

sobre los sistemas geotérmicos de la cordillera de los Andes y desarrollar formación profesional. El año 2011, bajo el contexto de la fundación del CEGA, en una publicación científica sobre el estado actual de las exploraciones geotérmicas en Chile se describe el rol del nuevo centro y su misión institucional cómo: “Proporcionar la base científica para modelar los reservorios geotérmicos en Chile y el resto de los países andinos, con el fin de desarrollar la energía geotérmica como una alternativa sustentable, respetuosa con el medio ambiente y una alternativa económicamente competitiva para los requerimientos de energía de Chile y América Latina”³ (Sanchez et al., 2011:1218). Entre sus objetivos se busca identificar y evaluar tecnologías nuevas y emergentes para la exploración geotérmica, destacando el interés por estudiar las interacciones calor-agua-roca. Acompañando el trabajo en terreno de investigación en esta área, busqué observar cómo sus formas de exploración han sido influenciadas, y a su vez, se relacionan a las promesas de la energía geotérmica en Chile.

Describiendo las formas de entrenar una mirada geológica, el primer y segundo apartado de este capítulo se focaliza en las escalas del fenómeno geotérmico bajo estudio y los desafíos asociados. A continuación describo como se produce desde una perspectiva profesional una mirada geotérmica. Finalmente, el capítulo cierra con una perspectiva histórica sobre el interés por la energía geotérmica en esta área de estudio y la investigación geológica del calor subterráneo.

1.1 Rocas, texturas y las trayectorias del calor en una falla geológica

El concepto de *textura* es fundamental en geología. Para esta disciplina, la textura se define como la apariencia física y la suma de características de una roca. Se trata de como la roca se ve. Como Juan me enseña, la textura es un concepto asociado a la estética visual: “Cuando tu ves una imagen, cualquiera, las imágenes tienen textura. Lo mismo con una roca (...) Es la suma, es la luz del sol, la temperatura, justo como la viste en ese ángulo”. Juan es estudiante de doctorado y en esta campaña de terreno está tomando datos para su tesis. Personalmente, las rocas y sus fracturas lo fascinan, provocándole un especial sentido de curiosidad. Bajo mi interés por estudiar como la evidencia se produce, me sorprende la importancia que para él tiene la estética de las rocas en la toma

3 Traducción propia del inglés al español.

de datos. Desde los primeros días, noto que nuestro interés común significa una oportunidad para aprender y profundizar en como se cultiva una mirada geotérmica.

Recorriendo los caminos de este valle en una camioneta roja, observo que el primer paso es aprender el lenguaje de las texturas para poder describir lo que se ve en las rocas. Aprender a interpretar las texturas en este caso permite desarrollar lo que se considera como una *visión profesional* (Goodwin, 1994) en geología. La observación geológica se desarrolla mirando su textura como primera aproximación. Si bien la falla se intuye al nivel del paisaje, la manera geológica de identificar su presencia es por medio de las rocas fracturadas, y las historias de su textura. La textura de estas rocas es evidencia de la falla y permite observarla visualmente. Este grupo describen e interactúan con las rocas en el trabajo en terreno por medio de las texturas.

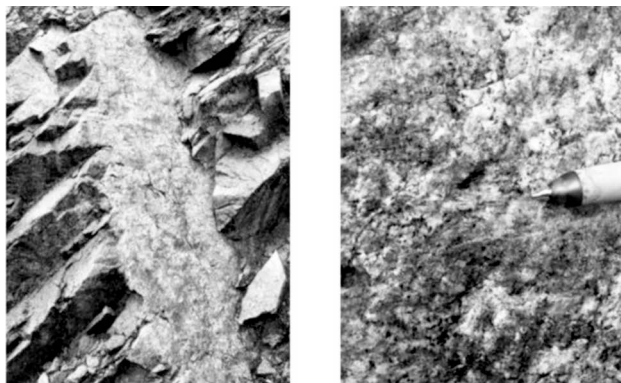


Figura 4: Estudio de las texturas de las rocas fracturadas a la orilla del camino; Elaboración propia.

Sumarme a una exploración geológica significó recorrer el valle buscando rocas. Ellos saben cuáles son los sitios donde se puede ver las rocas fracturadas. Principalmente por experiencias de investigación anteriores. El ejercicio es siempre el mismo. Avanzar por el camino, detenerse, bajarse y comenzar a medir.

Esta es su tarea. El trabajo en terreno consiste en seguir texturas específicas y traducir la observación en datos. Su foco se encuentra en una de las ca-

racterísticas de la composición de una textura: el fracturamiento. El interés científico de este grupo es encontrar rasgos del movimiento de las rocas al deformarse. Desde el comienzo de la expedición, me llama la atención el uso de las manos para explicar la orientación de las fracturas.

La pregunta principal que se hacen frente a la roca es la dirección del movimiento al deformarse. Esto se puede observar en los movimientos que sugieren los minerales de la textura. Es una historia de fracturas que se busca recomponer. Esta imagen (figura 5) ilustra este ejercicio al señalar con las manos la parte que falta. El subsuelo se estudia a través de estos mismos principios. Tal como me lo explica Pedro, otro de los geólogos del grupo: “Imagínate que tú tienes esta roca. Depende del espacio que falta para que sea un cristal. Si eres capaz de determinar hacia donde creció ese cristal, sé hacia donde se movió el bloque que falta”. La imaginación y el tiempo geológico emerge intentando recomponer lo que pasó, las trayectorias de las rocas y sus movimientos.



Figura 5: El uso de manos para explicar la fractura de las rocas y sus movimientos en el tiempo geológico; Elaboración propia (2018).

Pero la visión no es el único sentido utilizado. Pedro me explica que el tacto sirve como primera aproximación cuando las superficies son planas. “Los viejos en la minería para sacar el sentido del movimiento le pasan la mano. Y dicen que el lado que es más suave es el lado hacia donde se mueve”.

El uso de extremidades sensibles al tacto se utiliza continuamente. La lengua para distinguir tipos de minerales o las uñas para conocer propiedades como la dureza de la roca, ayudan a identificar el tipo de mineral. El cuerpo es un instrumento fundamental en el terreno para entender la geología. Al estar frente a la roca, la manera espontánea de interactuar con ella es por medio de las lupas geológicas. Tomando un fragmento se observa su textura, identificando la roca a través de la composición de sus minerales.

Mientras Juan observa con una actitud contemplativa las texturas de las rocas, con la lupa geológica, el sonido del martillo de sus colegas irrumpe la escena. La actitud de Pedro al golpear la roca es ruda. Él tiene experiencia trabajando en exploración minera en el norte de Chile. El uso del martillo también es una manera espontánea de interactuar en geología con las rocas en terreno para observarlas y tomar muestras. Este gesto ilustra como el desarrollo de la geología y sus observaciones científica, ha ido de la mano junto a la minería. Como señalé en la introducción, desde una perspectiva histórica y global, el desarrollo de la geología como disciplina se encuentra vinculado a las transformaciones en la superficie de la tierra a partir del siglo XIX. Específicamente, a los procesos de industrialización y la expansión de una red de infraestructuras para la extracción de recursos. Vínculo que se refleja en las palabras de Benjamin Silliman, fundador de *American Journal of Science* en 1818, citadas por el historiador de la ciencia Martin Meiske: “Como consecuencia de la intersección de los estratos, por carreteras, canales y el curso de los ríos, o por la erosión de los océanos, o la directa perforación de los pozos de las minas, se ofrece oportunidades de leer el interior de la estructura del globo”⁴ (Silliman citado por Meiske 2021:73).

Volviendo a las texturas, al observarlas este grupo no sólo están siguiendo las historias de las rocas. Las fracturas de la roca permiten elaborar posibles hipótesis sobre las trayectorias y desplazamiento del agua termal, y por lo tanto, el comportamiento de este sistema geotermal. Como Pedro, dice:

Imagínate una roca como esta. Imagínate que la roca que está arriba (otra roca) cuando esta se mete, la fractura entera, la quiebra. Entonces las aguas

4 Traducción propia del inglés al español.

de lluvia, las aguas de los lagos, de los ríos, las aguas superficiales, bajan por la fractura, por la falla de Liquiñe-Ofqui que es una gran fractura al final. Se calientan en las rocas que están abajo, que todavía están calientes (...) Y esa agua se calienta y como está más caliente sube nuevamente por las fracturas de Liquiñe Ofqui. Y tení las manifestaciones termales.

El interés de estudio se focaliza principalmente en cómo la fractura de la falla y los tipos de deformación de la roca favorecen el ascenso del agua. Pero la fractura de las rocas no es la única manera de estudiar las trayectorias del agua. Desde la superficie, las mismas aguas termales poseen características que permiten recomponer su viaje, prestándole atención a una de las características fundamentales de la geotermia: la temperatura del agua. La variación de la temperatura en las surgencias termales refleja características del subsuelo.

En estos sitios de estudio donde el agua termal surge desde las rocas de la falla (figura 3), lo que llama la atención desde un punto de vista científico es la diferencia entre las temperaturas de las surgencias. En el desafío por entender la variabilidad de las temperaturas, estas también sugieren diferencias en el recorrido del agua hacia la superficie. La variación de la temperatura entre surgencias de agua termal es un problema de interés que cautiva la atención del grupo y produce nuevas incógnitas: ¿No deberían tener las diferentes surgencias las mismas temperaturas si están espacialmente tan cerca? ¿el agua no ha realizado un recorrido similar? ¿por qué varía tanto su temperatura? ¿cuál es la influencia que tiene la lluvia? La variación de la temperatura de las surgencias sugiere la existencia de un sistema dinámico e incógnitas sobre las características del subsuelo.

Frente a la escala del paisaje desde este sitio, mirando el río que va por abajo del valle, Ana, geóloga con una trayectoria extendida de investigación en geología me dice: “Mira el río. ¿Qué te dice el hecho que acá están las surgencias y el río para allá abajo? El agua fría esta en el río. Pero no es que el río recargue el acuífero. Acá hay agua contenida”. Esta observación me presenta una nueva incógnita. Las surgencias termales y el río que va por el valle, hasta ese momento, los entendía como dos planos separados. Con la pregunta de Ana veo el cerro como un contenedor de agua. La temperatura del agua se pone en relación con las gradientes de altura del cerro y la recarga de aguas desde la superficie. Un aspecto que me hace ver Ana es que las cotas de altura de las surgencias son de suma importancia: “las temperaturas de las termas de abajo son más alta que

las de arriba! Eso quizás nos indica que el agua viene de abajo y que lentamente sube”.

Desde las trayectorias profesionales, estudiar el calor del agua significó una transformación para miembros de este grupo, quienes por lo general se formaron observando rocas, objeto de estudio tradicional en geología. Por medio de las posibilidades que abre el ascenso mediado por el calor, rocas y aguas se ponen en relación. Las trayectorias invisibles del agua caliente se pueden volver visibles.

Pero el cultivo de una mirada geotérmica también significa un problema de escala. Este problema es un desafío con el que se tiene que aprender a vivir en terreno. Carlos, quien al igual que Ana posee una larga trayectoria en geología, me explica recordando su paso desde la geología a la geotermia: “Para mí al empezar con el tema de la geotermia, el gran desafío fue meterme otra escala de tiempo en la cabeza. Estas surgencias son una anécdota en el tiempo geológico. Cambia la naturaleza de las preguntas”. Esta observación me permite entender que la geotermia tiene una escala diferente a la geológica. “Tuve que aprender a cambiar la mirada en la escala de la geología”, me cuenta. Según lo que aprendo de su experiencia, en la historia de formación glaciaria de estos valles o la cordillera, estas surgencias comparativamente tienen una escala de tiempo geológico pequeñísima. Cultivar una mirada geotérmica en geología implica también enfrentar el desafío de las escalas del fenómeno que se observa.

1.2 El problema de las escalas en geología

Para que una observación geológica se transforme en una evidencia es necesario enfrentar el problema de las escalas que menciona Carlos en el apartado anterior. Este es uno de los principales desafíos con el que la geología tiene que lidiar en el terreno. En las expediciones aprendí las diversas formas de enfrentar este desafío. La siguiente sección ilustra como la escala no es sólo un problema de medida sino también uno de experiencia: el uso del cuerpo en la experiencia de medición geológica.

En geología para que un rasgo del paisaje sea transformado en una evidencia se necesita trabajar con supuestos, como Carlos ejemplifica con una roca en la mano. La roca, en esta imagen (figura 6), se encuentra a la escala de una mano humana. Para poder estudiar la geología es necesario que la roca—o los afloramientos de roca en la ladera del camino—representen al cerro. Esto es un