

Una extraña raza de gato

Un ensayo acerca de los exploradores geotérmicos, basado en más de 50 años en el negocio

Carl F. Austin

Fundador del proyecto geotérmico de Coso.

Traducción del artículo original, publicado en el *Bulletin del Geothermal Resources Council (GRC)* Volumen 34, No. 1, Enero-Febrero de 2005, reproducido con permiso del editor. Traducción de José Luis Quijano León.

Los prospectos geotérmicos de alta temperatura son lugares en los que la perforación permite que los fluidos y gases fluyan hacia la superficie, a una temperatura y con un volumen suficientes para operar una máquina primaria. ¿Cómo se puede encontrar un yacimiento así? En la actualidad, la mayor parte de la actividad perforatoria se realiza cerca de manantiales termales, bajo el supuesto de que abajo hay una fuente de calor. Esto es similar a la forma en que la industria petrolera empezó, perforando cerca de los rezumaderos de petróleo. La industria petrolera se dio cuenta de que la situación era un poco más complicada. La industria geotérmica no ha logrado dar el salto en sus conceptos exploratorios.

La geología consiste en reunir hechos y hacer interpretaciones. Sin embargo, las interpretaciones son comentarios, no hechos. Por ejemplo, mapeo una discontinuidad lineal y la interpreto como una falla. Como está emergiendo vapor, puedo concluir que existe un recurso geotérmico, cuya salida está controlada por esa falla. El rasgo lineal es un hecho. Los tipos de roca a los lados de este rasgo lineal son hechos. El vapor que emerge a lo largo de este rasgo lineal es un hecho. Todo lo demás es interpretación basada en suposiciones.

Cito a un personaje de una novela de Tom Clancy: ‘Las suposiciones son la madre de todas las estropicios’. Una vez un geofísico me dijo que la versión del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) de lo que ocurría a profundidad, era la única explicación posible. Quedó aturdido cuando le mostré una docena de interpretaciones compatibles con la geología factual. La habilidad de buscar interpretaciones alternas es la razón por la que los exploradores encuentran ocasionalmente yacimientos valiosos, y es la razón por la que los geocientíficos académicos y del gobierno —quienes están atorados buscando la “única respuesta verdadera”— consideran a los exploradores como un grupo de idiotas extraviados.

En su texto de la geología de California, Norris y Webb (1976) ofrecieron un ejemplo clásico de la mentalidad académica: “El panorama a menudo puede pasar desapercibido por el geólogo cuando encuentra una abundancia de detalles bien expuestos”. Los yacimientos son anomalías. Si uno está casado con el panorama amplio nunca los reconocerá. Parafraseando a Norris y Webb: “Los geólogos, cuando se enfrentan con el panorama amplio, pierden de vista los detalles.” El dinero está en el detalle, no en el panorama amplio.

Una tarea mayor para los exploradores es separar los hechos de las suposiciones e interpretaciones que llenan la literatura. Un ejemplo increíble que ha obstaculizado la exploración es la interpretación, patrocinada por el gobierno [norteamericano], de que la provincia de *Basin and Range* [Cuencas y Sierras] en el Oeste Norteamericano son una serie de ‘grabens’ y ‘horsts’, y que son el resultado de una extensión. Los exploradores de minerales difíciles abandonaron esa noción hace más de 30 años.

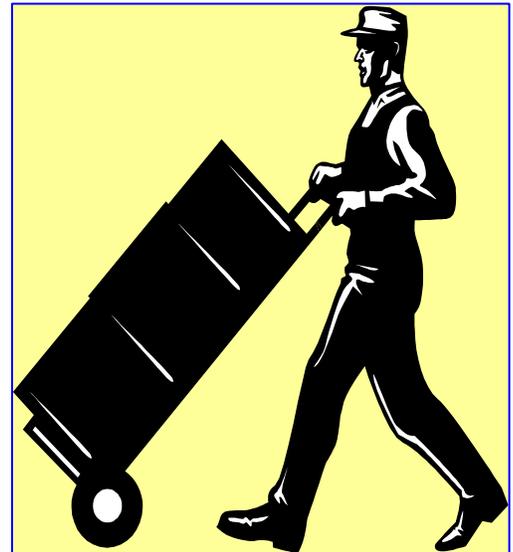
Mientras desarrollaba los 270 MW del proyecto geotérmico de Coso, en la Base Naval de China Lake en la parte central de California, me dijeron repetidamente que el proyecto era imposible. El modelo del USGS demostraba que Coso era imposible debido al tipo de roca y porque es un área de extensión. El modelo del

Departamento de Energía (DOE) indicaba que Coso era imposible porque el calor no se acumularía en un área de extensión. Yo leí estas conclusiones durante la ceremonia de inauguración de cada una de las nueve turbinas.

Con respecto a los modelos, se pueden crear modelos de panorama amplio (el bosque), modelos regionales (los árboles) y modelos locales (un árbol viejo y nudoso). Un explorador NUNCA confía en ningún modelo popular. Por ejemplo, una gran compañía petrolera perforó en un prospecto de oro en la provincia *Basin and Range*, con objeto de probar la presencia del “único modelo verdadero.” Su modelo no apareció, así que el proyecto se abandonó. Otro explorador probó otras interpretaciones que podrían producir dinero, y el resultado fue una mina de oro a cielo abierto altamente exitosa.

Como lo definió bellamente Erskine (2001), la provincia *Basin and Range* ¿es extensional o es una serie de semi-anticlinales y cabalgaduras partida por la mitad? Si es un sistema de semi-anticlinales, las fuentes de calor magmático deben estar debajo de las cabalgaduras. Para ajustarse al grupo de los extensionalistas, gran parte de los mapas publicados de Coso deja fuera las fracturas que no encajan en el panorama amplio; pero Coso es una anomalía. Por supuesto, el panorama amplio no debe dar cabida a la anomalía, que se supone físicamente imposible.

El secreto industrial, aunado a las políticas académicas y gubernamentales, ocasiona que las interpretaciones, que se caracterizan mejor como nociones, se perpetúen en la literatura. Por ejemplo, en una reunión donde presenté los resultados de una intrincada interpretación a una foto de satélite, corroborada por una vasta cantidad de trabajo de campo, un joven doctor en geología irrumpió con una carretilla cargada con una pila de libros cuyo contenido completo, según afirmó, probaba que mi trabajo geológico estaba equivocado. Sin embargo, cada artículo de su carretilla estaba basado en los supuestos de los otros, no en datos. En otro caso, puedo recordar una reunión técnica, en la que se le preguntó a un conferenciante del USGS: “¿Cree usted realmente en lo que acaba de decir en su presentación?” El expositor respondió sin pensarlo mucho: “¡Desde luego que sí, todo aquel que no lo ha hecho ha sido despedido!” Esta declaración fue probablemente su último acto oficial.



Continuando con *Basin and Range*, consideremos los puntos calientes migratorios. ¿Es esto un hecho? No, y si estamos tratando con semi-anticlinales y cabalgaduras apiladas, con los planos de cabalgadura como el lugar más probable de emplazamiento de intrusivos, entonces el concepto de puntos calientes que migran es irrelevante, es decir, no importa cómo o por qué la fuente de calor granítico llegó ahí, el hecho es que ahí está. ¿Estamos tratando con magmas diferenciados o con granitización? Como se menciona en la Memoria 28 de la Sociedad Geológica Americana (Read, 1948): “Este asunto del origen de granito es probablemente el más vivo de los tópicos geológicos actuales; sin embargo debemos recordar que siempre lo ha sido.”

Escoger a ciegas “la única interpretación verdadera” implica que un yacimiento será localizado al azar, y no por una toma razonada de decisiones. Para ejemplificar, recientemente le eché un vistazo a un yacimiento con metales base, metales preciosos y mercurio. Las publicaciones muestran que la ubicación de este yacimiento está controlada por gran una falla normal. ¿Es así? Esta “falla normal” presenta alteración hidrotermal masiva en el “lado del piso”, y más atrás, en el “bloque caído”, se encuentran depósitos epitermales adicionales, zonas impresionantes de alteración, y unos pocos kilómetros dentro de este bloque hay escapes de vapor. ¿Es ésta una falla normal, o más bien estamos viendo un escape que asciende por un

plano de cabalgadura? ¿Es por esto que un pozo profundo, cercano a una de las zonas de alteración, no encontró nada de interés a profundidad, esto es que el pozo se perforó en rocas frías debajo de una falla de cabalgadura casi horizontal? Algún día haré geología de detalle en esa zona, trazaré tantas secciones interpretativas diferentes como pueda, que sean consistentes con la geología superficial y, si existen indicios de objetivos de alta temperatura, perforaré. Hasta ahora, la literatura publicada muestra que no hay ahí nada de interés.



Conozco varios yacimientos geotérmicos, con inversiones de temperatura importantes y sin una fuente de calor identificada, que desconciertan a los operadores. Quizá deberían jugar a ser exploradores, comenzando con la geología superficial factual y ver después cuántas interpretaciones del subsuelo son posibles. Este trabajo interpretativo, apoyado con los estudios “de cajón” necesarios para sentirse a gusto, puede quizá llevarlos a un recurso de alta temperatura. El calor no se acumula mágicamente, como una gota de tinta en un papel.

Para ilustrar, un maestro Sigma Xi de una importante escuela de minería ha publicado ampliamente que todos los granitos son resultado de una diferenciación magmática de Bowen. Me pidieron que llevara a esta Vaca Sagrada al campo y que no lo importunara hasta la hora de su clase vespertina, por lo que llevé al exquisito caballero a ver un ejemplo de granitización que desafiaba su suposición. Después de echarle un vistazo al área, me dijo, con un guiño de ojos, que apreciaba realmente que le hubiese mostrado ese ejemplo tan sorprendente. Después me dijo: “No espere que admita esto en público, porque tengo una posición pública que mantener.” Esta experiencia me convenció de la necesidad de separar los hechos de las interpretaciones y las suposiciones.

La mayoría de las secciones geológicas publicadas de áreas con rocas volcánicas las muestran alimentadas por rasgos verticales. ¿Por qué? Algunas secciones publicadas muestran que los depósitos minerales, en una mina de plata, se sitúan adyacentes a un ‘stock’ limitado verticalmente. Un geólogo minero con inclinaciones exploratorias postuló que el ‘stock’ con sus bordes verticales podría ser realmente sólo un delgado ‘sill’. Con una perforación se demostró que el ‘stock’ no estaba ahí. La falsa interpretación todavía está incrustada en la literatura.

Volviendo al concepto de semi-anticlinales para la provincia de *Basin and Range*, ¿son todas las sierras semi-anticlinales espaciados entre sí unos 100 km? No, pero asumir ciegamente que todas esas sierras son ‘grabens’ y ‘horsts’, o bloques posicionados por fallas extensionales curvas, tampoco es muy sabio. Un explorador nunca sabe la respuesta, sino sólo algunas de las posibilidades a tomar en cuenta.

Conocer posibilidades, no respuestas contundentes, es lo que hace al explorador impopular entre los académicos, los geólogos de agencias gubernamentales y, muy a menudo, entre la alta gerencia, todos los cuales practican lo que Feynman (1974) llamó la ‘Ciencia del Culto al Carguero’. A todos nos gusta decir, “YO SÉ... bla, bla, bla...”, engañándonos con nuestra brillantez a nosotros mismos y a los que nos escuchan. ¡No es lo que no sabemos lo que nos fastidia, sino lo que sabemos que no es! La alta gerencia, especialmente

si tiene formación ingenieril, se horroriza cuando el geólogo dice: “Bueno, tengo como 30 interpretaciones y, por lo menos seis de ellas servirían para hacer dinero, si realmente estuvieran ahí”. Este geólogo es absolutamente honesto, pero su carrera corporativa será más bien corta, a no ser que la gerencia tenga un punto de vista exploratorio.

¿Cómo evaluamos un proyecto geotérmico, en caso de que encontremos uno, sea por accidente o por un brillante esfuerzo geológico? ¿Qué pasa ahí abajo? Se requiere una fuente de calor, un fluido que recoja el calor, y un sistema hidráulico que permita al fluido moverse hacia el pozo, que transporta al fluido de donde está a donde lo queremos. Un sello, que favorezca la acumulación del recurso, en lugar de que el fluido se derrame como manantiales termales o minerales, es vital.

Los exploradores que buscan recursos de alta temperatura necesitan comprender los procesos magmáticos. Un libro obligatorio para el explorador es *Algunos Aspectos del Papel del Agua en las Rocas Fundidas*, escrito por Kennedy (1955). Los exploradores deben haber leído mucho y tener mucha experiencia sobre los sistemas de depósitos de mena, sus estructuras, y las condiciones paleoclimáticas que afectaron el sello y las condiciones a profundidad. La evaluación de prospectos requiere comprender cómo se comportará la roca huésped y el fluido con la caída de presión al acercarse el fluido al pozo, cómo se comportará el fluido al moverse en el pozo, y luego cómo se comporta el fluido enfriado y cómo interactúa con la porción del yacimiento donde se inyecta, especialmente si está contaminado con oxígeno. Los fluidos oxigenados son la muerte en un yacimiento que contenga diques felsíticos. Cerca de 20 principales variables mineralógicas controlan la capacidad de producción a largo plazo y ‘hacer reventar’ un pozo para mantenerlo abierto puede impresionar a los inversionistas pero el autobrechamiento lo puede arruinar.

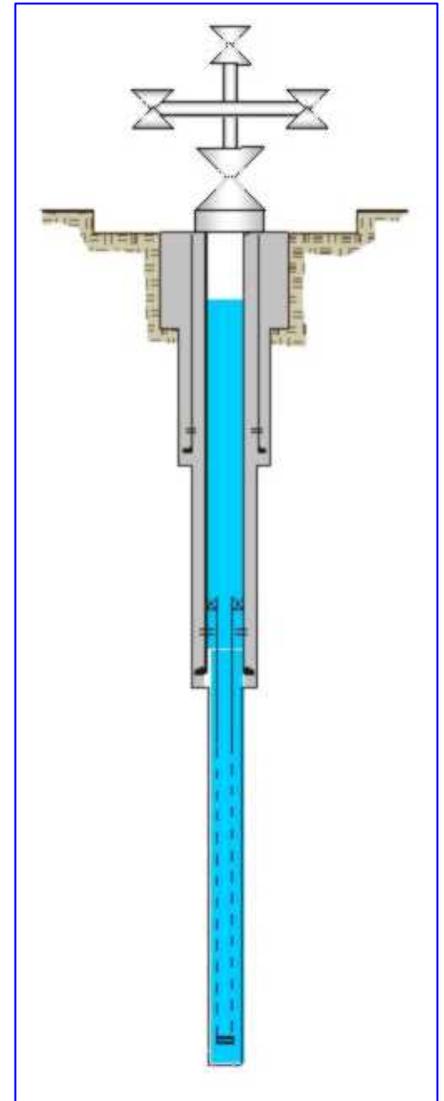
¿Qué proporciona el calor? Un recurso potencial de alta temperatura que estudié en la Costa Este parece ser resultado de un intenso metamorfismo local. En el occidente de Estados Unidos, la evidencia abrumadora es que uno está tratando primariamente con sistemas magmáticos, que pueden estar en movimiento o no, siendo el recurso geotérmico resultante un sistema de depósito de mena en cierta etapa particular de su ciclo de vida. Los exploradores geotérmicos harían bien en estudiar la Historia de la Teoría de los Depósitos de Mena, escrita por Crook (1933), y los conceptos de alteración hidrotermal propuestos por Sales y Meyer (1948) y Lovering (1949). Mientras trabajaba en poner a Coso en producción, los registros identificaron patrones de fracturas y de alteración muy similares a los observados en la Amethyst Mine en Creede, Colorado. Por eso consideré a Coso como un tipo yacimiento sistema de vetas de amatista. Asimilando estructura y geoquímica, uno puede a menudo escoger una mina, descender, y estudiar un yacimiento comparable en tres dimensiones.

Una gran mina de cobre a cielo abierto, en el oeste de los Estados Unidos, es un ejemplo soberbio de lo que uno esperaría en un yacimiento geotérmico. Después de que ocurrió la mineralización, el depósito completo fue volteado y descansa ahora en uno de los lados. Se puede empezar por uno de los extremos del tajo en la roca huésped, sujeto a condiciones epitermales, y caminar a lo largo –varios miles de metros-- para terminar de nuevo en la roca huésped pero ahora sujeta a altas condiciones mesotermiales o hipotermiales. Las lecturas sugeridas incluyen el trabajo de Stringham (1952) sobre la estabilidad de la alteración mineral, y el texto de Aguilera (1955), *Yacimientos Fracturados Naturalmente*. Una lista de los textos y artículos pertinentes podría constituir un libro en sí misma [la Parte C del Reporte número 13 del Nevada Bureau of Mines tiene un artículo (Austin, 1966) sobre la exploración geotérmica con cerca de 600 referencias, todas las cuales vale la pena leer].

Perforar un pozo geotérmico como si fuera un pozo de gas o de petróleo es un desastre. Me viene a la mente un pozo que se terminó con 370° C y nunca produjo ni una gota de fluido. El propietario preguntó quejumbrosamente por qué con esa temperatura, además de evidentes zonas fracturadas encontradas durante la perforación, no hubo producción de fluido. Al perforar con un lodo muy pesado y no cambiar a aire una vez que se entró a la zona potencialmente productora, se había creado un agujero revestido de cerámica.

Después, ignorando el daño que ya se había causado al perforar con lodo, se cementó una tubería de revestimiento hasta el fondo, convirtiendo el pozo en un agujero revestido de acero y cemento. Fracasaron los intentos de hacerlo producir con perforadores de pistola y cargas cónicas, debido a la temperatura existente. Como perforadores de gas y petróleo, esta gente era muy competente. Sin embargo, no tenían ni la menor idea sobre cuáles podrían ser las condiciones del yacimiento o sobre cómo perforar para permitir la producción de fluido geotérmico.

La mayoría de los prospectos geotérmicos en el oeste norteamericano tienen estructuras similares a las de los yacimientos minerales en la misma región: conductos brechados, diques de escombros, juego de esfuerzos conjugados, sistemas de fracturas cimera y de cola de caballo, echados horizontales, cabalgaduras a lo largo de planos de estratificación y capas favorables con permeabilidad y porosidad primaria y secundaria por fracturamiento. Muchos hidrólogos de agua subterránea creen que los granitos no pueden contener agua. Mientras se desarrollaba el proyecto geotérmico de Coso, el USGS proclamó que no se encontraría ningún recurso en Coso, porque la roca huésped era granito. Las rocas graníticas pueden despedazarse si son plegadas y sometidas a esfuerzos, dando por resultado tremenda porosidad y permeabilidad. He visto un caudal de un metro cúbico por segundo derramarse a través de una zona de fractura en un granito. ¡Imagínense la producción que uno vería si tal zona de fractura fuera atravesada por un pozo, a unos cientos de grados Celsius! Tal parece que a pocos hidrólogos se les enseña la diferencia entre propiedades constituyentes (propiedades de los minerales que componen la roca), propiedades del material (propiedades de la roca fresca con calidad lapidaria descritas en tablas de ingeniería) y propiedades de conjunto (propiedades de la gran masa fracturada y alterada del yacimiento). Los exploradores geotérmicos han tenido que afilar mejor sus conocimientos básicos sobre yacimientos minerales.



Los conductos brechados son rasgos importantes. En una ocasión observé a un operador perforar un excelente pozo productor en lo que, para mí, era un evidente conducto brechado vertical. Se quedó estupefacto porque tenía un pozo seco a sólo 100 metros de distancia. Cuando me pidieron un comentario, utilicé el la brecha de Crystal Hill como ejemplo. Este conducto está intensamente alterado y mineralizado. Los bordes del conducto son precisos y bien definidos. La diferencia entre un buen pozo productor (en el conducto) y uno no productor (fuera del conducto) puede ser cuestión de unos cuantos metros en su ubicación. Incidentalmente, el pozo 75-7, con el que se descubrió Coso, estaba localizado en un obvio conducto brechado.

Las provincias metalogénicas y su relación con la química de los yacimientos minerales; las implicaciones geoquímicas del cinturón de minerales de arsénico que se extiende desde Tick Canyon cerca de Los Angeles hasta Mercur, Utah (Joralemon, 1978); los enfoques sobre disparos dispersos o dirigidos (Joralemon, 1984); El Papel de la Suerte en la Exploración Minera (Baillo, 1979); y cómo entenderse con ingenieros y administradores sin conocimientos geológicos: todos ellos son asuntos de interés para el explorador. El explorador puede resultar molesto para el geólogo casado con “la única interpretación verdadera”, pero será el explorador quien localice la siguiente generación de sistemas geotérmicos grandes, profundos y poderosos.

REFERENCIAS

- Aguilera, R. (1995). *Naturally Fractured Reservoirs*. Pennwell Publishing Co., Tulsa, Oklahoma, 521 pp.
- Austin, C.F. (1966). Selection Criteria for Geothermal Prospects. *Part C, Report 13*, Nevada Bureau of Mines, pp. 93-125.
- Bailly, P.A. (1979). The Role of Luck in Mineral Exploration. *American Mining Congress Journal*, pp. 56-61.
- Crook, T. (1933). *History of the Theory of Ore Deposits* (con un capítulo sobre el Surgimiento de la Petrología). Thomas Murley and Co., London, 163 pp.
- Erskine, M.C. (2001). Structural Overlap of Basin and Range Stratigraphic Packages onto the Colorado Plateau Cratonic Package in South Western Utah. *Utah Geological Association Publication No. 30*, Mackin Volume.
- Feynman, R.P. (1974). *Cargo Cult Science*. 1974 Caltech commencement address.
- Joralemon, P. (1978). A Major Gold Belt Takes Shape in Nevada. *Mining Engineering*, v. 30, no. 7, pp. 759-762.
- Joralemon, P. (1984). Sharpshooter and Scattergun in the Golden Hills of Nevada. *International Mining*, pp. 24-30.
- Kennedy, G.C. (1955). Some Aspects of the Role of Water in Rock Melts. *Proceedings of Crust of the Earth - A symposium*. Geological Society of America Special Paper 62, pp. 489-504.
- Lovering, T.S., et al. (1949). Rock Alteration as a Guide to Ore, East Tintic District, Utah. *Economic Geology Monograph I*, pp. 1-64.
- Norris, R.M., and R.W. Webb (1976). *Geology of California*. Wiley and Sons, 365 pp.
- Read, H.H. (1948). Granites and Granites. *Geological Society of America Memoir 28*, on Origin of Granite, ed. por J. Gilluly.
- Sales, R.H. and C.H. Meyer (1948). Wall Rock Alteration at Butte, Montana. *Mining Technology*, American Institute of Mining and Metallurgical Engineers.
- Stringham, B. (1952). Fields of Formation of Some Common Hydro-Thermal Alteration Minerals. *Economic Geology*, v. 47, no. 6, pp. 661-664.