

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

ISSN 1853-6700

BITÁCORA

CADEG 2024

ARTÍCULOS

Antropoceno

Energía Geotérmica

Frontera Agropecuaria en el NOA

TESIS IBIgeo 2024

Neotectónica de la cuenca de Metán y Sierra de la Candelaria

Modelado de flujos densos en la cuenca del río Tartagal



TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 14, Número 3 Diciembre 2024

ISSN 1853-6700

Comité Editorial

Silvana Geuna. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Carolina Montero. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Soledad Valdecantos. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.
Natalia Zimicz. IBIGEO, CCT SALTA - JUJUY.

EDITORIAL

Pág. 1 - Editorial

BITÁCORA

Pág. 3 - El Congreso Argentino de Estudiantes de Geología. Salta, Argentina
MA Gómez Coronel

ARTÍCULOS

Pág. 9 - Antropoceno: resistencia de una palabra negada
N Zimicz, N Gil, B Scigalszky
Pág. 22 - Usos de la Energía Geotérmica
JG Viramonte, A Chiodi, R Filipovich, E Bustos, C Peralta
Pág. 31 - La expansión de la Frontera Agropecuaria en el Noroeste Argentino
M De Simone

TESIS IBIGEO 2024

Pág. 41 - Neotectónica en el antepaís fragmentado de los Andes del Noroeste de Argentina, Cuenca de Metán y Sierra de la Candelaria
RG Aranda Viana
Pág. 43 - Análisis y modelado probabilístico del riesgo por corrientes densas, con TITAN-DOS-FASES, en la cuenca del río Tartagal, Salta. Argentina
BB Alfaro Ortega

Foto de tapa: Quebrada de las Flechas, valles Calchaquíes, Salta. Congreso de Estudiantes de Geología 2024. C Escalante, R Granillo.

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina

Es una Unidad Ejecutora de doble pertenencia CONICET-Universidad Nacional de Salta.

El *IBIGEO* tiene entre sus objetivos principales: 1) planificar y ejecutar investigaciones en diversos temas relacionados con los recursos naturales de la región; 2) promover la difusión de los resultados de las investigaciones en el ámbito científico; 3) participar en la formación de recursos humanos universitarios de grado y postgrado; 4) colaborar en la organización de conferencias, reuniones y cursos; 5) asesorar en ámbitos públicos y/o privados para la planificación y/o resolución de problemas; y 6) estimular el interés del público por las ciencias y difundir el conocimiento generado por el estudio de temas específicos de la región.

Editorial

Estimados lectores,

Nuestra revista es el medio elegido por el Instituto de Bio y Geociencias del NOA para comunicar lo que hacemos a la sociedad. Desde hace muchos años procuramos desde este espacio difundir el conocimiento científico, partiendo de la base de que la curiosidad por el saber es una característica propia del ser humano y que es esa curiosidad la que lo ha llevado, por vía de la investigación en ciencia y en tecnología, a gozar de estándares de vida muy diferentes a los del primer *Homo sapiens*. Si bien el principal motor de la investigación científica no es otro que esa curiosidad, también es cierto que produce beneficios a corto o a largo plazo; por eso las sociedades avanzadas deciden sostener la investigación, dado que, a la larga, deviene en progreso y bienestar, por una vía o por otra.

En este número de la Revista Temas BGNOA se conjugan varias contribuciones que no se agotan en la simple difusión para satisfacer nuestras curiosidades, sino que además plantean argumentos derivados del conocimiento y con posibilidad de incidir en las políticas públicas, respondiendo de algún modo a lo que la sociedad nos demanda. En el primer artículo, Natalia Zimicz acompañada por profesionales de la Facultad de Humanidades analiza un tema que está actualmente en el tapete en el ámbito de las Ciencias Geológicas: la entidad de una nueva época en la división del tiempo geológico, el Antropoceno, vale decir la época más reciente –hasta la actualidad- caracterizada por el impacto de la actividad humana en el registro geológico. Aceptar (o ignorar) a este “Antropoceno” implica reconocer el impacto de nuestra especie en la Tierra y es parte de un debate más amplio que involucra al cambio climático y las acciones que pueden tomarse a nivel gubernamental para mitigar sus efectos. Natalia y su equipo se suben a este debate y plantean claramente su particular visión.

En el segundo artículo, José Viramonte y el grupo de Investigación en Volcanología, Geotermia y Yacimientos minerales de IBIGEO profundizan sobre los usos de la energía geotérmica. En este artículo y en el publicado en el número anterior (“Geotermalismo en el Noroeste Argentino”, ver [Temas BGNOA, vol. 14, nº2](#)) los autores nos muestran hasta dónde llega el conocimiento geológico de los sistemas geotermales del NOA y en qué medida su explotación podría colaborar con el desarrollo económico de la región, dejando clara la importancia que tendría la implementación de políticas de estado que promuevan el uso de la energía geotérmica somera.

En el tercer artículo, Mario De Simone, quien fuera hasta hace poco Director del Centro Regional Salta-Jujuy del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), describe la historia, ocurrida en las últimas décadas, de apertura de la región del NOA al cultivo de porotos primero y de soja después, haciendo énfasis en los motivos, inherentes a la fragilidad de nuestro ambiente, por los cuales una etapa inicial de alta rentabilidad es seguida invariablemente por una crisis profunda causada por el empobrecimiento de los suelos y la aparición de plagas. Desde su visión de profundo conocedor de la problemática, Mario recalca que, para salir de este modelo de profundas crisis cíclicas, es fundamental la participación estatal para articular políticas territoriales, involucrando a todos los actores sociales y económicos que ocupan este espacio geográfico.

Por último, nos enorgullece contar en este número con el testimonio de nuestros jóvenes colegas. Por un lado, María Agostina Gómez Coronel, estudiante de Geología en la UNSa y presidente del Comité Organizador del Congreso Argentino de Estudiantes de Geología, realizado en San Carlos el pasado mes de octubre, presenta una bitácora relatando pormenores del evento, que contó con la presencia de varios de nuestros investigadores IBIGEO como expositores y docentes. Por otra parte, reaparece la sección de Tesis Doctorales, con la defensa de dos nuevas tesis llevadas adelante en IBIGEO: la de Blanca Alfaro Ortega (en Ciencias Geológicas, Universidad Nacional de Salta) y la de Germán Aranda Viana (en Riesgos Naturales y Estudios Geológicos de Campo, Universidad de Potsdam-Universidad Nacional de Tucumán).

Agradecemos a los autores que comprometieron sus esfuerzos en este número, y les deseamos a todos una buena lectura.

Comité Editorial
Temas de Biología y Geología del NOA
Silvana Geuna
Carolina Montero
Soledad Valdecantos
Natalia Zimicz

El Congreso Argentino de Estudiantes de Geología (CADEG), Salta - 2024

María Agostina Gómez Coronel¹

¹Facultad de Ciencias Naturales, UNSa. e-mail: agostinagomez973@gmail.com

El Congreso Argentino de Estudiantes de Geología (CADEG) es un evento anual de carácter académico que se realiza en distintas regiones del país. Su objetivo principal es facilitar el intercambio intelectual entre profesionales del sector público y privado, profesores e investigadores con los estudiantes y futuros geólogos. A través de este congreso, se brinda una valiosa oportunidad de aprendizaje, permitiendo a los participantes ampliar sus conocimientos mediante charlas, cursos y talleres especializados.

Además, el congreso fomenta la interacción interdisciplinaria y la colaboración entre diversas ramas de la geología y disciplinas afines. Los asistentes también tienen la posibilidad de conocer la geología local a través de viajes de campo, guiados por profesionales destacados en el estudio de las zonas visitadas. Asimismo, se promueve la presentación y publicación de trabajos de investigación de los participantes, contribuyendo al enriquecimiento de la ciencia geológica.



Figura 1. *Merchandising* oficial del XIV CADEG

Antecedentes

A mediados de la década de 1980, se realizaron las primeras convocatorias de estudiantes de geología bajo el nombre de la “Reunión Argentina de Estudiantes de Geología” (RADEG), lo que

posteriormente, en 2006, dio origen al **Congreso Argentino de Estudiantes de Geología (CADEG)**. Desde su creación, el evento ha experimentado un crecimiento notable, consolidándose como un espacio clave tanto educativo como científico. La provincia de Salta ha tenido el honor de ser sede de este evento en dos ocasiones: en 2010 y 2016, siendo en esta última edición cuando se alcanzó la mayor participación, con 650 estudiantes.

XVI CADEG

Del 7 al 11 de octubre de 2024, Salta fue nuevamente sede de este destacado congreso, llevándose a cabo en ésta oportunidad en la ciudad de San Carlos, en los valles Calchaquíes. El congreso reunió a más de 400 estudiantes de geología provenientes de diversas provincias de Argentina. Además de los estudiantes de geología, participaron aquellos que cursan carreras afines, como Ingeniería en Perforaciones, Ingeniería Geodésica, Geofísica, y Tecnicatura Universitaria en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. También se contó con la participación especial de estudiantes de la carrera de Geología de la Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia, lo que enriqueció aún más el intercambio de experiencias y conocimientos entre los asistentes.

Este evento fue posible gracias al valioso apoyo de **25 sponsors y 15 auspiciantes**, quienes proporcionaron recursos y elementos esenciales para su organización. La colaboración de estas instituciones fue fundamental para el desarrollo exitoso de las actividades, permitiendo que el congreso se llevara a cabo de manera óptima, y ofreciendo a los estudiantes un espacio para la reflexión, el aprendizaje y el contacto con profesionales y expertos en Ciencias de la Tierra.

Actividades y Resultados del Congreso

Durante los cinco días de duración del congreso, se desarrolló un extenso cronograma de actividades académicas y prácticas con el objetivo de promover el intercambio de conocimientos y la reflexión crítica sobre los avances de la geología. El programa incluyó 18 disertaciones profesionales, en las que se abordaron diversos temas de vanguardia en el campo geológico, y 2 talleres que permitieron la participación activa de los asistentes.



Figura 2. Acto de apertura del CADEG 2024, en la localidad de San Carlos, Salta

Además, se presentaron 35 trabajos de investigación, defendidos por sus autores, los cuales abarcaban diversas áreas de la geología aplicada en diferentes partes del país.

Un aspecto destacable del evento fue la participación de 215 estudiantes en los viajes de campo organizados, dirigidos al Monumento Natural Angastaco, Quebrada de las Flechas, y la Reserva Quebrada de las Conchas. Estos recorridos ofrecieron a los estudiantes la oportunidad de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en sus aulas y, al mismo tiempo, de observar y analizar directamente las características geológicas de la región. Los estudiantes fueron acompañados por profesores de la Universidad Nacional de Salta, algunos de los cuales pertenecen a CONICET e IBIGEO, así también por becarios doctorales de CONICET, quienes guiaron las actividades y compartieron sus valiosas experiencias y conocimientos en el campo, brindando una perspectiva profesional y de investigación que enriqueció la experiencia.



Figura 3. Izquierda, salida de campo en la Reserva Quebrada de Las Conchas. Derecha, salida de campo en la Quebrada de Las Flechas

La Feria Geológica, otro de los ejes fundamentales del congreso, ofreció una plataforma abierta al público, invitando tanto a la comunidad local como a los visitantes de otras regiones a acercarse y participar activamente. En esta feria, los estudiantes presentaron aspectos destacados de la geología de sus respectivas provincias, mediante stands interactivos que incluían juegos educativos, lentes de realidad virtual, rocas, moldes de fósiles, mapas, maquetas, libros, entre otras actividades. Este espacio no solo brindó una experiencia educativa y lúdica para el público, sino que también propició un contexto dinámico y participativo, donde la geología se presentó de una manera accesible y atractiva. Cada provincia contribuyó con su propio enfoque, lo que permitió una rica diversidad de perspectivas geológicas, fortaleciendo así el conocimiento colectivo sobre las particularidades geológicas de diferentes regiones del país.



Figura 4. Feria Geológica en la plaza principal de la ciudad de San Carlos, Salta. Izquierda, Dr. Pablo Pazos, presidente de la Asociación Geológica Argentina. Derecha arriba, muestras geológicas, abajo, observación con lupa de una muestra de roca

La presencia de instituciones como el **Instituto de Bio y Geociencias del NOA (IBIGEO)**, CONICET, la **Federación Argentina de Estudiantes de Geología (FAEG)**, el **Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR)** y la **Asociación Geológica Argentina**, con la participación de su presidente, Pablo Pazos, fue fundamental para el éxito del evento. Su participación no solo enriqueció el intercambio académico y científico entre estudiantes y profesionales, sino que también permitió un valioso contacto con la comunidad local. Esta interacción fue crucial para sensibilizar a la sociedad sobre el rol fundamental que desempeñan los investigadores y científicos en la sociedad, así como también se buscó promocionar la cultura científica.

Por otro lado, el congreso brindó una oportunidad única para visibilizar el trabajo de pequeños emprendedores locales, quienes participaron activamente en la feria, exponiendo sus productos y servicios.

Cabe destacar que, para optimizar la logística y organización del congreso, se desarrolló y utilizó una aplicación digital especialmente diseñada para este evento. Esta herramienta permitió gestionar de manera eficiente los aspectos logísticos, como ingresos, egresos, asistencia a charlas, talleres,

viajes de campo, almuerzos y cenas, entre otros. Además, facilitó la interacción entre los asistentes y los organizadores, mejorando la experiencia de todos los involucrados y garantizando que las actividades se llevaran a cabo de manera fluida y organizada.

Organización y Logística

La organización del congreso estuvo a cargo de un equipo de ocho estudiantes de la carrera de Geología, quienes trabajaron de manera incansable desde el año 2023 para asegurar el éxito del evento. Gracias a su arduo trabajo y dedicación, las expectativas del congreso no solo fueron alcanzadas, sino que incluso superaron las previsiones iniciales. Estos cinco días de congreso reflejaron el compromiso y la cooperación de todos los involucrados, haciendo de este evento una experiencia única para los estudiantes y profesionales participantes.



Comité Organizador:
Presidente: María Agostina Gómez Coronel
Vicepresidente: Ana Laura Montero
Tesorería: Emilce del Milagro Reyes
Hacienda: Francisco Miguel Peral
Articulación: Pablo Leonel Lobo
Extensión y Eventos: Fabiola María Fernanda Cruz
Inscripción y Acreditaciones: Facundo Javier Martínez Guiraldez
Editorial: Sofía Daniela Lamarca Basso

Figura 5. Comité Organizador CADEG 2024

El congreso no solo fue una plataforma de intercambio académico y científico, sino también un punto de encuentro para el diálogo entre la comunidad científica, los estudiantes, las instituciones y los actores locales, contribuyendo al fortalecimiento de la geología como disciplina clave en la comprensión y el desarrollo sostenible de nuestra sociedad. Es fundamental seguir apostando a este tipo de encuentros, ya que no solo tienen un valor académico trascendental, sino también una importancia cultural y social significativa. Estos eventos favorecen el intercambio de conocimientos y experiencias entre estudiantes y profesionales, enriqueciendo la formación académica y fomentando la creación de redes de colaboración a nivel nacional e internacional. Además, promueven la

integración de diversas disciplinas y sectores, creando espacios de reflexión y diálogo, mientras generan un impacto positivo en la comunidad local al involucrarla en la difusión del conocimiento científico y promover el trabajo conjunto entre diferentes actores sociales.



Figura 6. Mesa redonda con investigadores y becarios de CONICET

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas, instituciones y organizaciones que hicieron posible la realización del Congreso.

A nuestros patrocinadores, cuya generosidad y apoyo financiero fueron cruciales para el éxito del Congreso:

- Sponsor Oficial: Abra Silver Resource Corp.
- Sponsors Platinum: High Luck, Meridion del Plata, Tamar, Mining S.A., SR Socialmente Responsables, Select Lithium, Nevado Minerales, AMINCO - Andes Mining Consulting SRL, Conidro SRL, Mansfield Minería S.A., Minería Cielo Azul.
- Sponsors Silver: JB GEO, Geo Brand, TUAREG Geological Services, SRK, Soda Mónica.
- Sponsor Gold: Río Tinto.
- Sponsors Copper: WASI by WINTEK, HANAQ Group, Cámara de Minería de Salta, GEA Consultores en Recursos Hídricos, Castro Groups DS, First Quantum.

A nuestros auspiciantes: Municipalidad de San Carlos, Facultad de Ciencias Naturales de la UNSa, IBIGEO, CONICET, CAPROSEMITP, Secretaría de Minería y Energía de la Provincia de Salta, Asociación Argentina de Geólogos Economistas, Escuela de Geología, Instituto CEGA, WIM, Salta Ambiental S.R.L., Asociación Geológica Argentina, Asociación Paleontológica Argentina, SEGEMAR, Cámara de Minería de Salta, Asociación Argentina de Sedimentología, Fundación YPF, Red de Educadores en Ciencias de la Tierra, Cámara Argentina de Empresas Mineras.

Al Dr. Ricardo Alonso por su colaboración en la edición del libro de resúmenes.

Antropoceno: resistencia de una palabra negada

Natalia Zimicz¹, Natalia Gil² y Belén Scigalszky²

¹IBIGEO, UNSa - CONICET. e-mail: natalia.zimicz@gmail.com

²Cátedra de Antropología Filosófica, Facultad de Humanidades, UNSa. e-mail: mantodea777@gmail.com

El término Antropoceno, derivado del griego, conjuga las palabras *anthropos* (que significa hombre) y *kainos* (nuevo o reciente) para dar nombre al concepto de lapso de tiempo caracterizado por la presencia del humano en la Tierra. Si bien se trata de un neologismo reciente propuesto en el año 2000, en términos conceptuales se remonta, al menos en las ciencias occidentales, hasta el siglo XVII, a partir del cual ha tomado diversos nombres a lo largo de la historia de las Ciencias Naturales y ha estado ligado al devenir de las mismas. El mero hecho de nombrar un lapso de tiempo para resaltar la presencia de lo humano en la Tierra trae implícita la aceptación de una historia geológica previa y la existencia de formas de vida que habitaron la Tierra antes que el ser humano. En la actualidad parece una obviedad que nuestro planeta tiene 4600 millones de años de historia y que la especie humana ocupa una parte muy pequeña en la historia de la Tierra. Sin embargo, para los primeros naturalistas occidentales, la tarea no fue tan sencilla ya que las evidencias físicas se contraponían a las creencias dominantes que formaban parte de los sistemas de gobierno y cuyo desafío traía consecuencias graves que no todo el mundo estaba dispuesto a afrontar. En este sentido, se puede observar que en un principio el concepto intentaba de alguna manera diferenciar a la especie humana de los demás seres vivientes sin desafiar las Sagradas Escrituras. Así Buffon (1778), en su obra “Las épocas de la naturaleza” sintetiza el conocimiento natural del momento adaptándolo a los siete días del Génesis y denominando a su séptima época como “la Época del hombre”. Por lo tanto, el concepto al que se refiere Antropoceno, es un concepto político desde sus inicios y su devenir histórico refleja la evolución de las ciencias naturales y las sociedades occidentales desde el siglo XVII a esta parte. Es así que durante el siglo XIX el período de tiempo ocupado por los seres humanos fue designado alternativamente como Era Antropozoica, Era del Hombre, Reciente y Holoceno (Lewis y Maslin 2015). Este último término que significa “reciente” agrega al concepto de “época del hombre” los parámetros climáticos y delimita la época desde la última glaciación al presente. El mismo fue utilizado informalmente hasta que en el año 2009 fue incluido en la escala del Tiempo Geológico (Figura 1, Cuadro 1) como una Época del Período Cuaternario.

Pocos años antes, cuando Holoceno aún no estaba formalmente definido, el Nobel de Química Paul Crutzen, se dirigió a la audiencia de la Reunión Internacional del Programa Biósfera-Geósfera del año 2000 para solicitar se abandone el uso de la palabra Holoceno para referirse al tiempo que estamos viviendo y en su lugar propuso la palabra Antropoceno remitiendo al concepto original, para dimensionar el rol de las actividades humanas (industria, deforestación, contaminación por plásticos, químicos, radioisótopos, etc.) en el violento y vertiginoso cambio climático global que estamos asistiendo. La ciencia no es ajena a la política.

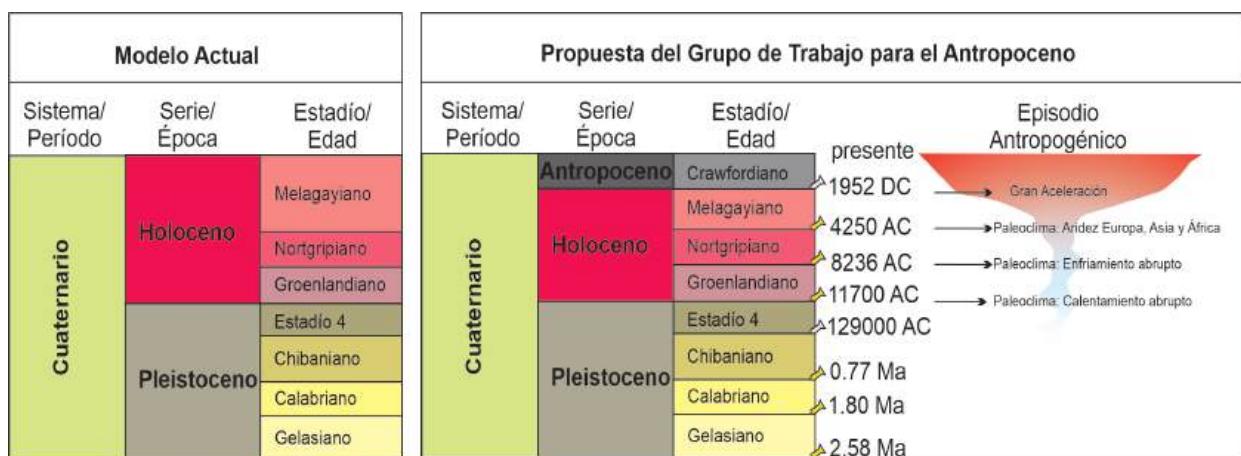
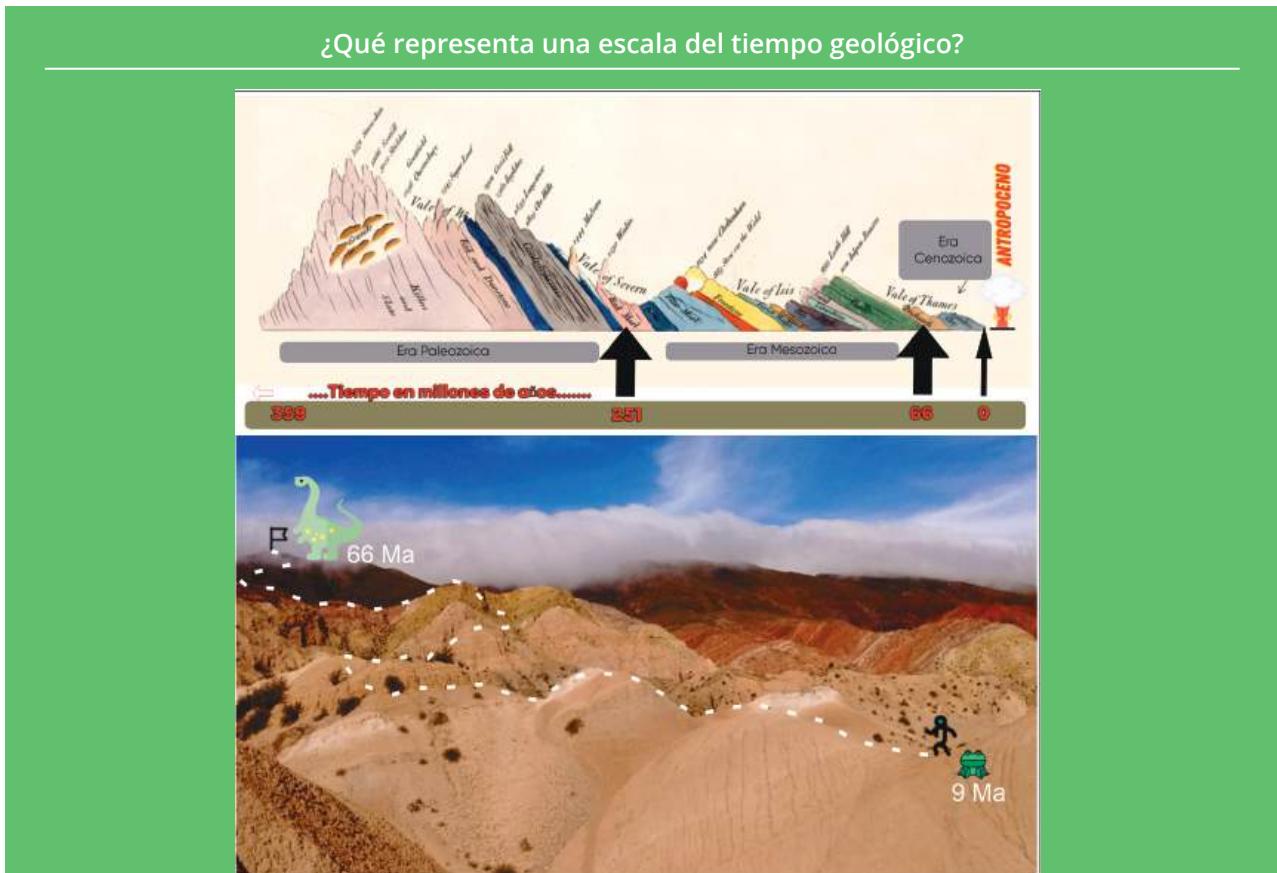


Figura 1. Modelo actual de la Escala del Tiempo Geológico para el Período Cuaternario (izquierda) y la propuesta de incorporación del Antropoceno (derecha) como la época que estamos transitando. Los clavos dorados o *Golden Spike* en inglés son un convención utilizada en estratigrafía para marcar el inicio de una edad. Consiste en clavar en los sedimentos que representan esa edad un clavo dorado que servirá como testigo físico de una edad geológica. El episodio antropogénico muestra de menor (blanco) a mayor (rojo) el impacto del humano sobre el sistema Tierra y los mayores cambios climáticos ocurridos a lo largo de ese lapso de tiempo

El término Holoceno fue definido formalmente 8 años más tarde de esa conferencia en los términos en que fuera creado 141 años antes (cuando la industrialización del mundo estaba en los albores) pero eliminando el componente humano de la definición. A partir de ese momento, el Holoceno ya no es más la época del humano sino que es el intervalo post-glacial en el que estamos viviendo. La solicitud de Crutzen promovió la conformación del Grupo de Trabajo para el Antropoceno (GTA, <http://quaternary.stratigraphy.org/working-groups/anthropocene>), un grupo de 33 científicos que desde entonces se dedicaron a buscar las evidencias empíricas del impacto de la actividad humana sobre el Sistema Tierra (sobre la Tierra como sistema ver más abajo). Luego de 14 años de trabajo y cientos de artículos científicos publicados el GTA presentó las pruebas requeridas junto a la solicitud formal de incorporación del Antropoceno como una nueva época del período Cuaternario que se extiende desde la década de 1950 a esta parte. A ese volumen de evidencia se suma la inmensa cantidad de artículos que independientemente del GTA han abordado el Antropoceno desde múltiples perspectivas científicas. La ciencia no es ajena a la política. El pasado 4 de marzo de 2024,

Cuadro 1: Tiempo Geológico



Siembargo, esa tabla con múltiples divisiones puede resultar difícil de comprender para quien no está familiarizado con la geología. En términos sencillos, la escala es una forma de representar los eventos ocurridos en la historia del Planeta Tierra, geológicos y biológicos, de forma ordenada en dos dimensiones, la cronológica (tiempo transcurrido desde el origen de la Tierra) y la estratigráfica (las rocas que se fueron acumulando a lo largo de ese tiempo). En la imagen de arriba está representada con modificaciones, la sección estratigráfica que acompañó a una de las primeras Escalas Geológicas de la historia de la ciencia, la de William "Strata" Smith. En ella se puede ver un corte a lo largo de una región serrana en Inglaterra donde se observan con distintos colores las rocas depositadas en esa región durante los últimos 359 millones de años. Ese período de tiempo abarca desde la Era Paleozoica hasta el Antropoceno y en cada capa de rocas existen fósiles que documentan cómo era la vida en cada momento. Esos fósiles le sirvieron a Strata Smith para darle una edad u ordenamiento relativo a las rocas en un momento donde no existían los métodos de datación absoluta que existen en la actualidad (ver [Ortiz 2021. Temas B&GNOA, vol. 11, nº3](#)). En la imagen de abajo, se ha representado a modo de ejemplo, una sección estratigráfica en los Valles Calchaquíes de Salta. La foto fue tomada en el Valle del Tonco, Parque Nacional Los Cardones y en la misma se pueden ver las capas de distintos colores que representan distintos tiempos en la historia de esa región. A modo figurativo se ha colocado un dibujo de una persona comenzando a recorrer el sendero punteado. Al inicio de ese recorrido, la persona se toparía con los restos fósiles del escuerzo *Ceratophrys* descubierto por investigadores del IBIGEO, el cual vivió hace 8 millones de años en el Valle del Tonco. Al finalizar plantaría bandera en las rocas que conservan las huellas y huesos de grandes dinosaurios que habitaron la zona hacia finales del Cretácico, como *Guemesia*, también un hallazgo de IBIGEO. En total la persona habrá recorrido 58 millones de años de historia en el Parque Nacional Los Cardones.

12 de los 22 científicos que conforman la Subcomisión de Estratigrafía del Cuaternario, parte de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas, votaron por rechazar la propuesta del GTA argumentando que el Antropoceno es un término relativo que no se puede precisar en tiempo y espacio ni es mensurable, desestimando de ese modo la evidencia empírica de cientos de estudios revisados por pares de manera independiente (Barnosky y Hannibal 2024). Otra vez el Antropoceno se enfrenta al devenir histórico, otra vez le toca resistir. Esta vez aceptar el término Antropoceno implica reconocer que las causas de la Gran Aceleración en el proceso de Cambio Global están relacionadas con una forma de civilización insostenible, reconocer que el modelo capitalista de hiperconsumo ha llevado al Sistema Tierra a un umbral nunca antes experimentado por el mismo en su larga historia de 4600 millones de años y cuyos resultados son impredecibles.

Este artículo pretende ofrecer una breve síntesis de las evidencias que soportan la propuesta para una definición formal del Antropoceno y poner de relieve la profunda discusión detrás del debate semántico. El artículo ofrece una mirada multidisciplinaria desde el sur del mundo que tiene mucho que contar en cuanto a resistencias y formas de vida diversas que ofrecen alternativas a la crisis civilizatoria en la que nos encontramos.

Las evidencias del GTA

La Ciencia es método. Toda hipótesis científica necesita ser sometida a una metodología lógica que permita corroborarla o refutarla, y esa práctica debe ser repetible para que cualquier persona que quiera comprobarla por sí misma pueda hacerlo. Esto es común a todas las disciplinas científicas y es la forma en la que se genera conocimiento científico. El GTA se fundó en el año 2009 para determinar si el lapso de tiempo que estamos viviendo merecía ser considerado una nueva época en la escala del Tiempo Geológico en la cual las actividades humanas, especialmente aquellas de la era industrial, son un factor de modificación a escala planetaria. Para ello era necesario obtener evidencias físicas que demostrarían que: 1- el Antropoceno tiene realidad geológica, es decir que se puede observar un cambio en los depósitos sedimentarios con respecto al Holoceno; 2- el Antropoceno puede delimitarse en el tiempo y en el espacio, es decir que tiene un comienzo bien definido en el tiempo y que se lo puede observar en diversas partes del planeta y 3- el Antropoceno constituye un cambio tan radical en el Sistema Tierra que marca un curso irreversible en la historia de la Tierra con respecto al Holoceno. El GTA adjuntó a su propuesta de definición del Antropoceno un informe técnico (<https://eartharxiv.org/repository/view/6853/>) con más de 100 fuentes de evidencias que demuestran que el Antropoceno puede reconocerse globalmente en los sedimentos a partir de la década de 1950. Fueron propuestos 12 sitios geográficos que registran anualmente los cambios en la composición

química y biológica de los sedimentos, pero uno de ellos, el lago Crawford en Canadá (Figura 2a), fue elegido para colocar el clavo dorado porque es el que mejor refleja la transición entre el Holoceno y el Antropoceno.

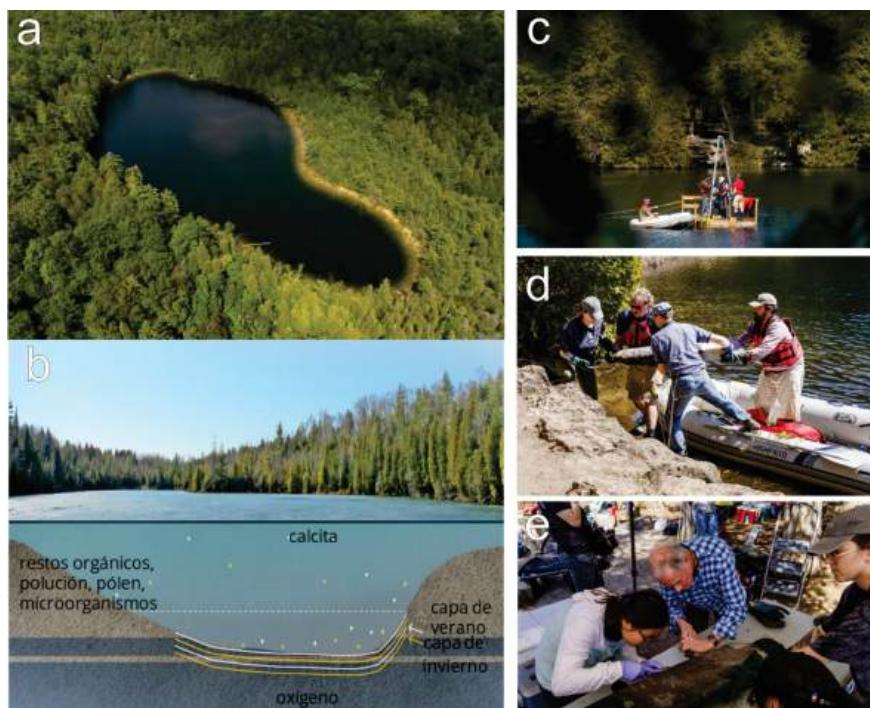


Figura 2. A. Fotografía aérea del lago Crawford en Canadá. B. Esquema mostrando la estratificación de las aguas superficiales, por encima de la línea punteada, y profundas por debajo. Puede observarse cómo las partículas en suspensión se depositan en capas de verano e invierno construyendo un registro temporal de la dinámica ambiental. C. Plataforma de perforación. D. traslado del testigo sedimentario a tierra y E. personal científico inspeccionando el testigo sedimentario extraído.

Este es un pequeño lago ubicado dentro de un área protegida y es meromíctico, es decir que sus capas de agua (superficiales y profundas) no se mezclan (Figura 2b), lo que permite datar los sedimentos con precisión de manera similar a los anillos de crecimiento de los árboles. Cada año queda registrado en los sedimentos del lago con una capa de verano (clara) y una de invierno (oscura) en la que se depositan las partículas en suspensión (minerales, polen, partículas de polución etc.) de manera que los testigos (porciones de sedimentos tomadas con instrumentos parecidos a grandes sacabocados) registran año tras año la evolución geoquímica y biológica del lago durante los últimos 1000 años (Figura 2d-e). En estos testigos los miembros del GTA midieron capa tras capa la proporción de “marcadores” estratigráficos que revelaron perturbaciones en los ciclos geoquímicos naturales (carbono, nitrógeno, fósforo), la aparición repentina de partículas de origen antropogénico (partículas artificialmente fabricadas por la especie humana como las resultantes de la quema de combustibles fósiles, microplásticos, concreto, cemento etc.) y muy especialmente la acumulación de capas con alto contenido de plutonio, cesio, estroncio y otros elementos radioactivos que resultaron de las detonaciones de las bombas de Hiroshima y Nagasaki, de las pruebas atmosféricas y subterráneas de armas atómicas, la proliferación de centrales energéticas nucleares como así también los accidentes en algunas de ellas como los casos de Chernobyl y Fukushima (Figura 3). Este procedimiento se

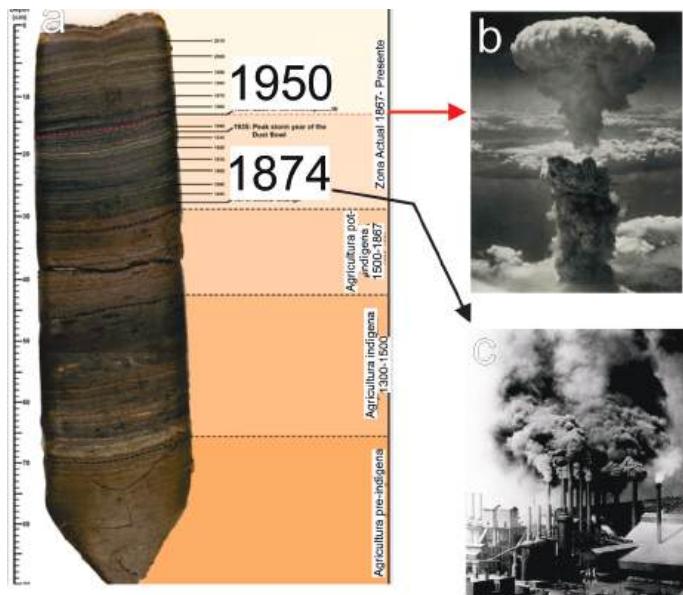


Figura 3. A. Testigo sedimentario del lago Crawford. Se puede observar el cambio general en la coloración de los sedimentos a partir del año 1874 debido al hollín depositado como producto de la expansión de la industria. La línea punteada roja señala la ubicación de la capa con isótopos radioactivos. B. "Hongo nuclear" producido sobre Hiroshima minutos después de la detonación de la bomba. C. Industria en los suburbios de Londres (Inglaterra).

Figura 3. A. Testigo sedimentario del lago Crawford. Se puede observar el cambio general en la coloración de los sedimentos a partir del año 1874 debido al hollín depositado como producto de la expansión de la industria. La línea punteada roja señala la ubicación de la capa con isótopos radioactivos. B. "Hongo nuclear" producido sobre Hiroshima minutos después de la detonación de la bomba. C. Industria en los suburbios de Londres (Inglaterra).

repitió en 12 sitios alrededor del mundo con resultados similares que indican que el año 1952 marca un antes y un después en la historia geológica de la Tierra, por lo cual fue propuesto como el año de inicio para el Antropoceno.

Esta nueva época, se diferencia desde el punto de vista geológico de su predecesor el Holoceno, por la aparición desde el año 1950 a esta parte de más de 500 gigatoneladas de "rocas" artificiales formadas de concreto y la incorporación de polímeros sintéticos e incluso basura tecnológica en los ambientes sedimentarios. El Antropoceno se caracteriza también por la modificación en los patrones naturales de erosión y deposición como

resultado de la extracción masiva de minerales y la degradación de bosques nativos para agricultura y ganadería extensiva que ha producido un incremento en el flujo de sedimentos de más del 2000% desde el año 1950. La masa antropogénica compuesta de plásticos, concreto, cemento, vidrios, metales y asfalto entre otros ha superado en 200 gigatoneladas a la biomasa global del planeta durante el año 2020 (Elhacham et al. 2020) (Figura 4). Esta masa antropogénica será en el futuro incorporada al registro sedimentario de manera que ya no es posible una vuelta a las condiciones del Holoceno, el planeta ha cambiado irreversiblemente y el registro sedimentario es el testigo silencioso de ese cambio. Antropoceno, la palabra negada, le da un nombre a esta etapa de cambio global y señala responsabilidades también. La negativa de la Comisión Internacional de Estratigrafía a darle entidad formal al Antropoceno haciendo a un lado el enorme volumen de pruebas científicas presentado por el GTA es una declaratoria política, es la negación de la crisis planetaria a la que estamos asistiendo.

La Gran Aceleración

La palabra Antropoceno no representa un capricho de un grupo de científicos apasionados por las Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera, es la respuesta a la necesidad de ponerle nombre a una crisis de escala global que ya se avizoraba en la década de 1990 cuando se creó el Programa Internacional



Figura 4. Biomasa global vs. masa antropogénica en gigatoneladas

Geosfera-Biosfera (<http://www.igbp.net/>). Este programa tenía como objetivo el entendimiento de la Tierra como Sistema (Sistema Tierra) y se ocupó de monitorear durante muchos años los índices que describen el funcionamiento del sistema en paralelo a los índices que describen las actividades humanas. La síntesis de ese trabajo es un gráfico que se conoce como Gran Aceleración (Figura 5). Ese gráfico muestra la evolución de 12 indicadores socio-económicos (crecimiento de la población mundial, uso del agua, uso del transporte, consumo de fertilizantes, producción de papel, uso de la energía primaria, etc.) y 12 indicadores de la estructura y funcionamiento del Sistema Tierra (composición atmosférica, ozono estratosférico, sistemas climáticos, ciclos del agua y del nitrógeno, ecosistemas marinos, terrestres, bosques tropicales, degradación de la biosfera etc.). La gráfica resultante es abrumadora, mostrando claramente el impacto negativo de la actividad humana sobre los indicadores del Sistema Tierra a partir del año 1950. Esta Gran Aceleración que se ve plasmada en los depósitos sedimentarios otorgando realidad geológica al Antropoceno, es el resultado de un capitalismo despiadado explícito en los índices socio-económicos que lo describen. Sin embargo, como lo discuten Steffen et al. (2015), la humanidad no es un todo homogéneo y la gráfica original no permite observar la profunda inequidad que hay detrás de esta Gran Aceleración. Una actualización de dicha gráfica en la que los índices socio-económicos se desglosan de acuerdo a la pertenencia de los países a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), al BRICS (economías emergentes de Brasil, Rusia, China y Sudáfrica) o al resto del mundo, muestra cómo las

grandes economías del mundo (OCDE y BRICS) son las principales beneficiarias de la Gran Aceleración y cómo los costos, en términos de impacto sobre el Sistema Tierra, son mayormente absorbidos por los países más pobres (resto del mundo). Por ejemplo, América del Sur como región, exceptuando a Chile y Uruguay, ha perdido en los últimos 30 años entre el 5 y el 37% de sus bosques nativos (-13% en promedio para la región) para dar lugar al uso de la tierra para agricultura y ganadería extensiva. Sin embargo, los principales compradores de esos productos primarios han incrementado la superficie de sus tierras cubiertas por bosques (ej. China, Estados Unidos) (<https://www.visualcapitalist.com/mapped-30-years-of-deforestation-and-forest-growth-by-country/>). Esto recuerda al intento de establecimiento del Basurero Nuclear en Gaster (Chubut) que afortunadamente no se concretó debido al fortísimo rechazo popular sostenido a lo largo de 25 años. Es decir, las grandes economías responsables de la Gran Aceleración se reservan para sí las riquezas pero socializan la devastación expulsando los desechos y la degradación ambiental fuera de sus territorios.

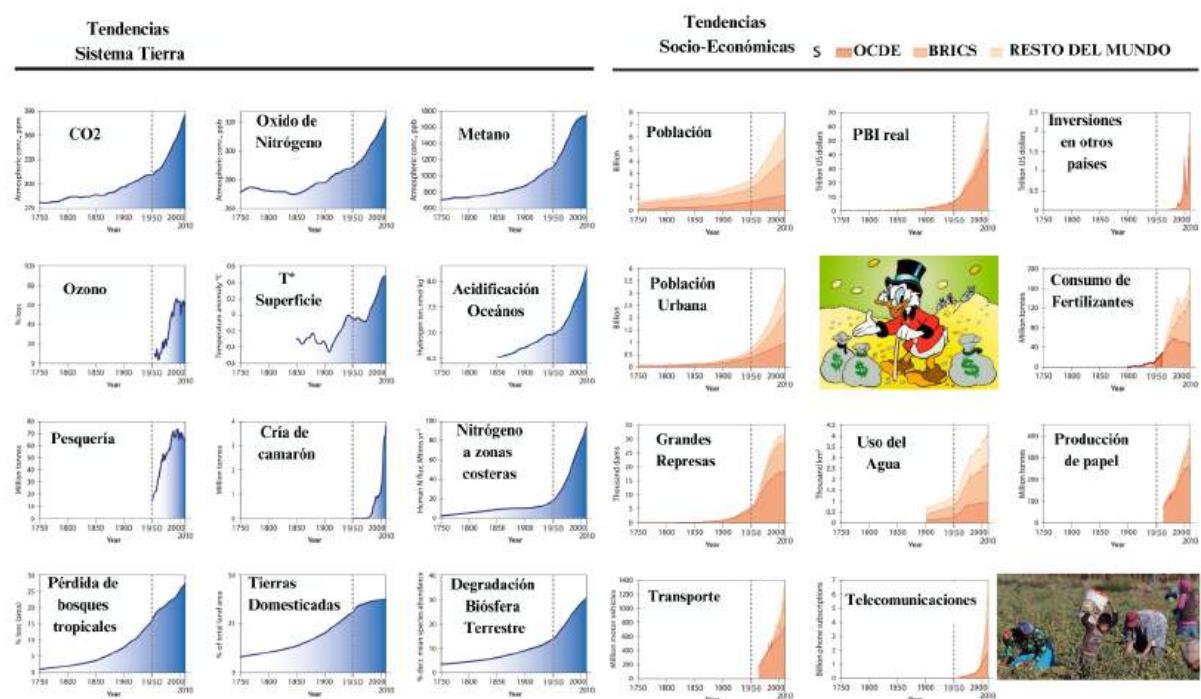


Figura 5. Gráficos de la Gran Aceleración a partir de 1950

La sexta Gran Extinción

La especie humana, representa el 0,01% de la biomasa global y es la única especie en la historia de la vida sobre la Tierra que ha alterado el sistema con tanta profundidad que ha comprometido a la totalidad de las formas de vida en nuestro planeta. Más allá de la formalidad del término Antropoceno, un hecho irrefutable es la pérdida de biodiversidad por causas antropogénicas que está podando el

árbol de la vida a tasas que se aproximan a las de las grandes extinciones masivas. La pregunta que se hacen los estudiosos del Antropoceno es en cuántos años alcanzaremos la magnitud de estos grandes eventos masivos. La respuesta es alarmante. Si consideramos las especies en riesgo que conforman la Lista Roja de Especies Amenazadas (<https://www.iucnredlist.org/>) en el término de 240 a 540 años habremos equiparado en magnitud de pérdida de especies a las 5 grandes extinciones masivas (Barnosky et al. 2017) lo que arroja tasas de extinciones actuales muy superiores en términos de tiempo geológico. Una característica común a las 5 grandes extinciones es la sinergia entre eventos inusuales que estresan el sistema, especialmente aquellos que afectan la dinámica climática, la composición atmosférica y las redes ecológicas (Barnosky et al. 2017). El Antropoceno tiene precisamente esta característica como lo demuestran los índices del Sistema Tierra en la gráfica de Gran Aceleración. La adopción del modo de producción Capitalista para sostener el hiperconsumo de una fracción minoritaria de la población mundial, deteriora el complejo equilibrio dinámico del Sistema Tierra, llevando al Planeta a un umbral crítico en el que su capacidad homeostática (capacidad de mantener el equilibrio mediante la compensación de los cambios) se ve fuertemente debilitada y las consecuencias para la vida son impredecibles. Un modelo de producción que es además injusto desde sus bases porque distribuye dividendos entre los países más ricos del planeta (OCDE y BRICS) al tiempo que pauperiza las condiciones de vida del resto de los países que sufren las consecuencias ambientales del extractivismo, la degradación de la tierra, la tala indiscriminada de bosques, la falta de soberanía alimentaria, y la contaminación o directamente la falta de acceso al agua, un bien elemental para la vida.

¿Antropoceno?: perspectivas desde el Sur global

La discusión en torno al Antropoceno, asentada sobre la abrumadora cantidad de pruebas científicas, es, a todas luces, política. Es en este punto donde la problemática deviene necesariamente inter-transdisciplinaria ampliándose al ámbito de las ciencias sociales y humanas. La evidente debacle socio-medioambiental pone en cuestión no sólo el modo de producción a través del cual se diseñan las coordenadas económicas, sino también el modo en que éstas se implican en la reproducción y acrecentamiento de la desigualdad social y, también, la manera en que hacemos experiencia del mundo: cómo lo concebimos y el lugar que en él ocupamos como especie. El debate semántico permite vislumbrar con claridad esta cuestión.

El término *Capitaloceno* es dado a conocer por Moore (2016) y se plantea a partir de la necesidad de delimitar más ajustadamente en términos históricos, geográficos y políticos el fenómeno. Aquí se produce el renombrado cruce de escalas: el espacio/tiempo de las ciencias del Sistema Tierra

(ciencias naturales y de la tierra), es interceptado por el espacio/tiempo de las ciencias del Sistema Mundo (ciencias sociales y humanidades). Para Moore es importante dejar claro que el *anthropos*, “la humanidad como un todo indiferenciado”, no explica la emergencia del complejo presente que transitamos con sus desigualdades y violencias *intraespecie*, y, que por lo tanto, el término Antropoceno resulta inadecuado, por abstracto e inespecífico. El origen histórico político del problema debe ser buscado en la trama de “relaciones de poder, capital y naturaleza” que dieron lugar a los modos de extracción y producción que vienen desbastando la vida en el planeta. El inicio de la Edad Moderna (año 1492 d.C.), con la conformación del sistema capitalista (a base de conquista y mercantilización), será la datación propuesta por Moore.

El problema de la periodización es un problema político. Mientras Crutzen y Stoermer (2000) proponen datar el inicio del Antropoceno en coincidencia con la Revolución Industrial y el consecuente aumento de CO₂ en la atmósfera, y Moore (2016) al inicio del modo de producción que posibilitó (colonización y expropiación mediante) el proceso de industrialización, Lewis y Maslin (2015) proponen posicionar el “clavo dorado” justamente en la encrucijada que vincula ambas posturas. Ellos encuentran la marca estratigráfica en las capas de hielo de la Antártida Occidental que alrededor del año 1610 evidencian un claro descenso de las concentraciones de CO₂. Tal fecha coincide con la abrupta disminución de la población originaria del continente americano. Paradójicamente, entonces, la huella antropogénica es datable por primera vez como consecuencia de una mortífera ausencia que resitúa el problema en las coordenadas de nuestro territorio. *Orbis* (mundo en latín) es el término que postulan para nominar este punto de impacto producido por la cosmovisión eurocéntrica en nuestras latitudes. La muerte y el despojo signan, en este análisis, el inicio de la “nueva edad”. El cruce entre colonialidad y capitalismo queda establecido, siendo esto de enorme importancia para situar la disputa en torno al término desde el Sur Global.

Plantacioceno es otro de los nombres postulados. En este caso, la propuesta apunta a salir del esquema antropocéntrico para, por fin, comprender que el Sistema Mundo y el Sistema Tierra resultan indissociables y que, si bien la agencia humana ha sido central en la instalación del umbral crítico en el que vivimos, ésta nunca “actúa” sola, ni determina unidireccionalmente los efectos desencadenados. Se trata más bien de una “inter-intra/acción”, de una correlación multidireccional de fuerzas y seres que debe ser comprendida y experimentada para salir de los atolladeros en los que el esquema antropocéntrico nos ha metido. La noción de Plantacioceno surge en 2014 producto de una conversación entre personas vinculadas a la problemática ambiental en la Universidad de Aarhus. Allí se postula, que el sistema de siembra basado en el trabajo esclavo de las colonias, sirvió como condición de posibilidad para el desarrollo del trabajo industrial marcado como punto de

inflexión en la emisión de CO₂ y en el desencadenamiento de desequilibrios en el Sistema Tierra. Además los drásticos cambios bióticos y abióticos producidos en torno a las plantaciones (o “jardines esclavos” como los llamará Haraway) generará reformulaciones, cercenamientos y desarraigos múltiples en las complejas tramas bióticas y abióticas que cambiarán definitivamente el paisaje. Desde este enfoque se refuerza la necesaria lectura decolonial que debemos hacer del fenómeno situándonos desde el Sur.

La discusión en torno a nombres y dataciones es larga y continúa: Tecnoceno, Ecoceno, Chtchuluceno, etc, etc. La proliferación de temas y problemas que se esbozan a partir de las diversas propuestas terminológicas no alcanzan, ni alcanzarán, a delimitar el umbral crítico que transitamos. Sin embargo, desde una perspectiva afirmativa y creativa, sí podemos “seguir con el problema” (Haraway, 2019), aventurando “respons-habilidades” situadas, quizá pequeñas y locales, que procuren retramar interconexiones vitales para este planeta en emergencia. Los saberes y prácticas de nuestros territorios, las resistencias de nuestras comunidades, esbozan formas de múltiples habilidades y respuestas que deben ser atendidas, escuchadas, aprendidas y reforzadas “con” la construcción de saberes y prácticas científico-académicas, activistas, artísticas. El diagnóstico hoy recrudece dado el nuevo avance de políticas estatales que refuerzan el extractivismo, el monocultivo y la precarización de las vidas humanas y no humanas. El desafío se acrecienta y se hace urgente.

Dado que este artículo pretende aportar información pero no promover el desaliento, dejamos planteada la siguiente reflexión: “Ayni”, reciprocidad en lengua Quechua, es un término ancestral y elemental a la cosmovisión de los pueblos andinos pero es también una práctica multicultural contemporánea de grupos sociales diversos (Figura 6). Damos y recibimos, respetando los equilibrios naturales, sabiendo parte de este Sistema Tierra integrado, micelar, donde todo está ligado e interconectado. Si dañamos a la Pacha ese daño nos vuelve indefectiblemente en formas a veces insospechadas y que no estamos en condiciones de afrontar. Los antiguos pueblos andinos practicaban el ayni en su diario vivir, era una forma de cuidado mutuo, de vida en comunidad donde el respeto profundo por la Pacha Mama guiaba las acciones de las gentes. Aún hoy esas prácticas ancestrales permanecen en las profundidades del territorio y están emergiendo en múltiples formas de resistencia a una debacle ambiental, ética y espiritual sin precedentes. “Ayni” nos da un método para guiar nuestro accionar como individuos con el fin de promover un cambio cultural colectivo en el que la reciprocidad guíe las acciones del conjunto.



Figura 6. Cruz andina con el símbolo del Ayni en el centro y múltiples formas de practicar la reciprocidad en nuestra vida diaria.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo fue financiado por el proyecto de investigación multi y transdisciplinario SUR-GENCIAS (CIUNS038/2023-25).

REFERENCIAS

BARNOSKY A, H HANNIBAL. 2024. Despite Official Vote, the Evidence of the Anthropocene Is Clear. Yale Environment, <https://e360.yale.edu/features/anthropocene-denied>

BARNOSKY A, N MATZKE, S TOMIYA, GOU WOGAN, B SWARTZ, TB QUENTAL, C MARSHALL, JL MCGUIRE, EL LINDSEY, KC MAGUIRE, B MERSEY, EA FERRER. 2011. Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, 471, 51–57.

BUFFON GLL. 1778. *The epochs of nature*. Imprimerie Royale de París. 546 pp.

CRUTZEN P, E STOERMER. 2000. The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 17-18.

ELHACHAM E, L BEN-URI, J GROZOVSKI, YM BAR-ON, R MILO. 2020. Global human-made mass exceeds all living biomass. *Nature*, 588, 442–444.

HARAWAY D. 2019. Pensamiento tentacular. *Antropoceno, Plantacioceno, Chthuluceno*. pp 59–98. En Seguir con el problema. Generar parentesco en el Chthuluceno. Consoni.

LEWIS SL, MA MASLIN. 2015. Defining the Anthropocene. *Nature*, 519, 171–179.

MOORE J. 2016. Anthropocene or Capitalocene? *Nature, History and the Crisis of Capitalism*, Kairos, Oakland. 215 pp.

ORTIZ A. 2021. Circón: un pequeño gran mineral. [Temas de Biología y Geología del NOA, 11 \(3\): 11-20.](#)

STEFFEN W, W BROADGATE, L DEUTSCH, O GAFFNEY, C LUDWIG. 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 81-98.

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 geotermales 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).

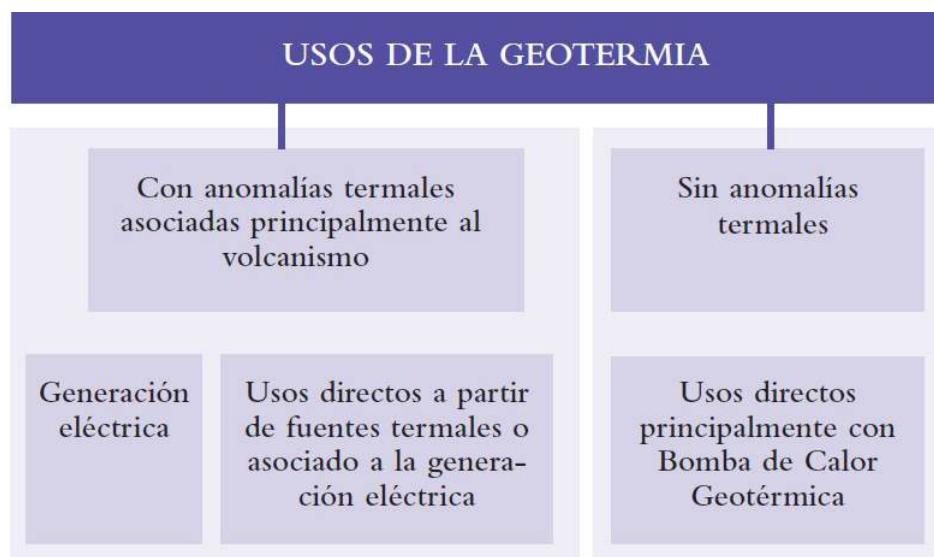


Figura 1. Usos de la energía geotérmica (Ibarra et al. 2022)

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*.

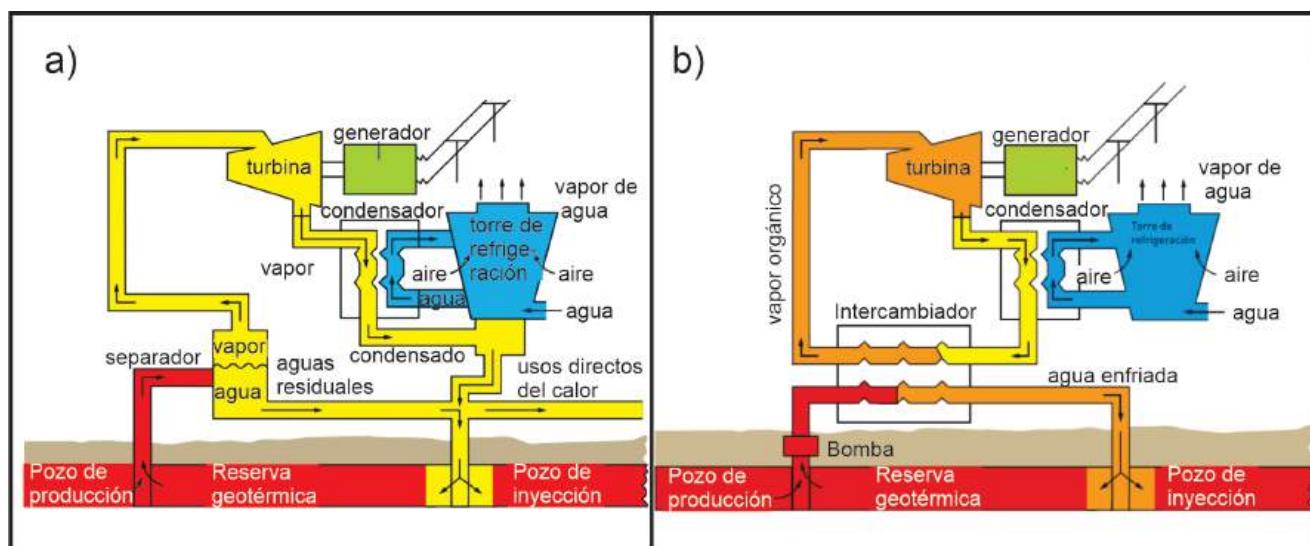


Figura 2. Diagrama de una central geotérmica de tipo a) *Flash*, b) Ciclo binario (Kagel 2008)

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).

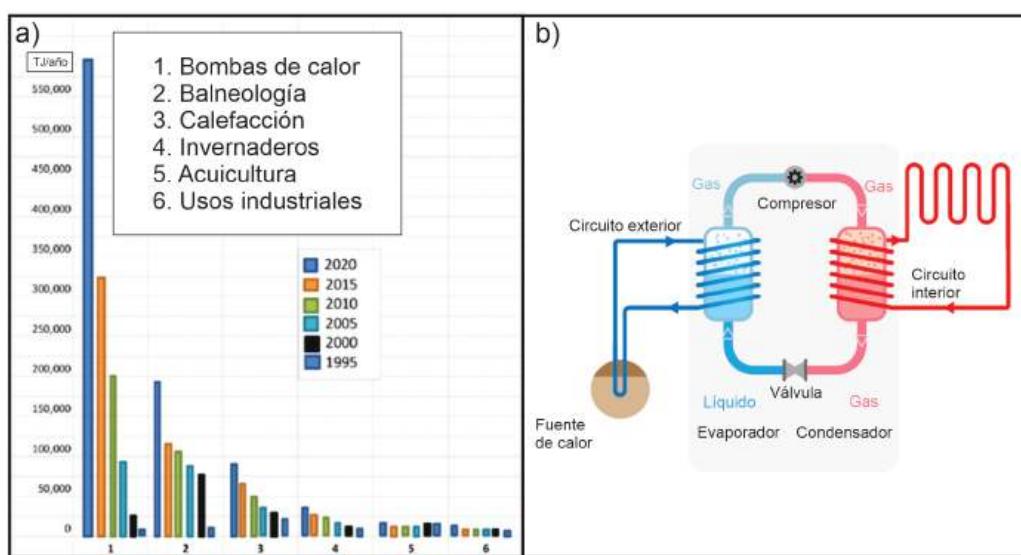


Figura 3. a) Comparación del uso directo a nivel mundial de la energía geotérmica (en TJ/año)* desde 1995, 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 (Lund y Toth 2021), b) Esquema de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica (Ibarra et al. 2022).
*Unidades de medida de energía, TJ: Tera-julio, GWh: Gigavatio-hora. 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 geotermales 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 geotermales 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 geotermales con fines de generación de energía geotermo-eléctrica, porque es donde esperaríamos encontrar las mayores temperaturas en los reservorios geotermales. Allí encontramos sistemas geotermales 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 geotermales del Cerro Blanco y Cerro Galán (Chiodi et al. 2019, 2024; Figura 5)

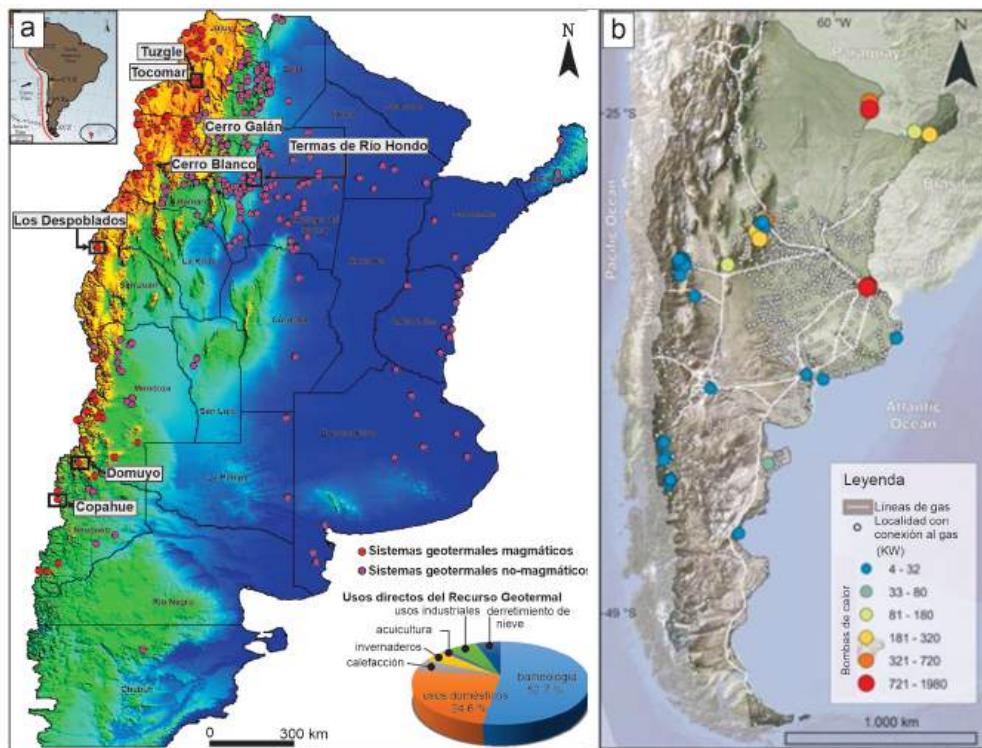


Figura 4: a) Mapa de la Argentina mostrando la distribución de las manifestaciones termales. Abajo a la derecha gráfico de torta con los usos directos (modificado de Chiodi et al. 2020). Los usos basados en Pesce y Miranda (2003). b) Ubicación aproximada de las bombas de calor geotérmicas instaladas. 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 geotérmicos 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 geotérmicos 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 geotérmicos más favorables para el desarrollo de energías renovables en el NOA.

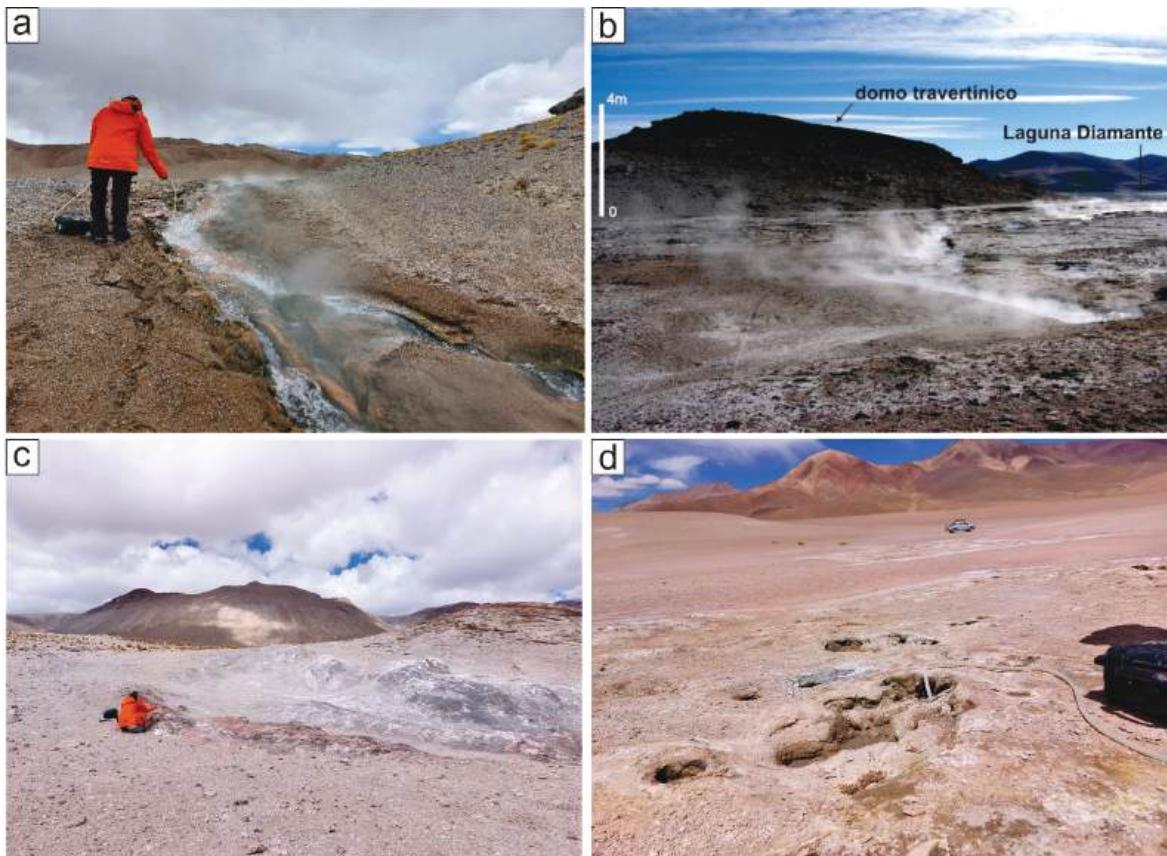


Figura 5: a) y b) Manantiales termales del sistema geotermal Cerro Galán, c) Zona de alteración hidrotermal y fumarolas geotermicas del sistema geotermal Cerro Blanco, d) Piscinas Burbujeantes del sistema geotermal del Cerro Galán

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 domiciliaria 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.

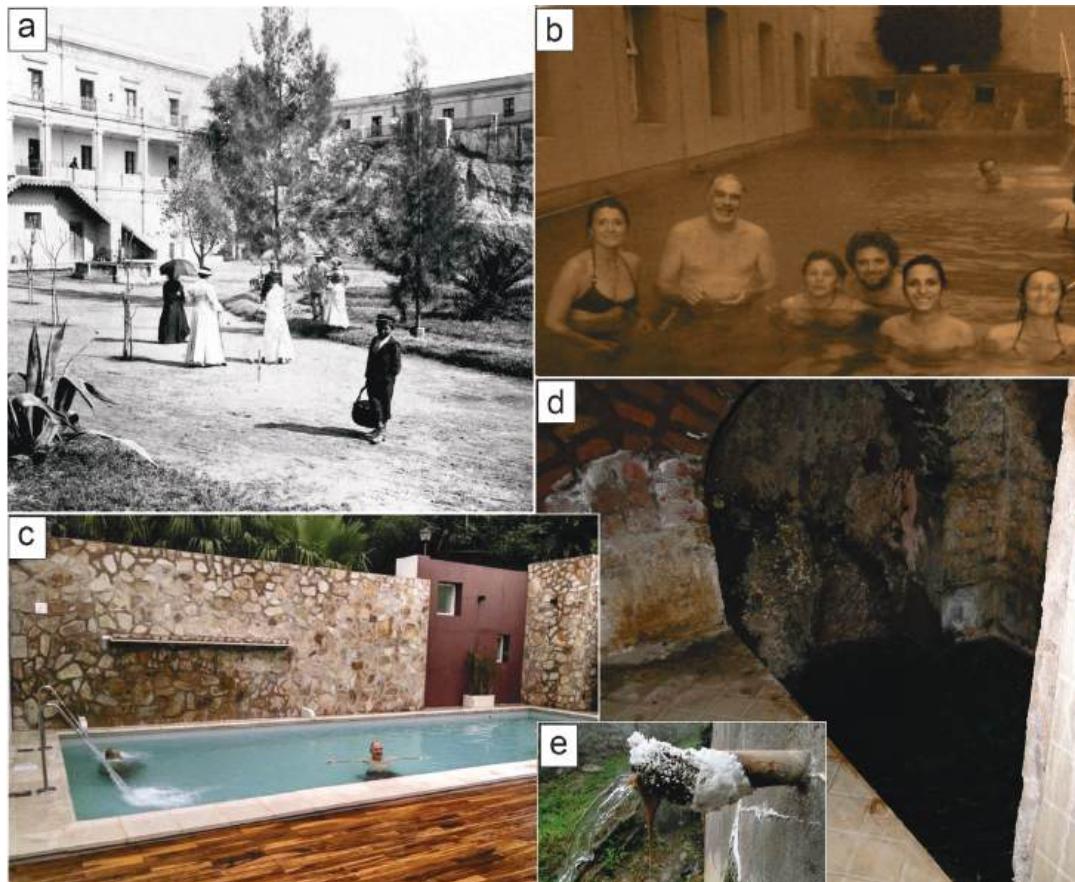


Figura 6: a) Foto de época ilustrando los años dorados del Hotel Termas de Rosario de la Frontera. b) y c) Piscinas termales para balneología. d) Manantial termal “La Ferruginosa”, con aguas a 74 °C, convertido en un sauna natural. e) Manantial termal “La Salada”, con aguas a 71,4 °C

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 GROPPELLI, 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, FAHUMADA, LALDEGA, 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 geotermoelectrivas: 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.](#)

La expansión de la frontera agropecuaria en el noroeste argentino

Mario De Simone¹

¹ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Profesional Investigador, Director del Centro Regional Salta-Jujuy y Profesional Asesor de Nivel Internacional entre 1983 y 2022; e-mail: mariodesimone@gmail.com

La fragilidad de los ambientes tropicales

El régimen de las precipitaciones y las temperaturas define en los trópicos un ciclo de los nutrientes muy diferente al propio de las zonas templadas. En las zonas templadas una porción mayoritaria de la materia orgánica (MO) cumple su ciclo dentro del perfil del suelo y sus horizontes¹. Por el contrario, en los trópicos la mayor proporción de la MO evoluciona y se deposita en la biomasa superficial, vale decir tallos y follaje de los árboles, los cultivos y sus rastrojos.

A modo de ejemplo, en un bosque templado más del 50% del carbono orgánico (C) y el 90% o más del nitrógeno orgánico (N) forman parte de la estructura del suelo. En cambio, un bosque tropical posee el 75% del C y el 60% del N en la vegetación y de ello el 45% está en la parte aérea.

Así, en los trópicos la supresión del bosque deriva en un nuevo estado del ecosistema donde la degradación de los suelos resulta inevitable. ¿Por qué? Básicamente porque en estos ambientes los suelos son incapaces de permitir el ciclo y la conservación de los nutrientes asociados a la materia orgánica, situación negativa que se agrava por las altas temperaturas y la ocurrencia de lluvias muy intensas que lixivian el perfil del suelo, es decir, disuelven y arrastran sustancias solubles como arcilla, sales y humus.

Si bien esto sólo es una simplificación de los procesos de degradación de los suelos que ocurrieron y ocurren en el NO argentino, la pérdida de la capacidad productiva de los agro ecosistemas se refleja en la vertiginosa reducción de la disponibilidad de nutrientes, la pérdida del estado de agregación de la arcilla, arena y limo, la reducción de la calidad biológica y claramente la compactación del perfil del suelo. Ésta última, la compactación, reduce la infiltración del agua, incrementa la resistencia a la penetración de las raíces, limita la permeabilidad al flujo de los gases, etc., etc., etc.

¹ Se refiere a las capas superficiales del suelo u horizontes orgánicos, donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos.

“Las células del suelo” son sus agregados

El enlace de las partículas del suelo para formar agregados estables resulta esencial para proveer las condiciones físicas necesarias para la penetración de las raíces, el intercambio de gases (O_2 y CO_2), el drenaje libre del agua y su moderada retención. Todas estas condiciones mejoran la existencia de un equilibrio entre el agua y el aire que favorecen el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.

Es ampliamente conocido que los suelos bien agregados son más resistentes a los procesos erosivos. Además, siempre se destaca la fuerte contribución de la MO a la estabilidad estructural entre la arena, el limo y las arcillas.

Como ya se ha señalado, cuando se suprime la vegetación natural, la dinámica de la MO en las zonas tropicales resulta en un balance negativo, continuo y constante a través de los años. La severidad con que se reduce el contenido de MO y el de nitrógeno (N) orgánico en sistemas de agricultura continua, depende del manejo de los residuos y en particular, del tratamiento mecánico del suelo (labranzas) y los métodos utilizados para suprimir la vegetación natural (Figura 1).

La MO en el suelo - Pérdidas y estabilización

Además de la ya mencionada contribución de la MO a la estabilidad estructural del suelo, corresponde destacar otras contribuciones positivas, que aún son ampliamente ignoradas por muchos de los actores del sector agrícola. Son muy destacables: 1) su fuerte relación con la persistencia y degradación de los pesticidas, 2) es la mayor fuente natural de nutrientes inorgánicos y de energía



Figura 1. El uso de métodos inadecuados para habilitar tierras fue general.

microbiana, 3) sirve como material de intercambio iónico y agente quelante² para mantener disponibles el agua y los nutrientes del suelo, 4) mejora la infiltración del agua y su eficiencia de uso y 5) amortigua los cambios en el pH de la solución del suelo.

El equilibrio en el nivel de MO en el suelo depende de los *factores formadores de suelo* y su interacción, que según su importancia son: el clima, la vegetación, la topografía, el material original y el tiempo. Mencionar algunos casos de interacción entre estos *factores formadores del suelo* permitirá comprender más a fondo cómo trabajan en la naturaleza.

Por ejemplo: un clima con lluvias abundantes resulta en mayor desarrollo de la vegetación y producción de biomasa; cuando la distribución de las lluvias es uniforme y las temperaturas son templadas, prospera la vegetación de pastos; en cambio, si se alterna una estación lluviosa con una estación seca con altas temperaturas, prospera la vegetación de bosques; cuando el material original presenta contenidos de arcilla más altos, los niveles de MO en el suelo también lo serán.

En consecuencia, por lo general se observa que:

- los suelos cubiertos con pasturas poseen niveles de MO mayores que los cubiertos por bosques;
- los contenidos de MO son mayores conforme las precipitaciones son más abundantes;
- no obstante ello, serán más bajos cuando las temperaturas sean más altas;
- las texturas finas presentan contenidos más altos de MO que los suelos de textura gruesa;
- los suelos más húmedos y con drenaje pobre poseen contenidos de MO más altos que los suelos bien drenados;
- los suelos que ocupan las partes más bajas del relieve poseen más MO que los que ocupan las partes más altas.

Para que la MO del suelo alcance un estado de equilibrio estable, según el clima, son necesarios entre 100 y 2000 años. Estado de equilibrio éste que se altera rápidamente con la supresión del bosque y puesta en producción de los suelos en sistemas de agricultura continua, tal como ocurrió y continúa ocurriendo en el NO argentino.

² Los agentes quelantes son moléculas orgánicas que pueden formar compuestos complejos con ciertos iones metálicos como Ca, Mg, Fe, Co, Eu, Zn y Mn; así estos elementos quedan retenidos en el suelo, y luego pueden ser liberados lentamente para que queden disponibles para que las plantas los absorban

La pérdida de MO que ocurre como consecuencia de la supresión del bosque, usualmente, es exponencial ya que declina rápidamente durante los primeros 10 a 20 años y luego tiende a frenarse para alcanzar un nuevo equilibrio en 50 años o más. El nuevo equilibrio será altamente dependiente del manejo agronómico del sistema, en particular lo relacionado con la utilización de rastrojos, las rotaciones y las labranzas.

Las áreas productivas de poroto en el NO argentino

La deforestación en el NO argentino se ha caracterizado por las elevadas tasas de habilitación de tierras para la agricultura, entre las más altas del planeta. El principal factor que las ha impulsado es el avance de la frontera agropecuaria.

La habilitación de tierras para la agricultura en los ambientes tropicales del NO argentino estuvo siempre acompañada de procesos de degradación, cuyo factor común ha sido la pérdida de MO y la ocurrencia de erosión hídrica. Como resultado de este proceso tan negativo, los agro ecosistemas han reducido en forma sostenida su potencial productivo.

En el caso particular de la provincia de Salta este avance fue impulsado por la oportunidad de producir porotos para grano seco y destinarlos a la exportación (Figuras 2, 3).

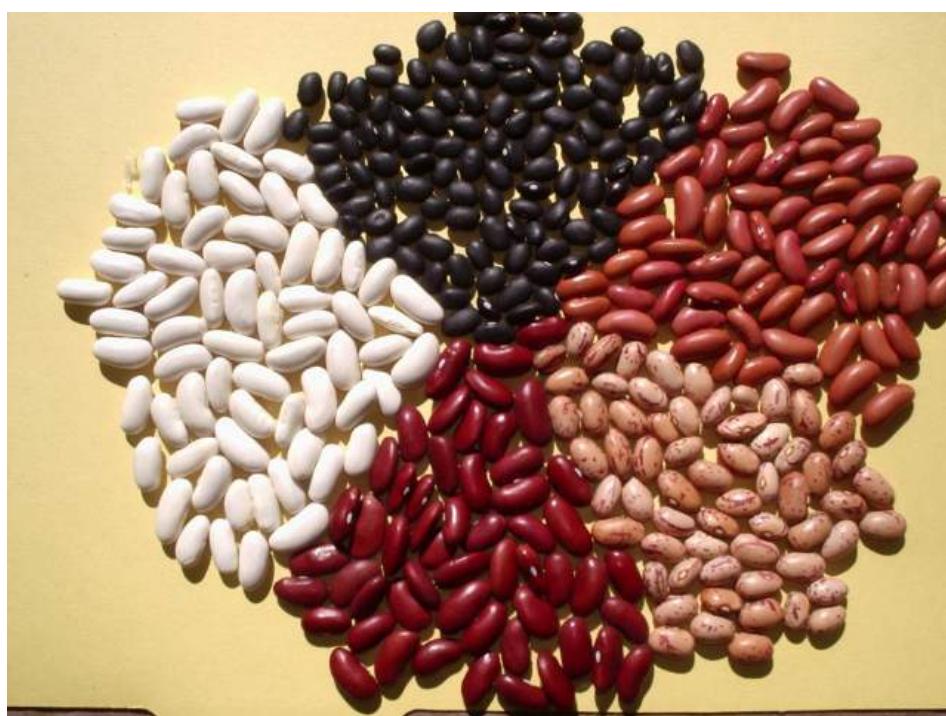


Figura 2. La producción de porotos ofrece altísima calidad al mercado externo

Algunos datos del INTA Salta muestran que la pérdida real de MO y de N a partir del desmonte, depende de los años y de cada sistema de producción en particular. Sin embargo, la pérdida ha sido siempre muy consistente y según estudios realizados en otros países recién se estabiliza pasados los 50 a 100 años.

Localidad	Tipo de suelo	Uso del suelo	Pérdida de materia orgánica (%)	Pérdida de N (%)
Tartagal (Salta)	Argiustol údico	15 años de pasturas y granos	61,7	56
Embarcación (Salta)	Argiustol údico	6 años de granos	42,1	41,1
Las Lajitas (Salta)	Haplustol údico	10 años de granos	40,1	44,4
Ledesma (Jujuy)	Argiustol údico	30 años de caña de azúcar	62,5	57,1
Trancas (Tucumán)	Haplustol típico	30 años de agricultura	66,7	61,9
Cruz Alta (Tucumán)	Hapludol T. árgico	50 años de caña de azúcar	62,4	77
Campo del Cielo (Santiago del Estero)	Haplustol údico	5 años de algodón	35,5	37,9



Figura 3. El cultivo de porotos ofrecía el soporte económico para la expansión

Crónica de una degradación anunciada

La disponibilidad de tierras baratas en áreas donde la producción ganadera bovina extensiva se debatía en una fuerte crisis, definió el momento oportuno para expandir la frontera agrícola. En ese nuevo contexto el cultivo de porotos asumió el rol de “COLONO” de las tierras que se incorporaban a la producción agrícola.

En los suelos vírgenes los rendimientos eran formidables, sin presión de malezas, de insectos plagas o de enfermedades: el poroto definió así una ecuación cuyas variables eran: altos rindes, bajos costos de producción, alto valor internacional del producto y tierras baratas. El resultado de esta ecuación permitía pagar los costos de la tierra y su habilitación para agricultura en 1 ó 2 campañas de cultivo.

Este proceso se desencadenó en 1975, a lo ancho y largo de la subregión principal, orientada meridionalmente, al este de la primera estribación de las Sierras Subandinas integrada por zonas muy húmedas, húmedas y subhúmedas (Figura 4). Proceso que evolucionó sin estrategias para el desarrollo del sector, sin ordenamiento territorial ni control del Estado. La expansión de la frontera respondió sólo a la infraestructura disponible (caminos) y la proximidad a los desmontes ya existentes.

Ello derivó en una fuerte fragmentación del paisaje de los bosques nativos, con las consecuentes pérdidas de los Servicios Eco sistémicos y disminución en la capacidad del ambiente para amortiguar los cambios y/o anomalías ambientales. Pero más aún, al poner en producción estas tierras que antes eran bosques tropicales, no se tuvo en cuenta lo discutido antes, que la eliminación de la biomasa contenida en el bosque empobrecería de MO a los suelos, facilitando su degradación.

El agua de escurrimiento y el anegamiento fueron y son las causas fundamentales de la erosión hídrica. Muchos campos en producción vieron sistemáticamente reducida su superficie útil por el incremento y profundización de cárcavas, arrastre de suelo y acumulación temporal de excesos de agua. A ello, se sumó el incremento en la presión de insectos plagas y enfermedades que redujeron progresivamente el potencial productivo.

La degradación del ambiente como producto del cambio en el uso de la tierra, se caracterizó por el desorden y ausencia de planificación y racionalidad. En poco más de 10 años resultaba imposible continuar con la producción de porotos en el este de Salta. Un proceso similar ocurrió en las provincias de Tucumán y Santiago del Estero.

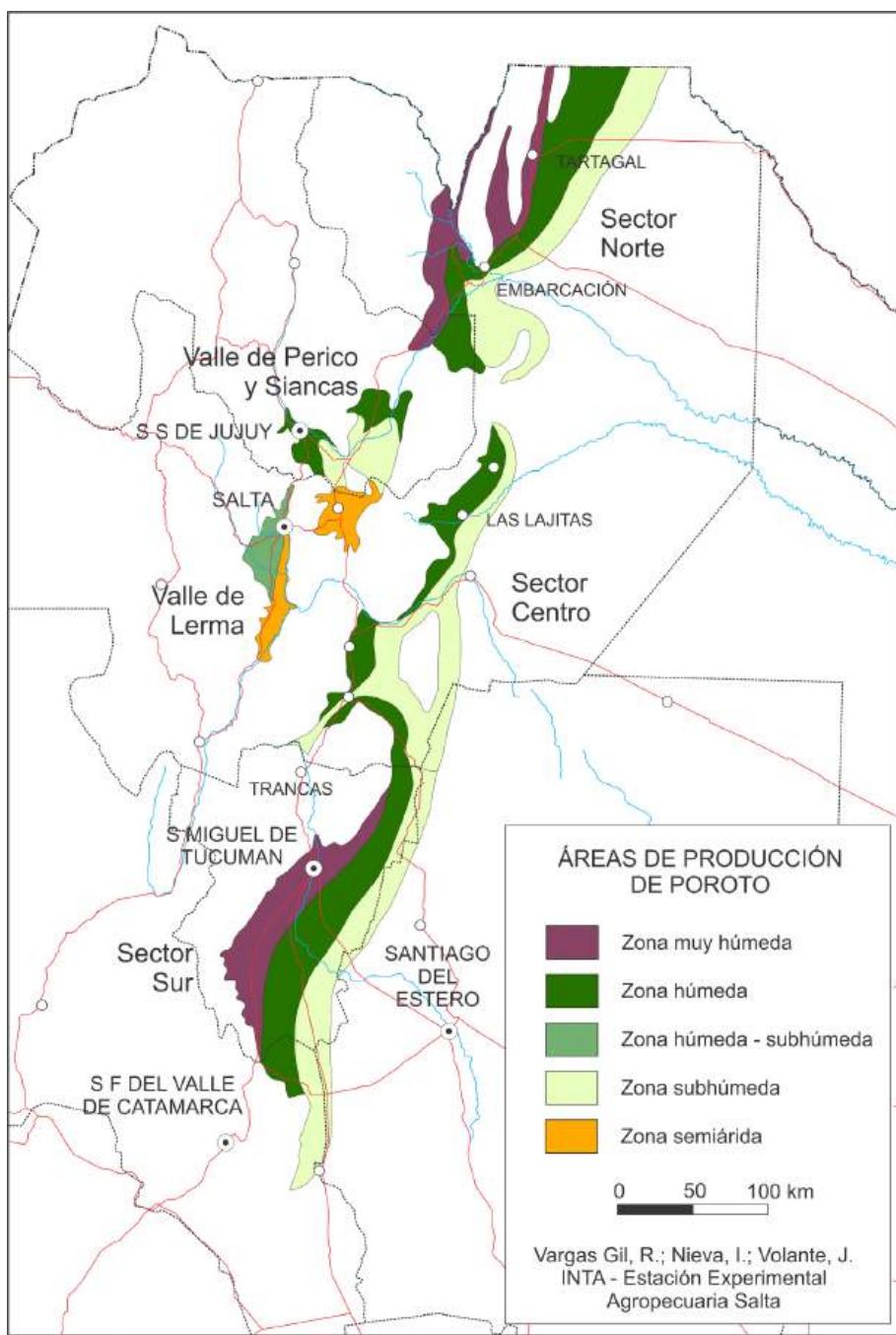


Figura 4. Áreas de producción de porotos en el NO argentino

Como resultado de este proceso, el cultivo de poroto quedó limitado a la zona norte de la provincia de Salta y, otra vez, el sector productivo entraba en su segunda crisis, ahora con fuertes inversiones en habilitación de tierras e incipiente infraestructura.

Con la introducción de la soja sumada al poroto, se generó lo que se dio en llamar la “pampeanización” de la agricultura del norte. Esto es así, pues simplemente se trasladó las tecnologías

propias del cultivo de cereales en climas templados y en suelos profundos, desde la pampa húmeda a las áreas productivas del NO argentino, sin tener en cuenta que los suelos de los bosques tropicales son mucho más frágiles ya que pierden gran parte de la MO al eliminar la cubierta de bosque.

A partir de fines de los 80' se inicia una nueva etapa de este "lamentable proceso" en el que la soja reemplaza al poroto, sostenido en una falacia: "esta subregión principal es lo mismo que la Pampa Húmeda".

Ahora la soja era quien impulsaba la habilitación de mayores superficies; entre 1998 y 2002 se deforestaron en la provincia de Salta unas 41 mil ha cada año, lo que significa una tasa de remoción de 0,8 % anual de la masa forestal. En Tucumán, la tasa fue del 1,2 % y en Santiago del Estero se desmontaron 92 mil ha cada año.

Este proceso ominoso en la subregión principal, muestra con meridiana claridad las tres fases sucesivas: a) la degradación del bosque, b) la fragmentación del paisaje y c) la deforestación, que resultó en la quasi desaparición del Bosque Chaqueño en esta región.

Como se ha dicho el cultivo de soja permitió superar la segunda de las crisis del sector productivo. Sin embargo, la magnitud de la degradación antes aludida derivó en nuevos y más graves problemas que fueron agregando complejidad al contexto.

Entre ellos, la presión creciente del complejo de picudos (familia Curculionidae) sin enemigos naturales, la presencia generalizada de malezas resistentes a los herbicidas y la mayor presión de enfermedades, atentan contra la productividad de la soja y como si esto fuese poco, también impactan negativamente en la producción de porotos.

Si a estas restricciones, se añaden los crecientes costos de producción, el costo creciente de la energía y el impacto de los fletes al puerto de Rosario, quedan pocas dudas de que la región deberá soportar su tercera crisis.

El argumento en perspectiva

Aristóteles sabiamente dijo "la única verdad es la realidad", continuar negándola equivale a poner el piloto automático en "curso de colisión".

La estrategia de encadenarse a las topadoras o la de crear "seudoyaguaretés", no han sido más que acciones que causan deshonra, al servicio de intereses vituperables.

El “síndrome del aveSTRUZ” en muchos funcionarios con responsabilidad en el gobierno a través de los años que lleva este proceso, pusieron sobre el tapete una situación de desorden de tal magnitud, que impulsó a los actores privados a zanjar el cada día como mejor pudieron.

El camino actual de presionar sobre los recursos naturales con más crecimiento horizontal para que las actividades productivas sean rentables, se riñe por donde se lo mire con la Economía Ecológica. Entre los supuestos de esta rama de la economía hoy corresponde destacar dos de ellos:

- Los procesos termodinámicos son irreversibles; vale decir que todo el dinero del mundo nunca será suficiente para revertir los daños provocados en el ambiente.
- El valor que el mercado actual le asigna a un recurso natural, como un suelo agrícola, de ninguna manera se asemeja al que tendrá en el futuro.

Perder por goleada este partido, o en cambio ganarlo por un margen acorde al potencial real de la región es tarea, como mínimo, del conjunto de actores de los territorios involucrados: el Umbral al Chaco, Las Yungas y Pedemonte y los Valles Templados³.

Es muy importante acordar que las rutas no son para cortarlas al momento de reclamos sectoriales, tampoco para deteriorarlas con exceso de peso en los camiones “justificándose” en el enorme impacto del costo del flete.

También es necesario aceptar que la expansión de la frontera agropecuaria en los últimos 45 años generó crecimiento con muy poco desarrollo, a un costo ambiental imposible de revertir y sumamente difícil de valorar en la actualidad y mucho menos hacia el futuro.

Es menester que el Estado ponga en práctica efectiva el “Contrato Social” que Jacques Rousseau propuso en el siglo XVIII, y que es la base de nuestra república representativa y federal. Forma de organización que debe trabajar con el objetivo de superar las fuertes asimetrías entre las economías regionales y la pampa húmeda.

Así, el Estado y/o los actores deben liderar la construcción de un proyecto común y sustentable, como lo supo hacer Salta en la década del 90 para desarrollar el turismo. Reconocer las oportunidades que significan el mercado regional (interno y externo) para transformar la producción primaria en

³ Regiones agroeconómicas, definidas por Bravo et al. (1998). Nótese que esta definición se basa en las regiones naturales y las actividades económicas desarrolladas en cada una, con énfasis en el riesgo y seguro agropecuario. Estas regiones tienen similitudes y diferencias con las provincias geológicas, provincias fitogeográficas y ecorregiones (ver [Fabrezi et al. 2022, Temas BGNOA, vol. 12, n°2](#)).

alimentos, para cambiar una matriz laboral con 48 empleados públicos en Salta y 87 empleados públicos en Jujuy por cada 100 empleados formales en el sector privado.

Sector privado que, en algunos casos, así lo entiende y lo pone en práctica desde hace tiempo con recursos propios, a pesar de la ausencia de un proyecto de desarrollo.

Un ejemplo claro es el progreso logrado por CoSalta integrada por 30 productores que se juntaron para hacer lo que no podían hacer individualmente; o el de los productores de huevos de Salta, que proveen 600 millones de huevos/año mientras que el consumo provincial es 286 millones/año; o el de empresarios que han desarrollado dentro de la provincia todos los eslabones de la cadena de carne porcina con tecnología de punta.

El desarrollo planificado de la ganadería regional seguramente podría ser una herramienta muy robusta para dar sustentabilidad a la producción agrícola y, a su vez, el trampolín para producir alimentos, generar trabajo, riqueza, arraigo y desarrollo en los territorios, sin perder de vista que el territorio no es sólo el espacio geográfico, sino también los diferentes actores sociales y económicos que lo ocupan.

REFERENCIAS

BRAVO G, A BIANCHI, J VOLANTE, S ALDERETE SALAS, G SEMPRONI, L VICINI, M FERNÁNDEZ, H LIPSHITZ, A PICCOLO. 1998. Regiones agroeconómicas del noroeste argentino. EEA Salta - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

DE SIMONE ME, VN FAILDE (Editores). 2002. El Cultivo de Poroto en la República Argentina. Ediciones INTA. 308 p.

FABREZI M, C CAMARDELLI, F HONGN, A ARAMAYO, JC CRUZ, C MONTERO LÓPEZ, G CÓRDOBA, A GUEVARA. 2022. Provincias geológicas, provincias fitogeográficas y ecorregiones del NOA. [Temas de Biología y Geología del NOA, 12\(2\): 4-19.](#)

ODUM EP, GW BARRETT. 2006. Fundamentos de Ecología, 5° Edición. Thomson. 598 p.

**Rodolfo Germán Aranda Viana**

Geólogo

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado mixto en Riesgos Naturales y Estudios Geológicos de campo entre la Universidad Nacional de Tucumán y la Universidad de Potsdam

Dirección: Dr. Fernando Hongn (IBIGEO, UNSa-CONICET, Argentina) - Dr. Manfred R. Strecker (Institut für Geowissenschaften, Universität Potsdam, Alemania)

Codirección: Dr. Antonio Gutierrez (UNT)

Neotectónica en el antepaís fragmentado de los Andes del Noroeste de Argentina, Cuenca de Metán y Sierra de la Candelaria

El objetivo principal de la investigación es la identificación y caracterización de la deformación cuaternaria de la cuenca de Metán y sierra de La Candelaria, áreas situadas en la provincia morfoestructural del Sistema de Santa Bárbara, antepaís fragmentado del noroeste argentino. Para desarrollar este objetivo, se realizó un estudio multidisciplinario con especial foco en la geomorfología tectónica y la integración de observaciones de campo con edades ^{14}C y de Luminiscencia Ópticamente Estimulada (LOE) en sedimentos modernos. Esta última información representa la primera documentación de edades cuaternarias en la región y ofrece un marco inicial de referencia.

En primer lugar, para identificar un control estructural activo sobre el paisaje se extrajeron, a partir de modelos digitales de elevación TanDEM-X de 11,5 m, índices morfotectónicos basados en la red drenaje como el índice de empinamiento de canal normalizado (ksn), orientación del drenaje, punto de quiebre (*knickpoints*), perfiles fluviales y también el análisis de cuencas de drenaje y la reorganización fluvial con anomalías χ . Este estudio permitió evidenciar en sectores aledaños a la cuenca de Metán fallas activas de orden principal asociadas a pliegues denominadas como Medina, Cerro Colorado y Chañar Muyo. Asociada al extremo norte de la falla Medina, se identificó una estructura denominada como ramificación Medina inferida en base al

estudio del relieve y al empleo de geofísica somera (tomografía eléctrica resistiva (ERT) y tomografía de refracción Sísmica (SRT)).

Por otra parte, en la sierra de La Candelaria se obtuvieron nuevas edades, indicadores morfotectónicos y de campo que evidencian la deformación reciente de las estructuras de orden secundario asociadas a deslizamiento flexural como las fallas San Esteban, Arias, Copo Quile y El Quemado. Además, se identificaron nuevas estructuras de igual naturaleza denominadas como fallas Castillejos, Chorrillos y Anta Yaco. Todos estos análisis complementaron numerosas observaciones de campo en un área de escasos afloramientos por la espesa cobertura vegetal y las modificaciones antrópicas.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la tectónica activa en la cuenca de Metán y sierra de La Candelaria ejerce un control directo sobre el paisaje y en la reorganización de la red fluvial. Esta deformación se encuentra influenciada principalmente por los corrimientos de orden principal y que tienen la mayor potencialidad para generar sismos destructivos. Dichos corrimientos acomodan sistemáticamente el acortamiento andino a través de microsismicidad y de sismos moderados (M5 a 6) con períodos de recurrencia del orden de cientos de años. Aunque el potencial sismogénico de las fallas de segundo orden asociadas al deslizamiento flexural resulta de menor potencialidad, también debe ser considerado dado a que evidencias como las estructuras de deformación cosísmicas en sedimentos blandos documentadas en este trabajo sugieren terremotos de magnitud moderada, dentro de un contexto donde gran parte de la infraestructura de la región no satisface las normas de construcción antisísmica.

Los resultados confirman hipótesis existentes sobre la distribución espaciotemporal irregular de la deformación cuaternaria en el antepaís fragmentado con baja tasa de deformación del Sistema de Santa Bárbara.



Vista de dron hacia el norte de la Falla Arias, en el flanco occidental de la sierra de la Candelaria, Salta



Blanca B. Alfaro Ortega

Geóloga

Facultad de Ciencias Naturales

Universidad Nacional de Salta

Realizó su Doctorado en Ciencias Geológicas en la Escuela de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Salta

Dirección: Dr. Gustavo Córdoba (Universidad Nacional de Nariño, Colombia)

Codirección: Dr. José G. Viramonte (IBIGEO, UNSa - CONICET)

Análisis y modelado probabilístico del riesgo por corrientes densas, con TITAN-DOS-FASES, en la cuenca del río Tartagal, Salta. Argentina.

La cuenca del río Tartagal está ubicada en el Norte de la provincia de Salta, a 52,8 km al Sur de la frontera con Bolivia, y al Oeste de la ciudad homónima, cabecera del Departamento San Martín. Esta cuenca abarca una superficie aproximada de 90 km², con elevaciones que oscilan entre los 405 m y los 1.032 m. La ciudad de Tartagal se sitúa en el sector bajo de la cuenca, al pie de las Sierras Subandinas. Debido a las condiciones del ambiente físico predominantes en la región, los procesos de remoción en masa son comunes, como ocurrió con la crecida de detritos en 2009, que dejó tres muertos y forzó la evacuación de unas 1.000 personas. Ante la posibilidad de que un evento similar vuelva a ocurrir, se llevó a cabo un estudio de la cuenca para optimizar el uso del suelo, mitigar riesgos y mejorar la planificación territorial, incorporando medidas preventivas y de reducción de riesgos.

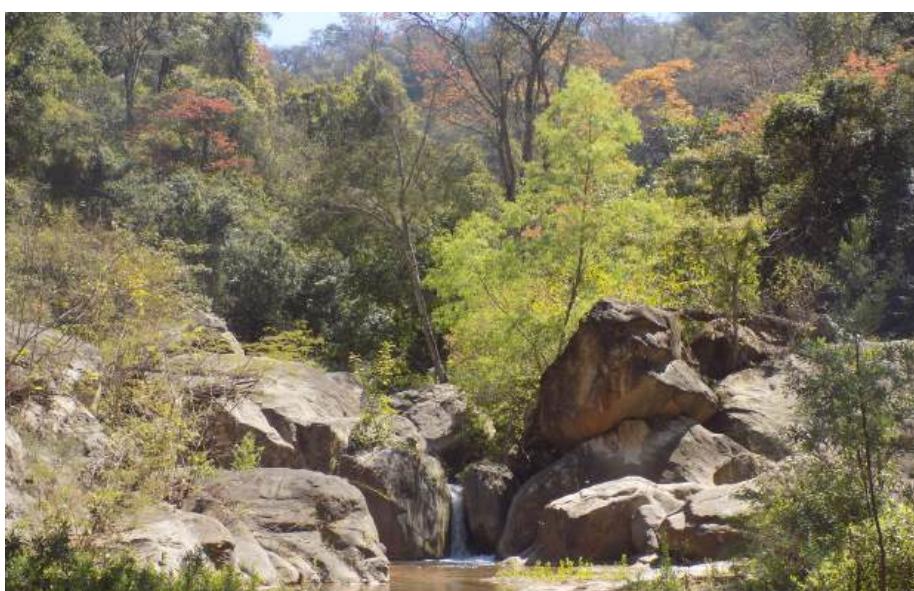
El objetivo principal de esta tesis es estimar probabilísticamente el impacto de la ocurrencia de flujos en la cuenca del río Tartagal, utilizando técnicas estadísticas y el programa TITAN-DOS-FASES para cubrir todas las posibles variables, con un muestreo limitado de casos. Este enfoque permitirá ofrecer una herramienta para el análisis de riesgo de flujos.

Para el análisis, se seleccionó la cuenca alta del río Tartagal, donde los procesos de remoción en masa son más probables debido a las características geográficas y la topografía de la zona. A través de un proyecto GIS, se realizó un análisis hidrológico utilizando un Modelo Digital de Elevación (DEM), generado a partir de imágenes ALOS Palsar con una resolución espacial de 12,5 m. Se definieron las condiciones iniciales del flujo para la simulación en TITAN-DOS-FASES, estableciendo parámetros como un volumen de 16.425.598,68 m³, una altura máxima de 40 m, un porcentaje de sólidos del 0,487, y una velocidad inicial de 0,27 m/s. Para aliviar el procesamiento, el volumen fue dividido en dos pilas (D3b y D8), donde se llevaron a cabo simulaciones con un tiempo de 60 minutos.

El análisis de amenaza probabilística se basó en rangos de los parámetros de entrada y se utilizó el Muestreo Hipercúbico Latino Ortogonal (OLHS), que generó 128 muestras representativas de diferentes escenarios. Estos escenarios se simularon en el software TITAN- DOS FASES y se produjeron tres mapas de peligrosidad probabilística, correspondientes a excedencias de alturas de flujo de 0,2 m, 0,5 m y 1,0 m.

El análisis de vulnerabilidad se enfocó en las edificaciones y su proximidad a las áreas de inundación, identificando zonas más y menos vulnerables. Se crearon cuatro capas en el proyecto GIS que integraron los edificios públicos afectados, el área inundada en la simulación inicial, el área afectada en el evento de 2009, y las zonas más impactadas. Al superponer estas capas, se generó un mapa de vulnerabilidad total.

Finalmente, el riesgo se definió como el producto de la amenaza por la vulnerabilidad, lo que permitió obtener tres mapas de riesgo en función de la probabilidad de excedencia de las alturas analizadas.



Vista del sector medio de la cuenca del río Tartagal, Salta

TEMAS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA DEL NOA

Revista de Divulgación Científica del Instituto de Bio y Geociencias

Volumen 14, Número 3, Diciembre 2024

I B I G E O

IBIGEO INSTITUTO DE BIO Y
GEOCIENCIAS DEL NOA

<https://ibigeo.conicet.gov.ar/>

CCT-Salta-Jujuy
9 de julio 14
Rosario de Lerma-4405 (Salta)
República Argentina
Tel: 54 (0) 387 4931755
ibigeotemas@gmail.com