdo: Alejandro Pertuz Domínguez	Fdo: Concepción Ayala Galán	Fdo: Santiago Giralt Romeu
	Fdo: Cristina de Santiago Buey	Fdo: Rosa Mª Mateos Ruíz

(Este documento deberá ser remitido a jaeintro@csic.es)

Vicepresidencia de Investigación Científica y Técnica (VICYT)
Departamento de Postgrado y Especialización (DPE)
Serrano, 113. 28006 Madrid