

Introducción: La (in)visibilidad geotérmica de los Andes chilenos

Los fenómenos geológicos tienen una fuerte presencia visual en el paisaje de los Andes chilenos. Volcanes, aguas termales, terremotos y géiseres son fruto de una activa geología. A principios del siglo XX, ingenieros y geólogos¹ italianos contratados por la *sociedad privada Comunidad de El Tatio*, creada por miembros de la colonia italiana de Antofagasta, comenzaron a imaginar transformar en electricidad el calor de los reservorios de agua subterránea. El epígrafe con el que comienzo este relato ilustra imágenes de futuro proyectadas por el ingeniero italiano Domingo Mongillo frente al vapor en el campo de géiseres *el Tatio*. Sin embargo, su uso como energía eléctrica a una escala nacional ha sido una promesa inconclusa. Inspirado por la antropología de la energía e infraestructuras, este libro indaga etnográficamente en las promesas de la energía geotérmica y su abandono en los Andes chilenos.

La energía geotérmica es definida como aquella energía contenida como calor en el interior de la tierra (Barbier, 2002), comúnmente en reservorios de agua caliente subterráneos. Esta energía puede ser utilizada potencialmente como fuente de electricidad o usos doméstico y productivos. En las últimas décadas en Chile el interés por la geotermia ha sido reactivado por los desafíos del cambio climático y la transición energética. La geotermia ha sido entendida como una energía futura, limpia y sostenible, en contraste con otras alternativas (como la hidroelectricidad o los combustibles fósiles importados). En Chile, el año 2017, fue inaugurada por el segundo gobierno de la presidenta Michelle

1 Los participantes de estas primeras exploraciones fueron exclusivamente varones según los registros. Sin embargo, durante las últimas décadas la composición de género de los grupos científicos y técnicos se ha transformado, contando con la participación de mujeres.

Bachelet (2014–2018) *Cerro Pabellón*, la primera planta geotérmica de América del Sur en la comuna de Ollagüe en Alto Loa. Sin embargo, la comunidad científica ha planteado que uno de los mayores desafíos para su desarrollo es la falta de conocimiento sobre este recurso energético. En la actualidad, existe incertidumbre sobre dónde se localizan y cómo se comportan los reservorios subterráneos. Si bien se asocia a sistemas cordilleranos, no se conoce específicamente dónde se encuentran y cuáles son sus características.

Bajo el interés de abordar el vacío que existe sobre los potenciales geotérmicos y producir conocimiento sobre este recurso renovable, el año 2011 fue fundado el Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes (CEGA). Este centro fue creado en la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica, con fondos para el financiamiento de centros de investigación en áreas prioritarias (FONDAP). La fundación de este centro representa el interés y la promesa de parte del Estado por incentivar la producción de conocimiento y evidencia para desarrollar futuros energéticos sustentables.

El caso del CEGA es parte de una serie de iniciativas que buscan enfrentar las barreras de entrada de tecnologías renovables para generar nuevos desarrollos en el ámbito de las soluciones energéticas (Palma & Rudnick, 2018). Su financiamiento bajo el esquema de los centros FONDAP, se ha dado junto a la promoción del desarrollo de áreas como la energía solar (SERC), recursos hídricos (Crhiam) y centro de ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), donde su misión es crear conocimientos para desarrollar áreas definidas como prioritarias para el país (Palma & Rudnick, 2018). El CEGA ilustra la intención de parte del Estado por movilizar a la evidencia científica como generadora de política en energía. Desde un plano global, la narrativa que sustenta estas políticas se basa en la visión que la evidencia científica puede influir en la transición hacia fuentes de energías más sustentables.

Sin embargo, expertos y expertas en la materia señalan que una de las grandes barreras para el desarrollo de la electricidad a partir de esta energía corresponde a que el calor no es visible al ojo humano. Esto contrasta con otras energías como la eólica o solar, las que se encuentran avanzadas en la transición hacia energías no fósiles y la descarbonización de la matriz energética. Comparada con la presencia del viento, el sol o el agua del mar, este calor está sumergido en el interior de la tierra. Si bien existen tecnologías para estudiar su localización, es un proceso incierto y costoso. Pero además para explicar estas barreras se utilizan argumentos que van más allá de lo técnico. Esta energía también sería invisible a un nivel público y cultural, y en consecuencia su desarrollo no estaría siendo demandado por la ciudadanía.

Tomando esta discusión como punto de partida, este libro se centra en la invisibilidad de la energía geotérmica y su relación con los imaginarios de la electricidad. Explorando las diversas formas en que las promesas de esta energía se han sostenido en el tiempo, describo la influencia de los imaginarios de la electricidad en la forma en que se proyectan los futuros potenciales de esta energía. Si bien al describir los sistemas geotermiales por lo general se separan las tecnologías asociadas a la producción de electricidad y los usos directos del calor, los imaginarios de la electricidad siguen afectando—y limitando—las formas que los futuros de esta energía son imaginados.

Uno de los principales hallazgos durante el trabajo de campo fue encontrarme con la relevancia del debate sobre la invisibilidad de la geotermia al indagar sobre los futuros de esta energía en los Andes Chilenos. Realizando trabajo en terreno quise indagar en mayor profundidad en esta forma de describir la energía geotérmica. Haciéndome la pregunta ¿Para quién es invisible? ¿Bajo qué contexto? este trabajo relata la historia de la energía geotérmica desde los sitios donde el calor y los potenciales geotérmicos han sido estudiados. El caso de la energía geotérmica en Chile nos ofrece la oportunidad de estudiar como ha sido imaginada una promesa de energía. Este libro se estructura por medio de un viaje describiendo los elementos que componen la energía geotérmica y los encuentros humanos con su calor. Particularmente, siguiendo la producción de evidencia geotérmica a partir de rocas, vapor, aguas subterráneas y manifestaciones termales.

La cordillera de los Andes tienen una fuerte presencia visual en el paisaje chileno. Su imagen ha tenido un papel activo en el discurso nacional y en la producción de la identidad territorial del país por medio de la cultura visual (Valdés, 2012). Sin embargo, el paisaje de la cordillera también ha sido representado desde un punto de vista lejano. Como señala la historiadora María José Correa (2017), la imagen de la cordillera de los Andes fraguada bajo la temprana conceptualización hispana fue presentada como una barrera letal de hielo y abismos. Sin embargo, a finales del siglo XIX, las nuevas ciencias ilustradas republicanas buscaron establecer a los Andes como un espacio de interés para los viajeros naturalistas, ofreciéndoles la posibilidad de acceder a conocimientos únicos y extraordinarios.

Estas historias de exploración científica también se enmarca junto a procesos de extracción de recursos en América Latina. En Chile, históricamente las montañas han sido concebidas como espacios sin vida esperando a ser animadas mediante prácticas de extracción (Ureta & Flores 2018). Este contexto

invita a examinar la relación entre evidencia científica y las circunstancias culturales y políticas en las que se enmarcan.

Este trabajo busca ser un aporte, desde la antropología y las humanidades ambientales a la discusión de las políticas de la evidencia científica y su involucración en los futuros de las energías renovables en América Latina. El interés nace por querer explorar en profundidad la imagen de los Andes y cómo la cordillera ha sido históricamente transformada en un laboratorio. Pero más allá de la imagen escénica de los Andes, quiero invitar a reflexionar sobre las experiencias junto a los fenómenos bajo sus pies. Antes que esencializar el subsuelo como un espacio homogéneo, este trabajo busca prestarle una atención etnográfica a cómo ha sido explorada e imaginada el uso de su energía potencial. En esta tarea, busco problematizar los relatos de la invisibilidad geotérmica, inspirado por la literatura en antropología de la energía y los estudios de ciencia, tecnología y sociedad.

El siguiente apartado presenta cómo fue abordado el concepto de evidencia geotérmica, definición que estructura este trabajo en término teóricos y metodológicos. Comenzando con una discusión general e histórica de la noción de evidencia, paso a explicar la aproximación conceptual elaborada. A su vez, cómo durante el trabajo de campo los desafíos asociados a la producción de energía eléctrica a partir de sistemas geotérmicos se transformó en una posibilidad etnográfica.

Siguiendo evidencias geotérmicas

La producción de evidencia y su negociación ha sido un campo fértil en ciencias sociales y humanidades para estudiar jerarquías y las formas de establecer conocimientos válidos. Se trata de un aspecto crítico a la hora de estudiar la relación entre conocimientos expertos y sus contextos culturales. La evidencia ha operado como un régimen de verdad que traza la línea entre lo real y lo no real, entre la ciencia y la creencia, bajo el requerimiento moderno de la prueba como proceso de inclusión y exclusión (Daston, 1991; De la Cadena, 2015). Sin embargo, siguiendo el trabajo de Summerson Carr (2010), la expertiz y la generación de pruebas, es algo que la gente *hace* antes que posee o tiene. Esta aproximación también guarda relación con el concepto acuñado por Donna Haraway (1988) *situated knowledges*², aproximaciones desde la historia del conocimiento cientí-

2 *Conocimientos situados*, traducción propia del inglés al español.

fico (Shapin, 1996; Shapin & Schaffer, 1985) y estudios sobre *expertise* (Collins & Evans, 2007). Uno de los principales aportes de estos trabajos, es la crítica a la creencia generalizada sobre la capacidad de la ciencia empírica para desaparecer de los contextos culturales donde se produce. La revolución científica del siglo XVII se conformó cultivando una forma de conocimiento que se posiciona desde todos y ningún punto de vista. Por el contrario, al buscar situar los conocimientos se invita a observar cuidadosamente como estos se producen por medio de contextos específicos.

Uno de los artefactos centrales de la cultura científica del siglo XVII para producir conocimiento legítimo, fue el requerimiento de la evidencia. La cultura ilustrada elevó a sus altares a la recolección de pruebas, estableciendo como requisito fundamental para que un *hecho* se constituya como evidencia, que sea inocente de toda intención humana (Daston, 1991; Orrego, 2015). Sin embargo, la evidencia es realizada por prácticas situadas en contextos concretos. Como nos enseña Laura Watts (2018), en nuestras propias prácticas científicas, el lápiz con el que escribimos tiene su propio movimiento, nos sentamos sólo en una silla en la sala, no en todas. Reconocer esta condición genera una objetividad honesta que destaca los límites del proceso. Al tomar la decisión sobre lo que se busca conocer, se van excluyendo otros ámbitos de la realidad. Los instrumentos de la observación están aquí y no en otro lugar. No están en todas partes al mismo tiempo y esa es su condición de posibilidad. El conocimiento se produce desde una perspectiva parcial. La evidencia, más que ser una verdad estática mantenida por grupos determinados, se encuentra compuesta de prácticas, con las cuales se va respondiendo a requisitos, preocupaciones³, estándares de prueba y comunidades específicas (Brown, 1992; Latour, 2004).

Mi orientación durante el trabajo de campo fue seguir la producción de conocimiento por medio de prácticas de evidencia. Con este objetivo en mente, al poco andar durante el trabajo de campo, descubrí que la energía geotérmica ya no era la nueva promesa de energía renovable en Chile. En el camino de la transición energética la energía solar tomó la delantera. Las empresas gradualmente dejaron de interesarse en invertir en esta energía. Luego de la aprobación de la Ley N°19.657 el año 2000, la denominada *Ley geotérmica* y el boom de concesiones geotérmicas durante la primera década de este siglo (Vargas Payera, 2018), el entusiasmo por esta energía fue disminuyendo durante los siguientes años. En palabras de Máximo Pacheco, Ministro de Energía del segundo gobierno de Michelle Bachelet y promotor de la política energética 2050: “Los privados no

3 Traducción propia al español del concepto original en inglés *matter of concern*

veían suficiente estímulo para embarcarse en proyectos geotérmicos de resultado incierto, por el elevado riesgo exploratorio” (Pacheco, 2018:568). A lo que se suma el despegue de la energía solar por reducción de costos de inversión el año 2014.

Bajo este contexto, los proyectos se detuvieron y las empresas se desinteresaron por invertir recursos en el desarrollo de esta energía. Al nivel de producción de conocimiento científico esto significó un desafío. Sin embargo, desde la Universidad de Chile y la Pontificia Universidad Católica, el CEGA buscó transformar su enfoque en este nuevo contexto. Que el futuro de esta energía estuviera en un proceso de transición, antes que ser un impedimento para mi estudio, se convirtió en la posibilidad de abordar etnográficamente este proceso de transformación. Como retribución, me comprometí con el CEGA a colaborar en el análisis de fuentes históricas de la energía geotérmica en Chile. Así fue como, contactando a geólogos y geólogas investigando en este centro en el XV congreso geológico chileno en la Universidad de Concepción el año 2018, encontré la posibilidad de iniciar el trabajo en terreno sumándome a una exploración geológica focalizada en estudiar un sistema geotermal en la cordillera de los Andes.

Lo que quiero relatar a lo largo de este escrito es la experiencia siguiendo exploraciones geotérmicas en los Andes. El trabajo de campo lo desarrollé en 8 meses entre los años 2018 y 2019, como continuación de la experiencia de investigación de 5 años entre el año 2012 y 2017 en áreas cordilleranas en el Centro-Sur de los Andes chilenos. Específicamente, comencé realizando trabajo en terreno en el valle de Lliquiñe en el sur de Chile sumándome a tres expediciones realizando observación participante durante los meses de diciembre (2018), enero y febrero (2019). Durante las campañas de terreno participaron 7 geólogos y 3 geólogas durante 3 expediciones, cambiando el número de personas del grupo según las diferentes salidas a terreno. Aquí trabajé acompañando y describiendo la toma de datos y muestras trasladadas luego hacia los laboratorios en la Universidad en Santiago⁴.

4 A lo largo del texto incorporo citas de los registros durante la observación participante en las exploraciones geológicas. Éstos fueron realizados mediante grabación de video, entrevistas, fotografía y notas de campo. Estas citas las integro dentro del relato del texto, mientras que entrevistas registradas exclusivamente con audio las señalo en la referencia.



Figura 1: En la parte superior se muestran dibujos en el cuaderno de campo de las áreas de estudio. A la izquierda se retrata la posición de Chile en América del Sur. A la derecha la localización de los casos de estudio en referencia a Santiago, la capital de Chile. Elaboración propia (2021). En la parte inferior de la figura, se representan las dos zonas de estudio, las que coinciden con dos áreas centrales para la geotermia de la cordillera de los Andes: la actividad volcánica de la Zona Sur y Norte de Chile. Mapa elaborado a partir de dibujo en el libro Amereida sobre el relieve de la cordillera de los Andes (Iommi et al., 1967:3).

Estas experiencias en terreno fueron complementadas con trabajo de archivo consultando documentos recopilados por el CEGA, la biblioteca del Departamento de Geología de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), La Biblioteca Nacional y la Biblioteca del Congreso Nacional. Fruto del trabajo de archivo, incorporé los géiseres del Tatio en el Desierto de Atacama en el norte de Chile (decisión que explico en mayor detalle en el capítulo 1 y 2).

Finalmente, realicé entrevistas a geólogos y geólogas con experiencia de terreno en estos dos sitios icónicos para la investigación geotérmica. También entrevisté a guías locales y trabajadores involucrados en exploraciones geotérmicas en estos sitios de estudio. El criterio que utilicé para realizar entrevista fue seguir a los actores involucrados en exploraciones geológicas en las que participé o en los documentos históricos analizados, buscando de tal manera ir recomponiendo los trazados de la evidencia geotérmica.

Durante el proceso de investigación también noté que la trayectoria de mis propios diarios de campo y los procesos de aprendizaje registrados fueron una forma de exploración en sí misma. La elaboración de los diarios me permitió acompañar las prácticas de medición, cultivando un interés por aprender desde *la experiencia de registro*. El uso de las libretas de campo es una tradición que la antropología y geología comparten. Pero antes que buscar representar un fenómeno externo, el ejercicio de descripción me permitió cultivar *una forma de atención* particular. Mi decisión fue seguir estas expediciones prestandole atención a las manifestaciones del calor. En el ejercicio de escritura y descripción encontré un espacio para transformar mi actitud, descentrando mis propias formas de atención y dejándome guiar por la curiosidad.

El cultivo de una atención curiosa como orientación en el trabajo de campo ha sido conceptualizado por perspectivas en Antropología; Estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad; Estudios Feministas y Humanidades Ambientales. Específicamente, este trabajo se encuentra inspirado por la aproximación *The arts of attentiveness* (Van Dooren, Kirksey & Münster, 2016) o *Involuntary mode of attention* (Hustak & Myers, 2012). Desde este enfoque se trata de seguir cuidadosamente las prácticas de conocimiento, cultivando la lentitud necesaria para descentrar la mirada y prestarles atención a las trayectorias que emergen al observar fenómenos de la naturaleza. La invitación al cultivo de una atención curiosa como método etnográfico se ha utilizado generalmente para estudiar plantas, animales, hongos o insectos. Pero aquí he buscado seguir rocas, minerales o aguas termales sumergidas en el interior de la tierra. Si bien se trata

de entidades invisibles al ojo humano, desde la geología e ingeniería se busca monitorear sus trayectorias, volviéndolas visibles por medio de diversas herramientas tecnocientíficas tales como prácticas de medición geológicas o perforaciones. Por esta razón es que seguir las prácticas de evidencia geotérmica me permitió acceder a formas de visualización de lo subterráneo que de otro modo hubiera sido complejo acceder.

La curiosidad es una forma de atención a menudo presente en los instantes previos a conocer un fenómeno. Asociada al arte de coleccionar, es el ejercicio de dejarse llevar por los fragmentos de lo que se observa. Se trata de un momento de atracción, afecto y conexión con lo observado. Pero la curiosidad no se opone necesariamente a usos mecánicos posteriores. Muchos procesos científicos que han gatillado procesos de destrucción y violencia han nacido a raíz de la curiosidad. El antropólogo Hugh Raffles (2010), al describir el arte de la dibujante científica Cornelia Hesse-Honegger, nos invita a ver las bases de la curiosidad científica en los momentos íntimos de atención. El caso de esta artista ilustra como su curiosidad la orienta a observar como lo aparentemente invisible se hace presente, dibujando insectos deformados por la radiación de la energía nuclear. Al describir su arte, el antropólogo nos invita a detenernos en un aspecto de su obra. Antes que realizar una representación naturalista de estos cuerpos, ella crea series utilizando sólo la forma y el color de estos cuerpos deformados por la radiación. Su arte nos muestra como la evidencia de lo invisible al ojo humano puede tomar forma en el mismo acto de dibujar.

Desde un plano general, esta observación también es una invitación a detenerse en las experiencias que acompañan la producción de conocimiento. Según Michael Taussig (2011) antes que las promesas de realismo contenida en los registros de un diario de campo, estos ofrecen la posibilidad de conocer por medio de fragmentos. Deteniéndose en los dibujos realizados en sus cuadernos de terreno, el autor nos invita a pensar en la capacidad que tiene para reflejar la intimidad de la experiencia vivida, como también la incompletud del registro. Es a esta intimidad, y sus límites, a la que busqué acceder. Tomando como principio *seguir las prácticas de evidencia* y su experiencia explorando el subsuelo, cultivando al mismo tiempo formas de atención abiertas a descubrir la emergencia de otras trayectorias posibles. A continuación, las secciones 2. y 3. desarrollan las discusiones teórico-conceptuales centrales que inspiran y a las que este trabajo busca contribuir.

Exploraciones geotérmicas

La energía geotérmica busca utilizar como recurso el calor de la tierra. Se trata de la energía contenida en los reservorios de agua subterránea, calentados por el magma. Es el proceso por medio del cual el agua alcanza altas temperaturas por el calor que permean las rocas. El aprovechamiento de la geotermia es un esfuerzo tecnológico para utilizar esta energía. En general, se trata de sistemas de calor compuesto por una arquitectura de rocas y fluidos, sumergida en el interior de la tierra. Es por esta razón que para el desarrollo de la energía geotérmica se necesitan conocimientos y tecnologías que permitan representar y volver visibles estos sistemas por medio de estudios geológicos en la superficie o la perforación de sondajes. Bajo esta perspectiva se busca encontrar recursos energéticos y condiciones que permitan utilizar la energía del subsuelo.

El interés por el subsuelo como recurso en América Latina tiene una larga tradición asociada a la conquista española en el siglo XV. Una imagen común asociado a quienes observan las rocas es la búsqueda del oro de parte de los conquistadores españoles. El proyecto colonial del imperio español nace junto a un interés por los minerales del subsuelo. Durante la constitución de los Estado-Nación en el siglo XIX en América Latina, exploraciones científicas colaboraron en representar las condiciones del subsuelo, facilitando la posterior extracción de minerales y recursos.

Para poder utilizar los recursos del subsuelo se necesitan conocimientos y formas de representación que permitan identificarlos. Actualmente, para el desarrollo de la geotermia en Chile, producir evidencia que permita conocer la localización del recurso ha sido señalada como una necesidad fundamental. Para crear un recurso energético se necesita comprender el comportamiento de los sistemas geotérmicos en el subsuelo y las dinámicas que lo componen. Pero el estudio de estos sistemas es un proceso rodeado de incertidumbre. Entre las barreras para el desarrollo de la geotermia se señalan los costos asociados a las fases iniciales de exploración. Para que estos fenómenos del subsuelo sean identificados como recursos energéticos se necesita invertir en la producción de datos y exploración previa. Específicamente, desde una perspectiva etnográfica este trabajo se focaliza en las prácticas de evidencia para crear un recurso geotérmico. Primero, la producción de conocimiento geológico en terreno y segundo, el uso de infraestructuras para aprovechar el calor del subsuelo como fuente de energía.

Geología

Los conocimientos geológicos han sido fundamentales para identificar los recursos geotérmicos. La geología tiene la capacidad de volver visible como recurso dinámicas y sistemas que desde la superficie se encuentran ocultas al ojo humano. Al estudiar el subsuelo desde la superficie, en geología se debe aprender a interactuar con fenómenos que no se ven. La evidencia permite entregar pistas que ayudan aproximarse a un fenómeno que no puede ser abordado en su totalidad. Por medio de evidencias se estudia un fenómeno que en su escala excede a quien observa. Esto aplica tanto para la escala temporal, como la dimensión espacial de los fenómenos bajo estudio. Un desafío que se encuentra también presente en la misma enseñanza de la geología (Kastens et al., 2009). Es una capacidad que debe desarrollar el estudiante para desarrollar una mirada geológica. Esto también se relaciona a las dificultades en esta disciplina de conducir experimentos a una escala geológica (Tironi, 2019). Los estudiantes deben aprender a recomponer escenas en el tiempo y utilizar la imaginación como parte de la observación geológica. Y la experiencia en terreno es el lugar por excelencia para aprender a convivir con los límites espaciotemporales de un fenómeno que excede la mirada humana.

Por otro lado, el subsuelo a menudo ha sido descrito como un territorio que provoca un sentido de curiosidad personal, cultural o mística, pero también ha permitido el impulso tecnológico para las industrias extractivas (Kearnes & Rickards, 2017). Para el filósofo de la ciencia, Lewis Mumford (1934), el subsuelo ha sido predicado como un suelo literal y metafórico para el desarrollo de la economía política contemporánea. Las formas de representación de lo subterráneo, y las intervenciones materiales de estos espacios, han puesto en curso los discursos e imaginarios sobre la capacidad de la tecnología. Junto al nacimiento de la geología, esta disciplina facilitó volver el subsuelo una naturaleza leíble, abierta en un sentido epistemológico a la medición económica y política (Braun, 2000; Melo Zurita et al., 2017).

En términos de la experiencia humana, el subsuelo *no se ve* o al menos no es posible observarlo de manera directa desde la superficie. Pero esto no sólo implica un límite. Si bien el subsuelo metafóricamente es uno de los espacios inciertos por excelencia, no tener un acceso directo y completo es un límite que se ha enfrentado mediante diversas formas de representación. Históricamente, a partir del siglo XIX imágenes y mapas han permitido explorar y conocer los espacios subterráneos. Conocimientos y tecnologías han colaborado en expandir el interés estatal hacia lo subterráneo, extendiendo las fronteras

espaciales horizontales, hacia un *territorio vertical* (Braun, 2000). Esto tiene que ver con un interés de los Estados por asegurar no solamente el control del espacio aéreo, sino también de los recursos minerales y energéticos subterráneos. Ejemplo de esto es como la creación de tecnologías de sondaje permitió visualizar el subsuelo desde una perspectiva vertical extendiendo el espectro del poder político (Braun, 2000; Clark, 2019). La horizontalidad de las representaciones territoriales, fue atravesados por una nueva mirada fruto de estas nuevas tecnologías y conocimientos, abriendo la geometría del espacio y su volumen.

Desde una perspectiva legal, para la creación de los recursos del subsuelo un gesto central fue la separación entre los derechos de la superficie y los del subsuelo. Durante la consolidación de la industria minera, fue fundamental generar derechos separados para darle forma a los recursos del subsuelo. Esto ha sido estudiado por Bruce Braun (2000) quien analiza este gesto legal y su relación con la producción de conocimiento geológico. Analizando la gobernanza Estatal para el caso de Canadá, el trabajo de este autor es un aporte para comprender el rol de la geología en la expansión del territorio vertical en la costa oeste de América del Norte en el siglo XIX. Separar los derechos del subsuelo de la superficie permitió incentivar la prospección, en lugar de entregar los recursos geológicos del Estado a los dueños de las propiedades agrícolas. Según los discursos oficiales de la época, esto permitiría entregar los recursos geológicos en manos de empresas con los conocimientos, instrumentos y capacidades adecuadas, en lugar de asignarlos por el mero accidente a los dueños de la superficie, excluyendo prácticas mineras artesanales y especulaciones ineficientes. Esto también ayudaría a regular con derechos especiales para incentivar una minería eficiente, dotando de incentivos para explotar recursos inútilmente desaprovechados en territorios remotos.

Lo que Braun busca argumentar es cómo las prácticas de la geología desde un punto de vista de la gobernanza de Estado, permitieron activar nuevos recursos, transformar el sistema de propiedad e incorporarlos al dominio del escrutinio público y la política, abriendo un territorio vertical de exploración. El aporte de este autor es cuestionar la perspectiva unidireccional que considera la producción de conocimiento como reproducción del interés Estatal. Su estudio muestra la influencia política que tuvo la producción de conocimiento geológico, transformando el espacio de la gobernanza estatal.

En esta misma línea de estudios sobre el subsuelo, el trabajo de Eric Nystrom en su libro *Seeing the underground* (2014) muestra como durante el desarrollo de la minería y las profesiones técnicas asociadas en Estados Unidos, surgió una cultura visual para representar estructuras subterráneas. El autor estudia

la generación de conocimientos y expertiz asociada a los mapas subterráneos. Según Nystrom, el desarrollo profesional de la ingeniería en minas creó una cultura visual constituida por prácticas, artefactos, y discursos que permitieron visualizar el subsuelo, pero en su argumento, el mayor aporte para el presente trabajo es observar como estas representaciones también son contestadas. Específicamente mediante el rol que juegan las infraestructuras abandonadas que escapan a la representación, desestabilizando e irrumpiendo en las operaciones mineras. Se trata de ruinas de faenas mineras antiguas fuera de los mapas que poseen los expertos, y que causan accidentes al colisionar con nuevas operaciones mineras. De este trabajo es posible notar como la capacidad inestable del subsuelo, vuelve necesarias las representaciones que permitan estabilizar potenciales desarrollos futuros. Se necesita producir formas de visualización para poder controlar, transformar y utilizar el subsuelo. Sin embargo, el abandono de infraestructuras, o la inestabilidad de los fenómenos geológicos, hacen visible los límites de las representaciones del subsuelo. Las dinámicas subterráneas tienen la capacidad de subvertir los límites de las representaciones que buscan estabilizar un dominio incierto al ojo humano.

Esto también aplica a los sistemas geotérmicos, los que cambian sus estados, permeabilidad y se desplazan fuera de la vista humana. Su principal forma es la del calor. Pero aquí me refiero no solamente a la noción abstracta conceptualizada por la física moderna como *calor*, sino el fenómeno concreto y material, y su interacción con aguas y rocas subterráneas. El calor subterráneo posee una direccionalidad específica. Una trayectoria ascendente obstruida o facilitada por propiedades de las rocas, tales como la porosidad, que, a su vez, se desarrolla bajo una temporalidad geológica y lentos procesos subterráneos.

La temporalidad geológica escapa la escala humana. Sin embargo, al transformar las fuerzas de la tierra en un recurso, los humanos por medio de tecnologías intentan instalar su capacidad de control. Los fenómenos geológicos son estabilizados y utilizados como recurso (Kuchler & Bridge, 2018). Pero las dinámicas del interior de la tierra también tienen la capacidad de desarticular programas tecnológicos. Pueden volver inestable las identidades impuesta por humanos. Desestabilizando esta identidad, se hace visible su capacidad de irrumpir mediante eventos que desmantelan conceptualizaciones preestablecidas.

La geología, fundándose en la observación de las dinámicas de la tierra y describiendo su capacidad para desestabilizar la escala humana, también ha colaborado activamente en volver visible lo subterráneo como recursos para ser extraídos. Esta es una tensión que ha acompañado a la disciplina y que ha cap-

tado un creciente interés por la geología en antropología (Irvine, 2014; Oğuz, 2020; Fonck & Simonetti, 2020). Este trabajo busca contribuir a esta discusión describiendo como rocas, aguas subterráneas y su calor tienen la capacidad para afectar y desestabilizar las políticas de la energía.

La geología en sus orígenes no se constituyó exclusivamente de observaciones científicas. El desarrollo de la minería y las políticas del subsuelo tuvieron un rol significativo. La observación sublime del tiempo profundo, nació y se institucionalizó de la mano con el interés por conocer y utilizar los potenciales recursos del subsuelo. Particularmente, las tecnologías de perforación han sido infraestructuras fundamentales para transformar sistemas geotérmicos en un recurso potencial para producir energía eléctrica. El siguiente apartado relata como estas tecnologías fueron abordadas conceptualmente.

Infraestructuras de exploración

Para explorar y transformar las fuerzas geológicas en un recurso geotérmico, la capacidad que poseen las infraestructuras es fundamental. Siguiendo la definición de Brian Larkin (2013), las infraestructuras son tecnologías que permiten el movimiento de otras materias. Pero para Larkin, estas poseen una ontología particular, ya que si bien poseen una materialidad propia, al mismo tiempo se trata de una función. En otras palabras, las infraestructuras son también relaciones. Esta definición es relevante para el argumento de este libro, ya que ellas tienden a ser invisibilizadas o naturalizadas por la función que cumplen. Pero en ciertos eventos se vuelven visibles, como por ejemplo un colapso o la detención de su funcionamiento. La materialidad que la compone pasa a primer plano, desplazándose el foco de atención hacia su presencia visual.

En el caso de la geotermia, infraestructuras como las tuberías de pozos han permitido evaluar, canalizar y transformar la energía del subsuelo en electricidad. A esto se suman las prácticas de medición geológicas e ingenieriles, las que forman parte del funcionamiento de estas infraestructuras, permitiendo explorar cómo fenómenos geológicos pueden ser transformados en un recurso geotérmico. Datos, muestras de rocas, agua o vapor, observaciones de terreno, sondeos, mapas e imágenes geológicas, han colaborado en transformar el subsuelo en una potencial infraestructura geotérmica.

Esta perspectiva también ha sido trabajada por Andrew Barry (2016). Tomando la definición inicial de Susan Leigh Star & Karen Ruhleder (1996), las infraestructuras son construidas sobre *bases instaladas*. Pero estas se instalan no solamente sobre artefactos tecnológicos construidos por humanos (Barry,

2016). Lo que el autor busca argumentar es que tuberías, túneles o rieles no son contruidos sobre una base instalada, sino literalmente en la tierra. Para el caso de infraestructuras geotérmicas, las condiciones subterráneas son también parte integral de su existencia y la continuidad de su función como recursos. Por lo tanto, la medición y estudio permite su integración como componentes de la mecánica del recurso. En otras palabras, los elementos geológicos también son transformados en una infraestructura geotérmica.

La antropóloga Andrea Ballesterio (2019a), en su trabajo sobre subsuelo y acuíferos en Costa Rica y Brasil, agrega que para conocer estas entidades del subsuelo, en su caso acuíferos, diversos elementos permiten visualizar su materialidad. Para ser activado como recurso se necesitan movilizar una serie de herramientas legales y tecnocientíficas, tales como permisos de trabajo, licencia de uso de agua, modelos matemáticos y cálculos de las cantidades de extracción. Es a partir de esta combinación de instrumentos legales y tecnocientíficos que el agua del subsuelo pasa de ser una entidad con límites difusos, a una figura clara. El caso del agua subterránea analizado por Ballesterio resuena claramente con los reservorios geotérmicos en una característica fundamental: no se pueden ver desde la superficie. Al volverlos recursos reconocibles, los reservorios van siendo impregnados de historias políticas y científicas particulares. Esto hace que el proceso de transformar entidades del subsuelo en recursos sea interesante de analizar. Por medio de prácticas de conocimientos y medición, estos fenómenos se vuelven pensables como una infraestructura para su potencial uso (Ballesterio, 2019a).

En los últimos años, los regímenes de visibilidad de las tecnologías han ido tomando cada vez más atención a partir del creciente interés en ciencias sociales sobre las políticas de la energía y sus infraestructuras frente a los desafíos del cambio climático. Este libro se sitúa específicamente en el interés por explorar cómo la presencia o ausencia visual de las infraestructuras transforma sus dimensiones políticas, sociales y culturales.

Un caso icónico, y central para este trabajo, son las políticas e infraestructuras para producir electricidad, uno de los aparatos fundacionales desde donde se ha constituido la experiencia moderna desde finales del siglo XIX (Boyer, 2015). Al estudiar la electricidad no sólo es posible describir cómo los ambientes propios de la modernidad y sus hábitos han sido cultivados, si no también cómo las lógicas de la electricidad se relacionan a como se estructura el poder político. Las redes eléctricas ejemplifican como las lógicas de la electricidad han colaborado en reproducir una escala nacional y formas particulares de poder, por medio de imaginarios respecto a su constancia, disponibilidad y la

continua necesidad de expansión. Las infraestructuras para el fluido de la electricidad producen y reproduce el poder de los Estado modernos (Howe, 2019; Boyer, 2019). No solamente se trata un instrumento que poseen los gobiernos para desarrollar agendas políticas, sino que la misma forma en que están diseñadas las redes de electricidad y sus infraestructuras permiten la organización política del Estado y su existencia.

Por otro lado, la invisibilidad de las infraestructuras también ha jugado un rol importante en dejar las energías fósiles fuera de la vista, naturalizando su presencia en la vida cotidiana y escondiendo los impactos de la extracción a los ojos del escrutinio público. Los estudios de la energía desde las humanidades (Szeman & Boyer, 2017), argumentan que infraestructuras, tales como tuberías, han colaborado en mantener invisible la presencia omnipresente de la producción del petróleo en la vida contemporánea.

No obstante, por ejemplo en la cordillera de los Andes y particularmente en el campo de géiseres *el Tatío*, los proyectos de exploración geotérmica y sus ruinas forman parte del paisaje. En este sentido, en lugar de ser infraestructuras invisibles *de fondo*, quienes viven junto a proyectos de infraestructura, experimentan también las consecuencias de su abandono (Hetherington & Campbell, 2014; Velho & Ureta, 2019).

En la actualidad, el carácter invisible de las infraestructuras ha sido discutida desde la literatura en antropología. Según Larkin (2013) la invisibilidad de las infraestructuras se ha vuelto una declaración obligatoria en los estudios que abordan el tema, a partir del trabajo pionero de Susan Leigh Star (1999). Para esta autora las infraestructuras son por definición invisibles y se vuelven visibles al colapsar. Pero a la luz del trabajo de Larkin (2013) hoy existe un llamado a no naturalizar el carácter invisible como ontología general: “La invisibilidad es ciertamente un aspecto de las infraestructuras, pero es sólo uno y es el extremo de una amplia gama de visibilidades, las que se van moviendo entremedio de lo invisible y grandes espectáculos”⁵ (Larkin, 2013:336). Inspirado por el argumento de Larkin y lo que ocurre *entremedio*, busco analizar cómo la (in)visibilidad de la energía geotérmica se ha transformado a lo largo del tiempo, prestándole una particular atención a las experiencias en los sitios donde la energía geotérmica se manifiesta.

Este trabajo contribuye desde el caso de la energía geotérmica a los estudios sociales de la energía (Strauss, Rupp & Love, 2013; Smith & High, 2017) y

5 Traducción propia del inglés al español.

la adopción de este enfoque para estudiar el caso chileno (Tironi & Barandarián, 2014; Schaeffer & Smits, 2015; Ariztía, Boso, & Tironi, 2017; Blanco, 2019), describiendo particularmente la exploración de nuevas fuentes de energía y el rol de la electricidad en las promesas de futuro. El argumento se sitúa junto al creciente interés por estudiar los imaginarios sociotécnicos de la electricidad en América latina (Purcell, 2018; Montaña, 2021; Zacarías, 2021).

En la actualidad, existe un interés en los estudios sociales de la energía por describir cómo las entidades que la componen a menudo no pueden o no quieren comportarse de la manera esperada (Ureta, 2017; Baigorrotegui, 2019). A partir del interés de esta literatura en explorar etnográficamente las características, capacidades y los procesos específicos mediante los cuales nuevos recursos energético son creados (Richardson & Weszkalnys, 2014), este trabajo ofrece una descripción de las promesas y los futuros de la energía geotérmica.

Futuros geotérmicos

La energía geotérmica ha sido una promesa de futuro en discursos científicos y políticos. En el contexto actual de crisis climática, la reactivación de sus promesas ha guardado relación con la necesidad pública de tener más y mejores conocimientos sobre estos potenciales recursos energéticos. Al explorar y medir su potencial se busca producir sus futuros mediante la generación de evidencia científica. Al tomar medidas, científicos e ingenieros van creando evidencia sobre recursos potenciales que el Estado puede utilizar, incentivando su uso. Pero esta interacción entre proyectos científicos y Estado, no se da de una manera natural y fluida. Que un centro de estudios produzca evidencia no quiere decir que ese conocimiento será necesariamente utilizado. Para esto se necesita un proceso de *interesamiento* siguiendo la noción de Michel Callon (1984), para generar alianza entre intereses científicos, económicos y políticos.

El CEGA en su formación y financiamiento, representa una alianza entre discursos políticos, imaginarios estatales e intereses científicos. Es un centro destinado a la investigación científica en un área definida como prioritaria por el Estado. Pero el carácter de prioritario no es fijo, estable o predeterminado. La evidencia, debe ser acompañada de un continuo proceso de convencimiento para captar el interés político y social para influir en el diseño de políticas públicas.

Una tradición que ha estudiado el rol de la ciencia en la producción de futuros, han sido los estudios acuñados bajo el concepto de *imaginarios sociotécnicos*

definido por Sheila Jasanoff y Sang-Hyun Kim (2009). Utilizando como caso de estudio la regulación y desarrollo de la energía nuclear, los autores analizan el poder político de los imaginarios en la posición de los Estados frente a la ciencia y tecnología. Los *imaginarios sociotécnicos* son formas de orden y vida social imaginados colectivamente, que se reflejan en el diseño y la realización de proyectos nacionales científicos y/o tecnológicos (Jasanoff & Kim, 2009). Bajo esta definición, los imaginarios sociotécnicos van definiendo los futuros a ser alcanzados. Estos estudios tienen un foco en discursos y visiones políticas con la capacidad de influir en los diseños tecnológicos. En otras palabras, lo que argumentan es que la tecnología y sus futuros no se explican por sí mismos, sino que se encuentran insertos dentro de complejas configuraciones sociales, políticas y materiales.

Las infraestructuras mencionadas en el apartado anterior, participan también de manera activa en la producción de futuros, colaborando para que estos sean realizados. En esta línea, los estudios antropológicos sobre infraestructuras han destacado las promesas de futuro que poseen los proyectos energéticos (Anand, Gupta & Appel, 2018). Estos estudios se caracterizan por prestarle atención a las infraestructuras como formaciones sociales, materiales y estéticas que producen una expectativa de futuro.

Actualmente en antropología, existe un creciente interés por enfocarse en las prácticas de futuro desde una perspectiva etnográfica (Salazar, Pink, Irving, & Sjöberg, 2017; Watts, 2018; Bryant & Knight, 2019). Desde esta aproximación se busca comprender cómo los futuros son producidos mediante prácticas concretas. Estos trabajos comparten el interés por analizar la *performatividad* de los futuros en el presente (Oomen, 2021). El futuro de las tecnologías antes que ser una posibilidad distante proyectada hacia una dimensión desconocida, se produce en territorios específicos y a menudo mediante prácticas mundanas (Adam & Groves, 2007). Entre los trabajos etnográficos enfocados en energía, hoy existe un interés particular por la producción de *energy futures*⁶. Para Laura Watts (2018), situar los futuros permite seguir sus políticas particulares y localizar las entidades y tecnologías que participan en su creación desde el presente. Al tomar este enfoque, también es posible apreciar como la reflexión sobre los futuros no se encuentra restringida exclusivamente a las disciplinas vinculadas al desarrollo de tecnologías, sino también a las historias de los contextos en los que buscan ser situados.

6 *Futuros energéticos*, traducción propia del inglés al español.

A esta tradición dentro de los estudios de futuros este trabajo busca contribuir indagando en las promesas de la energía geotérmica. El subsuelo ha sido un espacio de excelencia donde se proyectan e imaginan potenciales futuros tecnológicos. Una de las tareas que este libro busca abordar es la manera en que los límites entre lo visible e invisible se van desplazando en el intento por narrar, producir y materializar los futuros geotérmicos de sistemas subterráneos.

La (in)visibilidad geotérmica y sus relatos en cinco capítulos

El relato de este libro ilustra cómo los imaginarios de la electricidad han afectado los debates sobre la búsqueda por fuentes más sustentables de energía. Planteando preguntas tales como: ¿Qué papel juega la (in)visibilidad de la energía geotérmica? ¿cómo se describe la invisibilidad de esta energía y mediante que registros? Este relato busca descentrar la mirada hacia las trayectorias del calor, describiendo las historias de la energía geotérmica a través de las experiencias explorando los sistemas geotermiales mediante rocas, vapor, agua subterránea y termas en sitios donde esta energía se manifiesta.

Este relato comienza en el capítulo 1 con la descripción de una expedición geológica en la falla Liquiñe-Ofqui, explorando evidencias sobre el subsuelo en la superficie. Específicamente, la medición de rocas fracturadas. El capítulo describe cómo desde una perspectiva geológica la evidencia geotérmica es producida por un grupo científico. Relatando prácticas de medición, el capítulo ilustra cómo para cultivar una mirada geotérmica, el calor descentra el tradicional foco profesional de geólogos y geólogas desde las rocas hacia las trayectorias del agua termal y su temperatura. En este capítulo discuto sobre la relación entre las evidencia geológicas en terreno y su relación con las promesas de la energía geotérmica.

Ampliando el relato hacia registros históricos de exploraciones geotérmicas mediante perforaciones directas en la cordillera de Los Andes, el capítulo 2 se centra en el vapor. Cambiando el contexto geográfico y el foco de atención, el capítulo muestra como los sistemas geotérmicos comenzaron a ser estudiados durante las primeras décadas del siglo XX por medio del vapor de los géiseres del Tatio en el Desierto de Atacama. El capítulo describe como las promesas de electricidad no se ajustan a la naturaleza intermitente del vapor. Siguiendo los registros fotográficos en reportes de exploraciones geológicas, el vapor se transforma en un objeto científico. Buscando conocer las perspectivas loca-

les en las exploraciones geotérmicas, el capítulo 2 se centra en la experiencia de trabajadores de las comunidades atacameñas teniendo que lidiar durante sus trabajos con el vapor durante la realización de perforaciones. Por medio de estrategias para trabajar con el vapor y desplazarse en este sitio, es posible notar como sus historias, conocimientos del lugar y experiencias de pastoreo son utilizadas frente al riesgo de ser quemados por el agua hirviendo. Este capítulo ilustra como el comportamiento del vapor a desestabilizado las promesas de futuros de la energía geotérmica como fuente de electricidad en este sitio.

Deteniéndose en la materialidad de las infraestructuras de exploración geotérmica, específicamente restos de pozos y maquinarias, el capítulo 3 se enfoca la (in)visibilidad del agua subterránea en este sitio. Realizando un recorrido por las trayectorias geológicas del agua subterránea y la precipitación mineral, se ilustran los procesos que han afectado el decaimiento de pozos abandonados por exploraciones geotérmicas. Procesos que han tenido un rol activo también en la resistencia a proyectos de energía, desestabilizando los futuros geotérmicos de este lugar y volviendo visible las controversias sobre el agua subterránea. Este capítulo también aborda como este conflicto se relaciona con la inauguración de la primera planta geotérmica en Sudamérica, sus promesas de futuro y el rol de los imaginarios de la energía eléctrica.

Luego de realizar un recorrido histórico y político sobre las promesas de electricidad de la energía geotérmica en el norte de Chile en los dos capítulos anteriores, el capítulo 4 describe la transformación de las promesas de la energía geotérmica y las formas asociadas de exploración geológica en el sur de Chile. Específicamente, la transición desde las tecnologías de perforación en el norte de Chile, hacia la inauguración de proyectos geotérmicos de uso directo en el sur. Este capítulo se enfoca en un contexto donde el diseño de las infraestructuras geotérmicas no es guiado por las promesas de la electricidad. Sin embargo, comenzando con la inauguración de un proyecto de uso directo y las promesas de la energía geotérmica en este contexto, analizo la continuidad de los imaginarios de la electricidad. En segundo lugar, el capítulo explora las dificultades de acceso para los estudios geológicos en los bosques del sur de Chile y como esto vuelve invisible la evidencia del subsuelo.

Finalmente, el último capítulo se centra en las aguas termales del Valle de Liqueñe. Enfocandose en el lugar de la terma, estas manifestaciones descentran la mirada hacia otros dominios de lo sensible. En primer lugar, el capítulo sigue las experiencias de quienes viven y trabajan con estas fuentes termales. Ilustro cómo las trayectorias del agua y su calor se experimentan en la superficie. En segundo lugar, muestro cómo guías locales, para encontrar nue-

vas fuentes termales, utilizan sentidos tales como el olfato e incluso el oído. Tras explorar imaginarios locales sobre la invisibilidad de las fuentes termas, el capítulo concluye ilustrando como el hecho que las manifestaciones del calor no sean siempre visibles no cierra la posibilidad de su irrupción potencial.

Siguiendo la producción de evidencia geotérmica cuidadosamente, sus transformaciones en el tiempo desde una perspectiva etnográfica, este trabajo analiza la relación entre los fenómenos geotérmicos y sus promesas como energía eléctrica. Si bien la imaginación de sus futuros y la instalación de infraestructuras de exploración para materializar estas promesas se han inspirado en manifestaciones geotérmicas en la superficie, al mismo tiempo, sus dinámicas subterráneas son inciertas y difíciles de controlar. Durante este relato, describo cómo la misma materialidad de los fenómenos geotérmicos han afectado sus promesas como energía eléctrica. Sin embargo, los imaginarios de la electricidad siguen influenciando las formas predominantes en las que se busca promover su futuro. El recorrido de este libro narra como los fenómenos geotérmicos descentran la mirada hacia trayectorias del calor, describiendo historias de energía a partir de las interacciones entre humanos, rocas, vapor y agua termal. Finalmente, concluyo con una reflexión sobre como las experiencias de terreno en los sitios donde esta energía se manifiesta y los problemas asociados a la descripción son un espacio común para interrogantes antropológicas y geológicas. Una perspectiva que buscan inspirar nuevos debates en la búsqueda de nuevas fuentes de energía, desde las formas de atención que enseñan los recorridos del calor.

