

Usos de la energía geotérmica

José G. Viramonte¹, Agostina Chiodi^{1,2}, Rubén Filipovich^{1,2}, Emilce Bustos^{1,2} y Carlos Peralta³

¹Instituto de Bio y Geociencias del NOA, (IBIGEO, UNSa - CONICET). e-mail: joseviramonte@yahoo.com.ar

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. e-mail: agoch18@gmail.com

³Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa, UNSa).

La energía geotérmica ha sido utilizada desde tiempos remotos de la humanidad fundamentalmente para su uso balneoterápico y de recreación. Solo basta recordar su utilización generalizada para estos propósitos en Egipto, Turquía y especialmente en el Imperio Romano. La energía geotérmica ha proporcionado electricidad comercial durante más de 100 años a partir de recursos hidrotermales convencionales, con una capacidad eléctrica instalada global de 16.318 MWe (Gutiérrez-Negrín 2024) y una potencia térmica instalada para usos directos de 107.727 MWt (Lund y Toth 2021).

Mientras que los manantiales hidrotermales de primera calidad generalmente se limitan a áreas volcánicas y tectónicamente activas, la generación del concepto de Sistemas de Geotermia Mejorada (*Enhanced or Engineered Geothermal Systems* EGS), ha aumentado significativamente el potencial de la energía geotérmica a nivel mundial, por la posibilidad de explotar *reservorios no convencionales* donde se almacena la energía térmica, incluso en áreas de bajo o moderado flujo de calor. Se prevé que, para el año 2050, explotando estos recursos será posible generar competitivamente 100.000 MWh de energía eléctrica en EEUU. Adicionalmente, la instalación y uso de bombas de calor en los últimos años, expandió las fronteras significativamente para el aprovechamiento de los recursos geotermiales de baja temperatura.

Los sistemas geotérmicos son generalmente clasificados en base a sus características geológicas, hidrogeológicas y de transferencia de calor, mientras que el *recurso geotérmico*, está conformado por un recurso con cantidad suficiente de concentración de calor a una profundidad perforable de la Tierra que sea *económicamente explotable*. Como es fácil comprender, la evolución de las tecnologías de perforación y beneficio en permanente mejoramiento, así como el incremento de la demanda energética, hacen que el *recurso geotérmico* vaya en aumento. Por esta razón, yacimientos que, en un pasado cercano, no eran económicamente explotables, en el presente ya lo son y otros que aún no lo son, lo serán seguramente en el futuro.

Si bien el recurso geotérmico está presente en toda la Tierra, el potencial de aprovechamiento energético depende del acceso al recurso, la existencia de anomalías termales y las necesidades energéticas (Ibarra et al. 2022, Viramonte et al. 2024). La *energía geotérmica* puede utilizarse tanto para la *generación de electricidad* (energía geotermo-eléctrica) cuando el recurso geotermal es apropiado, como para *usos directos* (Figura 1), entre los que se destacan en importancia a nivel mundial las bombas de calor, calefacción de espacios, invernaderos, acuicultura, secado de cultivos agrícolas, procesos industriales que requieren calor, balneología, derretimiento de nieve (Lund y Toth 2021).

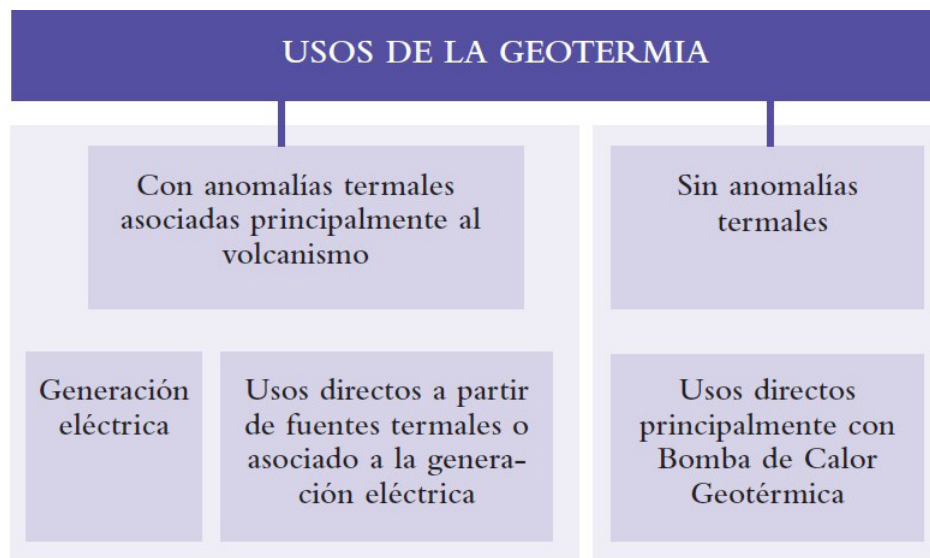


Figura 1. Usos de la energía geotérmica (Ibarra et al. 2022)

Generación de energía geotermo-eléctrica

Las centrales eléctricas geotérmicas utilizan tres tecnologías principales: vapor seco, vapor de destello/Flash y ciclo binario (Salazar-Pereyra et al. 2017), y también existen plantas geotérmicas de ciclo combinado.

Vapor seco: implica el uso de vapor a muy alta temperatura (más de 235 °C) y presión para activar directamente una turbina acoplada a un generador de energía eléctrica. La capacidad de generación de este tipo de centrales es muy alta, debido a que trabajan con flujos completos y no con fracciones como son las centrales *flash*. Estas fueron las primeras plantas de generación de energía geotérmica que se construyeron, en Larderello, Italia y en The Geysers, en Estados Unidos.

Vapor de destello/Flash: corresponde a los depósitos de agua dominantes (temperatura superior a 150-170 °C). Se utilizan en las centrales eléctricas de destello simple o doble. Este proceso se lleva

a cabo por el agua que arriba a la superficie a través de pozos productivos y debido al rápido cambio de presión del depósito a la presión atmosférica, se separa. Por una parte, el vapor se envía a la central y por otro lado, el líquido se reinyecta en el reservorio (destello simple) (Figura 2a). Si el fluido geotérmico llega a la superficie a temperaturas especialmente altas, se puede someter al proceso dos veces (destello doble). El vapor es el que hace girar las aspas de las turbinas generando energía mecánica que posteriormente, por acción del alternador, se convierte en electricidad.

Ciclo binario: En los depósitos que producen agua a temperaturas moderadas (a partir de 90 °C), el fluido geotérmico se utiliza para vaporizar, mediante un intercambiador de calor, un segundo líquido (que suele ser isobutano o isopentano) que tiene una temperatura de ebullición más baja que la del agua. El fluido secundario se expande en la turbina, se condensa y vuelve a enviar al intercambiador en un circuito cerrado, sin intercambio con el exterior. Las centrales de ciclo binario son las más eficientes y modernas (Figura 2b). El desarrollo constante de esta tecnología permite que el umbral de temperatura para generación eléctrica sea cada vez más bajo aunque la performance es directamente proporcional a la temperatura de entrada.

Plantas de ciclo combinado: aprovechan los beneficios de los ciclos binarios y *flash*.

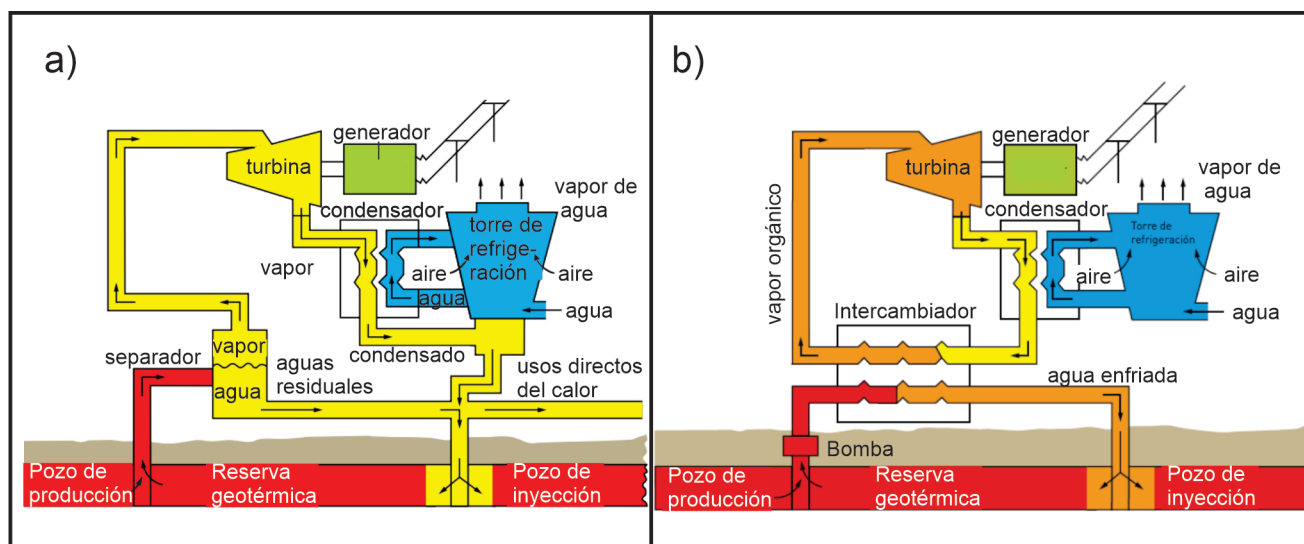


Figura 2. Diagrama de una central geotérmica de tipo a) Flash, b) Ciclo binario (Kagel 2008)

Usos directos

Entre los usos directos, como mencionamos anteriormente, la energía geotérmica puede ser utilizada para calefacción de espacios, invernaderos, acuicultura, secado de cultivos agrícolas, procesos industriales que requieren calor, balneología, derretimiento de nieve (Lund y Toth 2021).

Durante los últimos años, es notable el incremento a nivel mundial de la capacidad instalada para usos directos, entre los que se destaca principalmente la instalación y uso de bombas de calor geotérmico (Figura 3a). Este tipo de tecnología permite aprovechar la energía geotérmica en lugares donde no hay anomalías termales, es decir, donde las temperaturas del subsuelo son bajas (entre 90°C y 30 °C) o muy bajas (menores a 30 °C). Las bombas de calor permiten transportar calor fácilmente desde un sitio frío a uno caliente, es decir que se desarrollaron para climatización, entregar calefacción y refrigeración para acondicionar espacios y procesos productivos (Figura 3b, Ibarra et al. 2022).

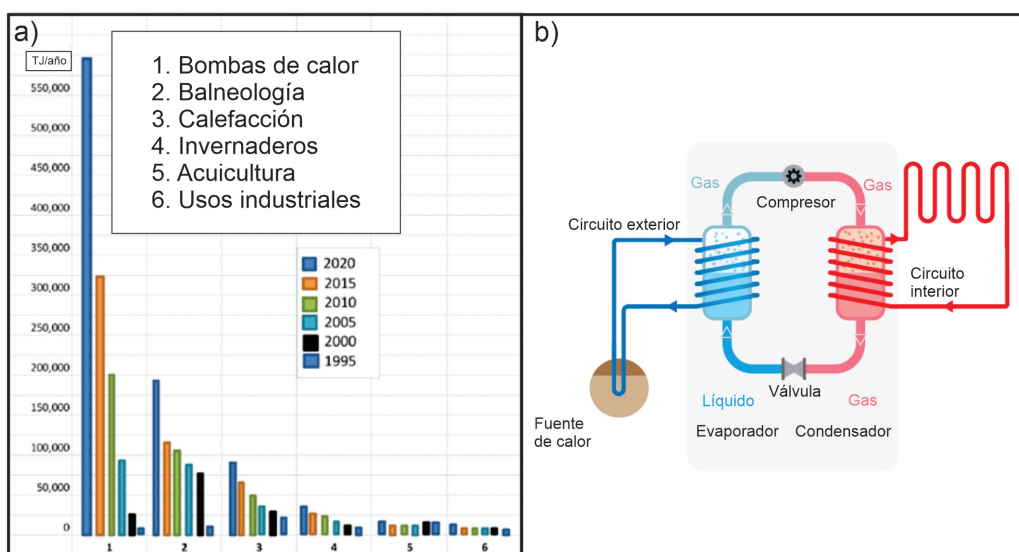


Figura 3. a) Comparación del uso directo a nivel mundial de la energía geotérmica (en TJ/año)* desde 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (Lund y Toth 2021), b) Esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica (Ibarra et al. 2022). *Unidades de medida de energía, TJ: Terajulio, GWh: Gigavatiohora. 1 TJ = 0,278 GWh

Usos de la energía geotérmica en la Argentina

En el número anterior de Temas BGNOA (ver [Viramonte et al. 2024. Temas B&GNOA, vol. 13, n°1](#)) vimos que el geotermalismo en el NOA se vincula principalmente a la actividad volcánica en la Puna (sistemas geotermiales asociados a magmatismo; Figura 4a) y a la infiltración profunda de aguas meteóricas y circulación a través de las estructuras en el área de Cordillera Oriental, Sistema de Famatina, Sierras Pampeanas y llanura Chaqueña (sistemas geotermiales no magmáticos; Figura 4a). La región oeste del país, donde se encuentra el arco volcánico y área de la Puna, es la zona más interesante para la exploración de los recursos geotermiales con fines de generación de energía geotermo-eléctrica, porque es donde esperaríamos encontrar las mayores temperaturas en los reservorios geotermiales. Allí encontramos sistemas geotermiales con exploración avanzada, como es el caso del sistema geotermal Tocomar y sistema geotermal del volcán Tuzgle, en la zona de la Puna Central (Giordano et al. 2016, Filipovich et al. 2022), los sistemas geotermiales del Cerro Blanco y Cerro Galán (Chiodi et al. 2019, 2024; Figura 5)

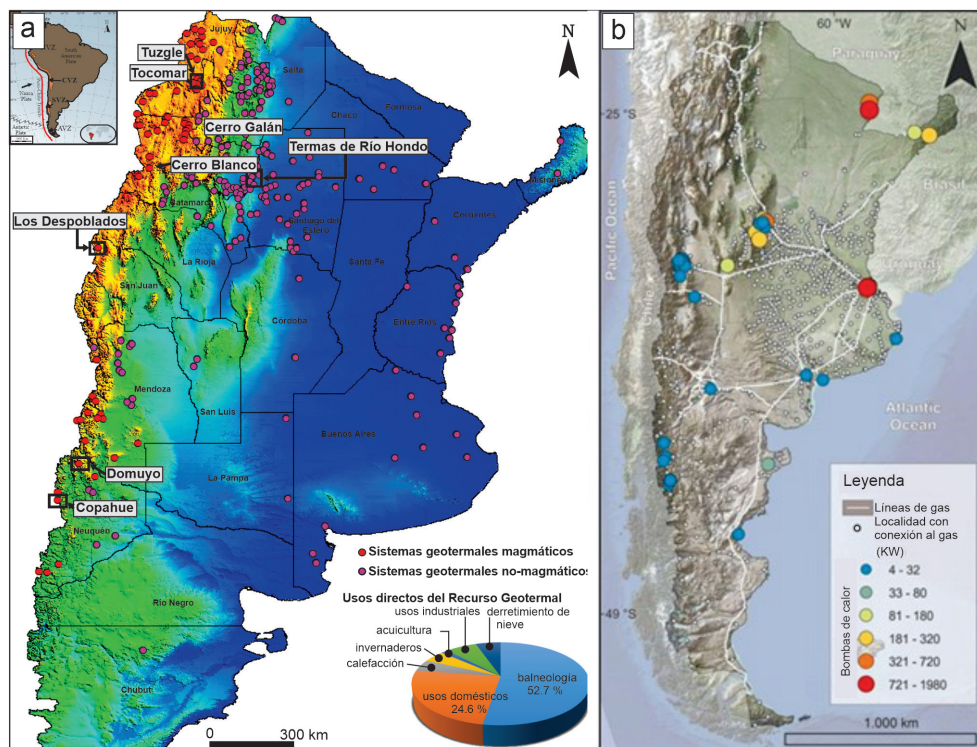


Figura 4: a) Mapa de la Argentina mostrando la distribución de las manifestaciones termales. Abajo a la derecha gráfico de torta con los usos directos (modificado de Chiodi et al. 2020). Los usos basados en Pesce y Miranda (2003). b) Ubicación aproximada de las bombas de calor geotérmicas instaladas. La localización de las líneas de gas tomado de <https://www.enargas.gob.ar/> (Chiodi et al. 2023)

en la Puna Austral y los sistemas geotermiales profundos de la Puna Norte (Peralta et al. 2017). En Argentina, durante 1996, se llegó a producir energía geotermo-eléctrica con una planta piloto de 0,67 MWe en el sistema geotermal Copahue (Figura 4a). Desafortunadamente, el proyecto quedó inactivo desde entonces.

La creciente demanda energética en la zona de la Puna por el sensible aumento de la actividad minera coloca a la energía geotérmica en un lugar de privilegio no solo por su potencial sino por tratarse de una energía limpia. El uso de la energía geotérmica podría acoplarse, por ejemplo, en las mineras del Li para la destilación fraccionada de salmueras, o bien la generación de energía eléctrica sumada a la extracción de Li y otros metales interesantes desde el punto de vista económico. Sistemas geotermiales como es el caso de Tocomar, con un potencial probable (50%) de producción eléctrica de 6,18 MWe (Filipovich et al. 2022), sumado a su localización estratégica sobre la Ruta Nacional 51, Ramal C-14 y línea de alta tensión Chile-Argentina, junto con su proximidad al Parque Solar Cauchari (300 MWe), lo posicionan como uno de los sistemas geotermiales más favorables para el desarrollo de energías renovables en el NOA.

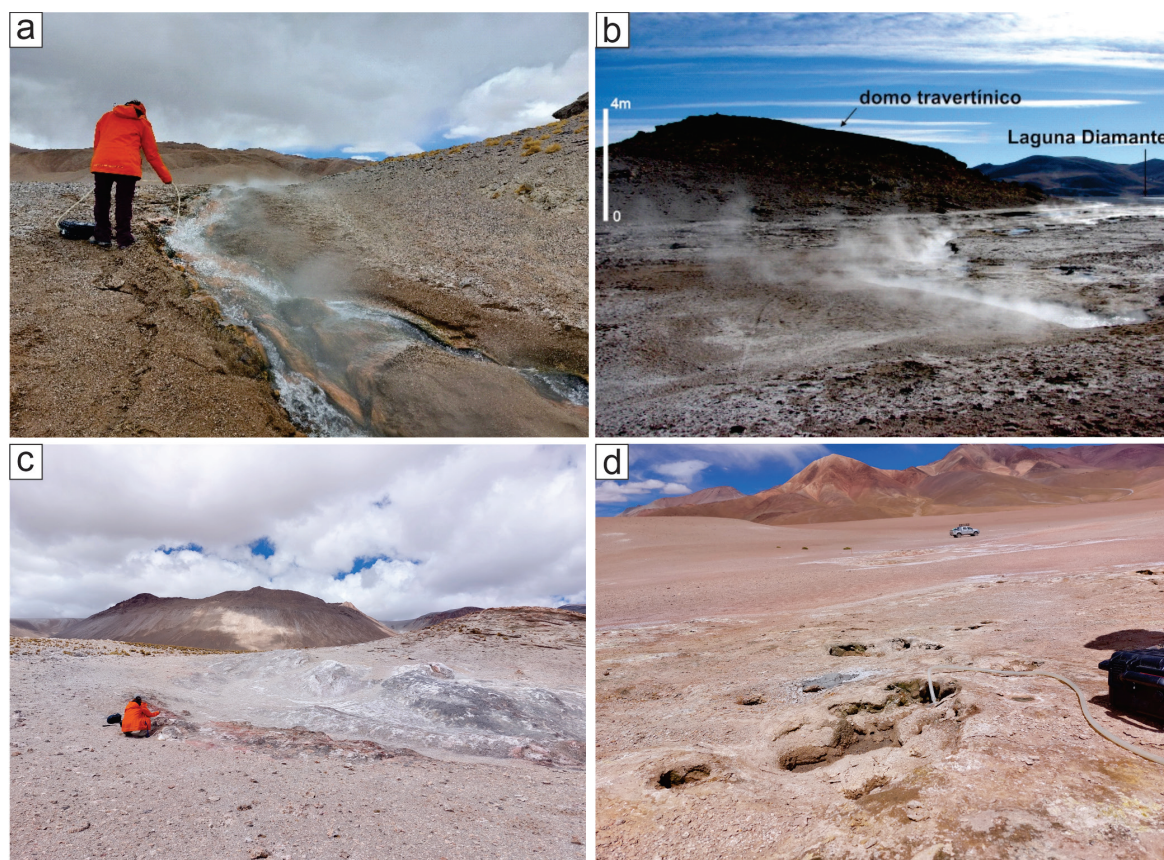


Figura 5: a) y b) Manantiales termales del sistema geotermal Cerro Galán, c) Zona de alteración hidrotermal y fumarolas geotermiales del sistema geotermal Cerro Blanco, d) Piscinas Burbujeantes del sistema geotermal del Cerro Galán

El otro sector constituido por la Cordillera Oriental, Sierras Subandinas, Sistema de Santa Bárbara, Sierras Pampeanas y llanura Chaqueña donde pueden esperarse temperaturas medias y bajas (menores a 180°C), presenta un potencial geotérmico muy importante especialmente asociado al gran volumen de agua caliente allí existente. En ciertos casos, podrían ser aprovechados para generación de energía eléctrica en plantas de ciclo binario (ej. Termas de Río Hondo), o bien utilizarse en usos directos como son cultivos en invernaderos, calefacción domiciliar y balneoterapia (Figura 4a). Es de destacar el potencial geotérmico de esta área, no solo por las temperaturas existentes, sino por el enorme volumen y cantidad de calor involucrado, que lo coloca en un lugar destacado para futuros emprendimientos energéticos, de cultivos en viveros calefaccionados de alto rendimiento continuo, no olvidando el potencial balneoterápico y recreativo de estos recursos. En este sentido, un ejemplo emblemático del aprovechamiento del recurso geotérmico, lo constituye el Hotel Termas de Rosario de La Frontera, en la provincia de Salta. Emprendimiento iniciado en 1880 por el Dr. Antonio Palau, donde sus aguas termales fueron visitadas por distinguidos personajes, como fueron Sarmiento, Avellaneda, Alvear, Roca, entre otros (Figura 6). Otros sitios termales en Argentina tales como Termas de Río Hondo (Santiago del Estero), Concordia, Chajarí, Federación, Colón, Villa Elisa

(Entre Ríos), Campo Timbó (Santa Fe), etc., ilustran cómo este valioso recurso puede redinamizar economías deprimidas en localidades que no cuentan con otros recursos económicos de importancia.



Figura 6: a) Foto de época ilustrando los años dorados del Hotel Termas de Rosario de la Frontera. b) y c) Piscinas termales para balneología. d) Manantial termal "La Ferruginosa", con aguas a 74 °C, convertido en un sauna natural. e) Manantial termal "La Salada", con aguas a 71,4 °C

Por otro lado, y siguiendo una tendencia a nivel mundial, el uso de bombas de calor geotérmicas ha experimentado un marcado incremento en Argentina en los últimos años, principalmente en aquellas zonas donde no hay acceso a la red de gas natural (Figura 4b). Si bien no han existido políticas gubernamentales para promover el uso de la energía geotérmica somera, en las últimas décadas surgieron empresas privadas que motivaron su conocimiento y uso, así como grupos de investigación dedicados a estudiar las propiedades térmicas del subsuelo y a cuantificar los beneficios de su aplicación. De acuerdo con la capacidad instalada, los sistemas geotérmicos con bombas de calor geotérmicas, se utilizan principalmente para calefacción y refrigeración de edificios residenciales (41%). El resto se distribuye entre gimnasios y piscinas (31%), hoteles (11%), edificios comerciales y de oficinas (7%), edificios públicos (6%) y 4% sin datos. Lamentablemente, el uso de energía por bombas de calor geotérmicas en Argentina no se informa adecuadamente, ya que los datos no son recopilados ni cotejados por ninguna organización del gobierno central.

Los valores expresados aquí se derivan de un pequeño conjunto de datos compilados propios. Sin embargo, la mayoría de los proyectos individuales, permanecen sin medir y/o sin registrar en una única base de datos (Chiodi et al. 2023).

REFERENCIAS

CHIODI A, F TASSI, W BÁEZ, R FILIPOVICH, E BUSTOS, M GLOK GALLI, N SUZAÑO, MF AHUMADA, JG VIRAMONTE, G GIORDANO, G PECORAINO, O VASELLI. 2019. Preliminary conceptual model of the Cerro Blanco caldera-hosted geothermal system (Southern Puna, Argentina): inferences from geochemical investigations. *Journal of South American Earth Sciences*, 94, 102213.

CHIODI A, R FILIPOVICH, M PLEITAVINO, H BARCELONA, C ESTEBAN. 2023. Geothermal Country update of Argentina: 2020-2023. *Proceedings World Geothermal Congress 2023, China*.

CHIODI A, W BÁEZ, F TASSI, E BUSTOS, R FILIPOVICH, J MURRAY, AL RIZZO, O VASELLI, G GIORDANO, JG VIRAMONTE. 2024. Fluid geochemistry of the Cerro Galán geothermal system (Southern Puna, Argentina): Implications for the geothermal potential of one of the youngest giant calderas in the Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 450 (2024), 108089. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2024.108089>

FILIPOVICH R, A CHIODI, W BÁEZ, F AHUMADA, C INVERNIZZI, S TAVIANI, L ALDEGA, F TASSI, A BARRIOS, S CORRADO, G GROPELLI, G NORINI, S BIGI, C CARICCHI, A DE BENEDETTI, G DE ASTIS, R BECCHIO, JG VIRAMONTE, G GIORDANO. 2022. Structural analysis and fluid geochemistry as tools to assess the potential of the Tocomar geothermal system, Central Puna (Argentina). *Geothermics*, 98, 10227. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2021.102297>

GIORDANO G, F AHUMADA, L ALDEGA, W BÁEZ, R BECCHIO, S BIGI, C CARICCHI, A CHIODI, S CORRADO, AA DE BENEDETTI, A FAVETTO, R FILIPOVICH, A FUSARI, G GROPELLI, C INVERNIZZI, R MAFUCCI, G NORINI, A PINTON, C POMPOSIELLO, F TASSI, S TAVIANI, JG VIRAMONTE. 2016. Preliminary data on the structure and potential of the Tocomar geothermal field (Puna plateau, Argentina). *Energy Procedia*, 97: 202-209. <https://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.055>

GUTIÉRREZ-NEGRÍN L. 2024. Evolution of worldwide geothermal power 2020–2023. *Geothermal energy*, 12, 14. <https://doi.org/10.1186/s40517-024-00290-w>

IBARRA MENDOZA CV, S VARGAS PAYERA, DA MORATA CÉSPEDES. 2022. Geotermia en Chile: un siglo de historia para un desarrollo sustentable. 231 p.

KAGEL A. 2008. The State of Geothermal Technology - Part II: Surface Technology. Geothermal Energy Association.

LUND J, A TOTH. 2021. Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review. *Geothermics*, 90, 101915. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101915>

PERALTA ARNOLD Y, J CABASSI, F TASSI, PJ CAFFE, O VASELLI. 2017. Fluid geochemistry of a deep-seated geothermal resource in the Puna plateau (Jujuy Province, Argentina). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 338: 121-134.

SALAZAR-PEREYRA M, A MORA-ORTEGA, AE BONILLA-BLANCAS, R LUGO-LEYTE, HD LUGO-MÉNDEZ. 2017. Análisis paramétrico de las centrales geotermoeléctricas: Vapor seco, cámara flash y ciclos híbridos. *Dyna*, 84(203): 273-282.

VIRAMONTE JG, E BUSTOS, A CHIODI, R FILIPOVICH, C PERALTA. 2024. Geotermalismo en el Noroeste Argentino. [Temas de Biología y Geología del NOA, 14 \(2\): 20-31.](#)